

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

MEYVE BAHÇELERİNİN SULAMA KONTROLÜ
AMAÇLI KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI TABANLI
SİSTEM TASARIMI

Sait ÜNAL

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Sertol KÖKSAL

Yozgat-2017

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

MEYVE BAHÇELERİNİN SULAMA KONTROLÜ
AMAÇLI KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI TABANLI
SİSTEM TASARIMI

Sait ÜNAL

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Sertol KÖKSAL

Yozgat-2017

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70111711038 numaralı öğrencisi Sait ÜNAL'nın hazırladığı **“Meyve Bahçelerinin Sulama Kontrolü Amaçlı Kablosuz Sensör Ağları Tabanlı Sistem Tasarımı”** başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 04/07/2017 Salı günü saat 14:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ



Jüri Üyesi (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Sertol KÖKSAL



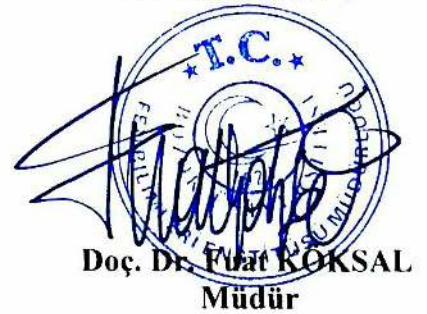
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Kenan GENÇOL



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun .28../07../2017 tarih ve .19. sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

.28../07../2017



Doç. Dr. Fuat KÖKSAL
Müdür

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI VE KABLOSUZ İLETİŞİM	10
2.1.Kablosuz Sensör Ağları.....	10
2.1.1.Kablosuz Sensör Ağı Uygulamaları	11
2.1.2.Kablosuz Sensör Ağı Protokol Katmanları	13
2.2.Kablosuz İletişim Yöntemleri	16
2.2.1.Radyo Frekansı (RF)	16
2.3.ZigBee	18
2.3.1.ZigBee Teknolojisi	18
2.3.2.ZigBee Tarihi ve Aşamaları	19
2.3.3.ZigBee'nin Kullanım Alanları.....	19
2.3.4.Zigbee Protokollerinin IEEE 802.15.4 ile İlişkisi	21
2.3.5.Zigbee'de Düşük Güç Tüketimi	21
2.3.6.Zigbee Araç Tipleri, Ağ Bileşenleri ve Görevleri	22
2.4.Mikrodenetleyiciler	23
2.4.1.Mikrodenetleyiciler Hakkında.....	23
2.4.2.Mikrodenetleyici Özellikleri	24
2.4.3.Mikrodenetleyici İçin Programlama Dilleri	25
2.4.3.1.Makine Dili	25

2.4.3.2.Assembly Dili	25
2.4.3.3.C Programlama Dili	25
2.4.3.4.Basic Programlama Dili.....	25
2.4.4.Arduino Mikrodenetleyici	25
2.4.4.1.Arduino Mikrodenetleyicinin Yapısı	26
2.5.Sensörler.....	28
2.5.1.Toprak Nem Sensörü.....	29
2.5.2.Ortam Sıcaklığı ve Nem Sensörü (DHT11)	29
2.6.Selonoid Valf	30
2.7.RF Modülü	31
2.7.1.SPI Protokolü	32
2.8.Röle	35
3. SULAMA SİSTEMİNİN TASARIMI	36
3.1.Donanım.....	38
3.1.1.Verici Biriminin Çalışma Prensibi	39
3.1.2.Verici Biriminin Donanımı	39
3.1.2.1.Algılayıcı Ünitesi.....	41
3.1.2.2.Kontrol Ünitesi	42
3.1.2.3.RF Modül Ünitesi	42
3.1.2.4.Regüle Ünitesi	43
3.1.3.Alıcı Biriminin Çalışma Prensibi	43
3.1.4.Alıcı Biriminin Donanımı	44
3.2.Yazılım.....	45
3.2.1.Arduinonun Programlanması	46
3.2.2.Bilgisayar Programı Arayüzü	46
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ.....	59

MEYVE BAHÇELERİNİN SULAMA KONTROLÜ AMAÇLI KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI TABANLI SİSTEM TASARIMI

Sait ÜNAL

**Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim
Dalı Yüksek Lisans Tezi**

2017, Sayfa: 59

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ahmet Sertol KÖKSAL

ÖZET

Şüphesiz tarımda en önemli faktörlerden birisi de sulamadır. Kaynakların doğru kullanılmasında, iş gücünün planlanmasında ve verimliliğin önemli ölçüde artmasında akıllı sistemler hızlı bir şekilde entegre olmaya başlamıştır. Bu teknolojinin kablosuz olarak tasarlanmasının nedeni, sistem verimliliğinin en üst seviyede ve bakım maliyetlerinin daha düşük seviyede tutulmasından dolayıdır. KSA'lar bulunduğu konumdaki toprak nem, hava nem, hava sıcaklık gibi verileri belirli aralıklarla alıcıya göndermektedir. Alıcı kısım, sensörlerden gelen bilgileri bilgisayara aktarır ve bir program aracılığıyla bilgisayar ekranında her sensöre ait bilgiler listelenir ve bu veriler bilgisayarda depolanır. Her sensör bulunduğu ortamdaki vanayı kontrol eder. Bu kontrol değişiklikleri ekranda da gösterilir. Geliştirilen modelin özellikle düşük maliyeti ve mevcut sistemlere kolay entegre edilebilme özelliği ile bu güne kadar geliştirilen benzer modellere iyi bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Sensör Ağları, Hassas Tarım, Sulama Sistemleri

SYSTEM DESIGN BASED ON WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR IRRIGATION CONTROL OF FRUIT GARDENS

Sait ÜNAL

**Bozok University Institute of Science and Technology Mechatronics
Engineering Master of Science Thesis**

2017; Page: 59

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet Sertol KÖKSAL

ABSTRACT

Undoubtedly in agriculture, irrigation is one of the most important factors. Intelligent systems have begun to integrate quickly in the right use of resources, planning of workforce and significant increase in productivity. The reason for the wireless design of this technology is that system efficiency is at the top and maintenance costs are kept at a lower level. Wireless sensor network (WSN) transmits periodically soil moisture, humidity and temperature data on its location to the receiver unit. The receiver transfers incoming data to the computer and data is shown on the screen via means of a package program(wireless irrigation system). Each sensor controls solenoid valve on its location. The positions of solenoid valves are shown on computer screen. Developed model could be a better alternative to current ones especially because of its lower cost and easy integration to present technology.

Keywords: Wireless Sensor Network, Precision Farming, Irrigation Systems

TEŞEKKÜR

Katkılarından dolayı danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet Sertol KÖKSAL’a ve sürekli desteğini gördüğüm aileme teşekkür ederim.



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Radyo Frekans Aralığı [16]	16
Tablo 3.1 Verici Donanım Elemanları	40
Tablo 3.2 Alıcı Donanım Elemanları	44
Tablo 3.3 Bilgisayar Arayüzü Bileşenleri	48
Tablo 4.1 Kablosuz Sulama Sistemi Raporu	52



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 KSA Uygulama Alanları.....	11
Şekil 2.2 KSA'larda Katmanlar Arası Geçişler [4]	15
Şekil 2.3 Frekans ve Genlik Modülasyonu [16].....	17
Şekil 2.4 Sayısal İletim [16].....	17
Şekil 2.5 Sayısal İletim Modelleri [16]	18
Şekil 2.6 ZigBee'nin bina otomasyonunda kullanımı [17].....	19
Şekil 2.7 Zigbee ile IEEE 802.15.4 arasındaki bağlantı diyagramı [17].....	21
Şekil 2.8 Mikrodenetleyicinin Yapısı [19].....	24
Şekil 2.9 Arduino Nano'nun arka ve ön yüzü [20].....	26
Şekil 2.10 Arduino Nano'nun Yapısı [20].....	28
Şekil 2.11 Toprak Nem Sensörü [21].....	29
Şekil 2.12 DHT11 Görünüş [22].....	29
Şekil 2.13 DHT11 Arduino Nano Bağlantısı [23]	30
Şekil 2.14 DHT11 Tipik Uygulama devresi [22].....	30
Şekil 2.15 Selonoid Valfin Yapısı [24].....	31
Şekil 2.16 nRF24L01 alıcı-verici modülü [26]	32
Şekil 2.17 Tek Slave Spi Haberleşmesi [28].....	33
Şekil 2.18 Spi Haberleşmesinin Lojik Yapısı [27].....	33
Şekil 2.19 Çoklu Slave Spi Haberleşme [27].....	35
Şekil 2.20 Rölenin Dış Görünüşü [28].....	35
Şekil 3.1 Tasarımın Akış Diyagramı.....	36
Şekil 3.2 Çalışmanın Yapıldığı Konum	37
Şekil 3.3 Kontrol Sistemi	37
Şekil 3.4 Sistem Donanımı.....	38
Şekil 3.5 Sistem Donanımı.....	38
Şekil 3.6 Vericinin Baskı Devresi ve Yapılmış Hali.....	39
Şekil 3.7 Alıcının Baskı Devresi ve Yapılmış Hali.....	44
Şekil 3.8 Arduino Arayüzü	46
Şekil 3.9 Bilgisayar Programı Arayüzü	47
Şekil 4.1 Tasarlanan Sistem	50

Şekil 4.2 Tasarlanmış Sistem	51
Şekil 4.3 Nod-1 Çalışma Grafiği.....	53
Şekil 4.4 Nod-2 Çalışma Grafiği.....	53
Şekil 4.5 Nod-3 Çalışma Grafiği.....	54
Şekil 4.6 Bir Haftalık Gözlem.....	55



KISALTMALAR LİSTESİ

AES	: Gelişmiş Şifreleme Standardı (Advanced Encryption Standard)
AM	: Genlik Modülasyonu (Amplitude Modulation)
AODV	: Ad Hoc On Demand Distance Vector
AP	: Erişim Noktası (Access Point)
AREF	: Analog Referans (Analog Reference)
DC	: Doğru Akım
DSL	: Sayısal Abone Hattı (Digital Subscriber Line)
FHSS	: Frekans Atlamalı Geniş Spektrum (Frequency Hopping Spread Spectrum)
FIFO	: İlk Giren İlk Çıkar (First In First Out)
FM	: Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation)
GFSK	: Gauss Tipi Frekans Kayma Modeli (Gaussian Frequency Shift Keying)
GPRS	: General Packet Radio Service
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
GSM	: Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications)
ICSP	: Devre Üzerinde Seri Programlama (In-Circuit Serial Programming))
IDE	: Tümlleşik Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment)
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IR	: Kızılötesi (Infrared)
IrDA	: Kızılötesi İletişim Teknolojisi (Infrared Data Association)
ISM	: Sınai, Bilimsel ve Tıbbi Cihaz Bandı (Industrial Scientific Medical)
KSA	: Kablosuz Sensör Ağ
KSA	: Kablosuz Sensör Ağı

LQI	: Hat Kalite Göstergesi (Link Quality Indication)
MAC	: Ortam Erişim Yöntemi (Media Access Control)
MEMS	: Mikro Elektromekanik Sistem(Microelectromechanic Systems)
MISO	: Master Giriş Slave Çıkış (Master Input Slave Output)
MOSI	: Master Çıkış Slave Giriş (Master Output Slave Input)
NTC	: Sıcaklıkla Direnci Azalan Termistör (Negative Temperature Coefficient)
PAN	: Kişisel Yerel Ağ (Personel Area Network)
PDA	: Kişisel Dijital Yardımcı (Personal Digital Assistant)
PIC	: Çevresel Üniteleri Denetleme Arabirimi (Peripheral Interface Controller)
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
PM	: Faz Modülasyonu (Phase Modulation)
PV-MSS	: Fotovoltaik Güçle Çalışan Mikro Sulama Sistemi
PWM	: Sinyal Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
RAM	: Rastgele Erişimli Bellek (Random Access Memory)
RF	: Radyo Frekans (Radio Frequency)
RH	: Bağlı Nem (Relative Humidity)
ROM	: Sadece Okunur Bellek (Read Only Memory)
RPL	: Power And Lossy Networks
RX	: Almak (Receive X)
SCK	: Seri Saat Darbesi (Serial Clock)
SPI	: Seri Çevresel Arayüz (Serial Peripheral Interface)
SS	: Slave Seçici (Slave Select)
TTL	: Atlama Sınırı (Time To Live)
TX	: İletmek (Transmit X)
UHF	: Ultra Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)

USB	: Evrensel Seri Veriyolu (Universal Serial Bus)
VLF	: Çok Düşük Frekans (Very Low Frequency)
VoIP	: İnternet Protokolü Üzerinden Ses Gönderme (Voice Over İnternet Protocol)
Wi-Fi	: Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity)
WPAN	: Kablosuz Kişisel Alan Ağı (Wireless Personal Area Network)
WWAN	: Kablosuz Geniş Alan Ağı (Wireless Wide Area Network)
ZC	: Zigbee Koordinatör (Zigbee Coordinator)



1. GİRİŞ

Günümüzde bilişim sektörü hızla gelişmektedir. Bu gelişme her ne kadar akıllı evler olarak akıllarda yer etse de tarım alanlarında da özellikle son yıllarda kullanımı ivme kazanmıştır. Buna bağlı olarak ihtiyaçlar ve istekler de çeşitlilik kazanmaktadır. Burada en önemli kavram haberleşmedir. Haberleşmenin de nasıl yapıldığı oldukça önem arz etmektedir. Bir akıllı ev tasarımı evin sıcaklığı, aydınlığı, kapıların kapılı açık oluşu, elektronik cihazların kontrolü vs. bunların hepsi bir yerden kontrol edilmektedir. Dolayısıyla hepsiyle de bağlantı halinde olunması gerekmektedir. Bağlantının kablolu olduğunu düşünürsek evin her tarafında kablolar görülecektir ki bu da istenmeyen durumdur. Bunun için kablosuz haberleşme teknolojilerinden yararlanmak daha kullanışlı olacaktır. Burada akıllı ev örneği verilmiştir fakat akıllara gelebilecek her alanda kablosuz iletişime ihtiyaç duymaktayız. Akıllı şehirler, akıllı çiftlikler, orman yangın algılama, çevre gözlem vs. gibi birçok alanda(bölüm 2’de bahsedilecektir) kablosuz iletişim bir gereksinim olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kablosuz teknolojilerde yaşanan gelişmeler, konum koşullarını izleyen ve data iletimi için tasarlanan algılayıcılarda da pratiğe geçti. Az maliyetli, düşük güçlü, data analizi, kablosuz haberleşme olanakları ve sınırlı sayıda donanımla yapılmış küçük sensörler ile anılan kablosuz algılayıcılar özellikle haberleşme alanında oldukça önemli rol oynamaktadır [1].

Kablolu algılayıcılarda muhtemel kablo kopmaları, büyük alanların denetiminde daha fazla kablo maliyeti ve buna ilaveten daha fazla güç tüketimini ortaya çıkaracaktır. Buna karşın kablosuz sistemlerle bu olumsuzlukların önüne geçilmiştir. Tasarlanan kablosuz sistemler tüm alanlara bütünleşmiş şekilde yüksek fayda sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Üretim verimliliği olarak, arıza izleme, doğal kaynakların korunması ve kontrolü ve gelişmiş acil müdahale ve güvenlik sistemlerinde etkin kullanım sayılabilir [1].

Son zamanlarda kablosuz haberleşme ve mikro sistemlerdeki gelişmeler Kablosuz Sensör Ağları konusunu cazip kılmaya başlamıştır. Kablosuz sensör ağları çok sayıda sensör düğümünden oluşmaktadır. Sensör düğümü, çevredeki değişimleri ve fiziksel

büyüklikleri algılayabilen sensörü, mikrodenetleyiciyi, kablosuz haberleşme birimini ve güç birimini bünyesinde barındıran ve düşük maliyetiyle çok sayıda üretilebilmeye müsait birimlerdir. Farklı birçok sensör tipinin olması uygulama alanlarının da çok geniş olmasını sağlamıştır. Günümüzde yoğunlukla araştırma yapılan başlıca uygulama alanları: askeri uygulamalar, çevresel uygulamalar, sağlık uygulamaları, ev ve ofis uygulamaları[2].

Uygulama alanı çok geniş olan kablosuz sensör ağlarıyla ilgili birçok alanda çalışma yapılmıştır ve artan bir ivmeyle devam etmektedir.

Mainwaring vd. yaptıkları çalışmada kablosuz sensör ağları ile gerçek hayattaki doğal ortamların izlenmesini amaçlamışlardır. Projede deniz kuşlarının yuvalarındaki davranışları ve ortamı izlenmiştir. Maine sahili açıklarındaki küçük bir adada kurulan sistem, mimari olarak 32 sensör düğümünden oluşur ve gerekli bilgiler canlı olarak web ortamına aktarılır. Çalışma gerçek bir doğal ortamda olduğu için en önemli etkenlerin başında enerji verimliliği gelmektedir. Doğal ortam izleme gibi dış ortamlarda gerçekleşen çalışmalarda enerji verimliliğini arttırmak için veri işleme ve filtreleme gibi işlemler yapılabilmektedir. Bunların yanı sıra kablosuz haberleşme sağlamak için düşük güç tüketimine sahip radyo frekansında haberleşen cihazlar kullanılabilir. Projenin sonuçlarını ele alırsak, enerji verimliliği açısından başarı sağlayan projede tasarlanan sensör düğümlerinin yaklaşık yedi aylık kesintisiz yaşam süresine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler biyologlar tarafından doğrulanmıştır. Canlı veri akışı Java uygulaması ile sağlanmış ve adada bulunan veri tabanı Berkeley'de Intel Research Laboratory'de çoğaltılmıştır[2].

Kablosuz Sensör Ağlarında son yıllarda teorik ve pratik gelişmeler sayesinde araştırma sayısında artış görülmüştür. Bu artan ilgi yoğunlukla fiziksel ortamdan toplanan bilginin küçük sensörlerden oluşan geniş kapsamlı ağlarda işlenmesi ve uzaktaki bir birime iletimi üzerine olmuştur. Günümüzde kablosuz sensör ağlarının büyük bir bölümü sıcaklık, basınç, nem ya da bir nesnenin yeri gibi skaler fiziksel olayları ele alıyor. Bu uygulamaların çoğunda düşük bant haberleşme yeterlidir ve yoğunlukla gecikmeye karşı toleranslıdırlar. Bu nedenler kurulan kablosuz sensör ağının maliyetinin daha düşük olmasını sağlar. Son zamanlarda CMOS kameralar ve mikrofonlar gibi pahalı donanımların gelişmesiyle, ortamdan video, ses, fotoğraf ve

skaler sensör verisi alabilen sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu sistemler genel olarak Kablosuz Multimedya Sensör Ağları olarak adlandırılırlar. Donanımdaki hızlı gelişme ve minyatürleştirme sayesinde tek bir sensör cihazı video ve ses verilerini toplayabilmektedir. Multimedya uygulamalarda enerji tüketimi önemli bir sorundur. Multimedya uygulamalarda veri hacmi yüksek olduğu için yüksek hızlı iletme ve veri işlemeye ihtiyaç vardır. Bu işlemler enerji tüketimini artırmaktadır ve dolayısıyla kurulmak istenen sistemin maliyeti artmaktadır [2].

Römer'in yaptığı çalışmada "Smart Dust" olarak adlandırdığı cihaz sayesinde algılama, hesaplama ve kablosuz haberleşme özelliklerini bağımsız, toz zerresi boyutunda bir cihazda birleştirmeyi öngörmüştür. Çalışmasında uygulama olarak gerçek dünya olaylarını takip edebilecek (örneğin; uzaktan kumandalı oyuncak araba) bir prototip geliştirmiş ve sunmuştur. Sistem düğüm lokalizasyonu, zaman senkronizasyonu ve minik Smart Dust'lardan oluşan büyük ağlarda mesaj düzenlenmesinde yeni teknikler içermektedir. Nesne takibinde en önemli etkenlerin başında farklı sensörlerden gelen verilerin birleştirilip nesnenin yerini tespit edebilmek için, ağdaki tüm sensörler için ortak bir zaman ve uzay referans sistemi gerekmektedir. Fakat Römer'in kullandığı Smart Dust cihazı henüz bu yeterliliğe sahip değildir. Bundan dolayı düğüm lokalizasyonu işleminde sensörlerin lokasyonları tahmin edilmek zorundadır. Zaman senkronizasyonunun çözümü olarak ortak bir zaman skalası oluşturmak için tüm Smart Dust cihazlarının darbe hızlarının senkron olması gerekmektedir. Enerji, boyut, maliyet gibi kısıtlamalar Smart Dust'ı GPS benzeri bir lokalizasyon ve zaman altyapısı ile donatmayı engellemektedir. Bu kısıtlamalara rağmen minik ve enerji verimli sensör düğümleri ile kısmen de olsa takip işlemi yapılabilmektedir[2].

Bulusu vd. yapmış oldukları çalışmada, konum tespit tekniklerini gözden geçirmiş ve dış çevrede bulunan cihazların konum tespiti için çok basit bağlantı-metrik lokalizasyon tekniğinin etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmada, ağın bütün alanını kapsayan sabit sayıdaki referans noktaları periyodik işaret sinyalleri gönderirler. Düğümler referans noktalarına yakınlıklarını belirlerler ve kendilerine yakın referans noktalarına göre bir ağırlık merkezinde kendi konumlarını belirlerler. Konum tespitinin doğruluğu iki komşu referans noktası arasındaki mesafeye ve bu ikisi

arasındaki iletişim uzaklığına bağlıdır. Çalışmada belirtildiğine göre, ilk deneysel sonuçlar %90'lık doğruluğa ulaştığını göstermektedir[2].

Hassas tarımda su iletimi ve dağıtımı alanında yapılan çalışmalar da bulunmaktadır.

Modern tarım doğayı koruyor olsa da üretimde verimliliği ve kaliteyi artıracak yeni teknolojik gelişmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı, iklim koşulları, özellikle bitki ve toprağın özelliği de dâhil olmak üzere zaman ve lokasyonda farklılaşan birçok değişkenin gerçek zamanlı olarak takip edilmesi ve beklenmedik değişikliklere hızlı cevap verecek şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yıllardır kullanılmış olan geleneksel yöntemler hızlı bir şekilde yerini bilgi teknolojisine dayalı hassas tarım tekniklerine bırakmaya başlamıştır. Son yıllarda hassas tarım ile kaliteli üretimi sağlamak için dünyanın birçok yerinde giderek daha fazla ilgi alanına giren araştırma alanlarından biri de su kullanım verimliliğini artırmaktır [3].

Lin ve arkadaşları (2008), su dağıtım sistemlerinde musluk üzerine yerleştirdikleri titreşim ve akustik sensörleriyle kaçak ve tıkanıklık bilgilerini elde etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan testler çoğunlukla fiziksel katman performansının üzerinedir. Ölçüm sonucu olarak 2.4 GHz frekansı 836 MHz frekansında daha çok performans kaybı elde edilmiş olması sonucunda ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni, bazı sensör düğümlerinin toprağın altında ve metal kutuda bulunmasıdır [4].

Stoianov ve arkadaşları (2007) yaptıkları tasarımda atık su sistemlerini takip etmeyi amaçlamışlardır. Bu nedenle, basınç, akustik ve titreşim sensörleri sistemdeki kaçakları, çatlakları ve tıkanıkları tespit etmek için kullanılmıştır. Sahada bulunan sensörlerden Intel Mote 2 düğümü yoluyla alınan veriler Genel Paket Radyo Servisi (GPRS) kanalıyla toplanır ve işlem merkezine iletilir [4].

Gençoğlu (2010) tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisi kullanarak PLC kontrolüyle su pompası tasarımı yapılmıştır. Doğu Anadolu Bölgesinde güneş enerjisini kullanarak, düşük güçlü tüketicilerin beslenmesinde fotovoltaiik sistemlerin kullanılması amaçlanmıştır. Güneş enerjisinden problem olmasına karşılık PLC ile kontrol edilebilen yedek enerji kaynaklarından yararlanılması hedeflenmiştir. Doğu

Anadolu Bölgesinde güneş panellerinden çalışan su pompalama sistemlerinin kullanımı araştırılarak, bu konu ile ilgili veriler toplanmıştır [3].

Atay (2009) tarafından yapılan “Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi” çalışmasında Şanlıurfa ilinin yüksek güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla güneş paneliyle çalışan damla sulama sistemi kurulumu yapılmıştır. Doğru akımla çalışan fırçasız (DC) pompa kullanılan PV-MSS sistemi, önceden tespit edilmiş bir bölgede yetiştirilen yerli biberin sulama ihtiyacına binaen boyutlandırılmıştır ve tarla etkinliği deneysel olarak araştırılmıştır. Ayrıca kullanılan DC pompanın, klasik alternatif akım pompalarla teknik ve ekonomik açıdan deneysel kıyaslanması ve incelenmesi yapılmıştır [3].

Bhosale ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan “Hindistanın Küçük Nar Çiftlikleri için Akıllı Tarım Alternatifi “ çalışmasında narın yarı kurak iyi yetiştiğini ve bunun önemli bir ticari alan olduğunu vurgulamıştır. Ancak son yıllarda mevsimsiz yağın yağmurlar nedeniyle nem eğilimli bakteriyel hastalıklar ortaya çıkmış ve üretimde ciddi kayıplar verilmiştir. Bu çalışmayla toprak ve atmosferik koşulları izlemek için kablosuz sensör düğümleri geliştirmek hedeflenmiştir. C dilinde yapılan yazılımla da kaydedilen veriler internet üzerinden paylaşılacaktır [5].

Kim ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan “ Düşük güç ve düşük kayıplı ağlar için hassas tarımda veri toplama“ çalışmada en iyi yetiştirme koşulları sağlamak için tarımsal çevre izleme sistemleri çeşitli kablosuz sensörlere dayalı olarak geliştirilmektedir. Sensör sayısının artmasıyla veri kaybı ve güç tüketimi daha da artmaktadır. Bu çalışmada bu problemleri gidermek için veri toplama düzeni önerilmektedir. Tarım alanında özellikle seralarda RPL yönlendirme protokolü önerilmektedir. Veriler toplanır ve analizi yapılarak verinin miktarı azaltılır [6].

Roy ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan “ Kablosuz sensör ağı kullanarak tarımsal saldırı tespiti için bir prototip” adlı çalışmada tarımda ürün verimini artırmak için çeşitli teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Tarım arazilerinde hayvanların saldırısı ve insanları hırsızlıkları ürün yetiştiriciliğine ağır darbe vurmaktadır. Bu çalışmada tarım alanındaki davetsiz misafirleri algılamak için kablosuz algılayıcı ağı kullanarak bir prototip önerilmektedir. Bu sistemle tarım

alanına bir saldırgan girdiğinde çiftçinin evinde alarm oluşturulur ve cep telefonuna metin mesajı iletilir [7].

Atta ve arkadaşları (2011) “Kablosuz Sensörler Ağ Teknolojisi Kullanarak Suudi Arabistan'da Buğday için Akıllı Sulama Sistemi” çalışmalarında sulanan tarımın dünyada en çok su tüketeni olduğunu ifade ederek ortalama yağışın az olduğu yarı kurak ve kurak bölgelerde su sıkıntısı daha da belirgin hale geldiğine vurgu yapılmaktadır. Sulamanın zamanlanması ve su miktarı sulamanın en önemli unsurlarıdır. Mevcut sistemlerin toprak nemini izleme ve sulama yöntemi için gerekli tüm bilgileri sağlamalarına rağmen güvenlik eksikliği bulunmaktadır. KSA’lar zaman ve mekân içinde daha düşük maliyetle yeni bir teknolojidir. Toprak nemini izlemek için iki yönlü kablosuz iletişim sağlanacak ve bu bilgiler düğümlere iletilecektir. Bu sayede bitkilerin büyüme hızında ilerleme ve su kullanım verimliliğinin hissedilir derecede artması sağlanmıştır [8].

Dursun ve arkadaşları (2011) “Toprak Nem Sensörleriyle Otomasyon Destekli Damla Sulama Sisteminin Bir Kablosuz Uygulaması” adlı çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada bir kablosuz sensör ağın düşük maliyetli, kablosuz sulama kontrolünü, çözümünü ve gerçek zamanlı olarak toprak nem bilgisinin izlenmesi olanağını sağlar. Sulama valflerini kontrol etmek amacıyla kablosuz veri istasyonları güneş panelleriyle beslenirler. Tasarlanan sistem 3 üniteden oluşur: temel istasyon, valf istasyonu ve sensör istasyonudur. Elde edilen sulama sistemi ağacın nem basıncını ve tuzluluğunu önlemekle kalmaz aynı zamanda tatlı su kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlar. Ek olarak geliştirilen sulama metodu, sulama için işçilik ihtiyacını da ortadan kaldırır. Bu tasarlanan sistem İç Anadolu bölgesinde 8 dekarlık bir alanda bodur kiraz ağaçlarının damla sulama sisteminin kontrolü için uygulanmıştır [9].

Mat ve arkadaşları (2014) “Kablosuz Sensör Ağı Kullanarak Hassas Sulama Performansının Ölçülmesi” adlı çalışmalarında çiftçilerin, havanın yanlış tahmininden ve yanlış sulama metotlarından dolayı dev finansal kayıplarının olduğu ifade edilmiştir. Kablosuz sensör ağı gelişimi seralarda hassas tarım için otomatik olarak entegre edilmiştir. Bu çalışmada, seralarda KSA’nın tasarım gereksinimleri, sistem mimarisi, çalışması ve test sonuçları tanımlanmıştır. Sensörler sıcaklık, hava

nemi ve toprak nemini göstermek için kullanılmıştır. Sensörlerden alınan datalarda geri besleme döngüsü içerisinde kontrol edilecek cihazları eşik değerler baz alınarak aktif hale getirilir. Hassas tarımda KSA'nın kullanılması su, gübre ve aynı zamanda maksimum ürün elde edilmesini optimum hale getirecektir [10].

Hussain ve arkadaşları (2013) “Kablosuz Sensör Ağları Kullanarak Otomatik Sulamanın Kontrolü” adlı çalışmada tarım alanındaki en önemli kısım olarak toprağın gübresi hakkında bilgi edinmek ve ikinci olarak da toprağın nem içeriği hakkında bilgi edinmek olduğunu belirtmiştir. Bu iki faktör ölçüldükten sonra bir çiftlikte ürün ekimine başlanabilir. Bu çalışmada, mahsul verimliliğini kontrol etmek için toprak verimliliğini ölçmek hakkında kısa bir taslak vereceğiz. Toprağın bileşenlerini(potasyum, fosfor ve azot) ölçmek için iki cihaz kullanacağız. Ölçme verimliliğinden sonra, toprağın nemini ölçmek için, mikroişlemci kullanarak otomatik damla sulama sistemi önerilecektir [11].

Rhman ve arkadaşları (2014) “Kablosuz Kontrollü Sulama Sistemi” adlı çalışmalarını Basra kentinde gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada KSA tabanlı akıllı sulama sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem, bir ATmega328 mikrodenetleyici, toprak nem sensörleri, sıcaklık sensörleri, nem sensörleri, XBee modülleri ve selenoid vana gibi farklı sensörleri içeren bir Arduino Uno kartı tarafından temsil edilen ana ünitelerden oluşur. Zigbee teknolojisi kablosuz teknolojiyi uygulamak için bu projede kullanılmıştır. Bu sistemde iki mod vardır biri akıllı diğeri ise manuel moddur. Ayar noktaları mevsim koşullarına göre manuel olarak değiştirilecek ve akıllı mod bu ayarlara göre çalışmasını sürdürecektir [12].

Sivakumar ve arkadaşları (2012) “Sulama alanında Kablosuz Sensör Ağı Uygulaması” çalışmalarında sulama alanında yüksek performanslı, gömülü sistemli, düşük güç teknolojili kablosuz sensör ağı tasarlamışlardır. Sensör düğümü su seviyesi kapı konumu ve yağış gibi hidrografik bilgiler toplar. Alıcı düğüm gerçek zamanlı verileri alır; bu verileri depolar ve işler alıcı düğüm üzerinden gprs ağı ile iletir. Sistem ile kablolu iletişim yerini kablosuz iletişime bırakır. Kurulum ve bakım maliyetleri azalır, sistemin güvenilirliğini ve yayılımını artırır. Daha iyi uygulama geleceği vardır [13].

Srbinska ve arkadaşları (2014) “Kablosuz Sensör Ağı Kullanarak Hassas Tarımda Çevresel Parametrelerin İzlenmesi” adlı çalışmalarında seraların kontrolüne değinmişlerdir. Sera sebzeleri için kablosuz sensör ağı mimarisi bilimsel tarımı gerçekleştirmek ve çevresel izleme bakımından daha düşük yönetim maliyetleri için önerilmiştir. Sera ortamının özelliklerinin analizine göre, pratik ve düşük maliyetli sera izleme sistemi, sıcaklık, nem ve aydınlatma gibi temel çevresel parametrelerin izlenmesi amacıyla kablosuz sensör ağı teknolojisine göre tasarlanmıştır [14].

Coates ve arkadaşları (2013) “ Kablosuz Sensör Ağı İle Sulama Vanası Kontrolü” hakkında çalışma yapmışlardır. Tarımda KSA daha yaygın hale gelmektedir. KSA üzerinde yapılan birçok çalışmanın entegre kumanda ile akademik çalışmalar yapılmıştır. Ticari olarak temin edilebilen kablosuz algılama ve kontrol ağları geliştirmek için, valf kontrol donanımı ve yazılımı bir ticari kablosuz sensör düğümü ile uyumlu olacak şekilde geliştirilmiştir. Araştırma sonuçları ve ürünün kendisi yetiştiriciler için kullanılabileceğinden yapılan çalışma satıcı ile işbirliği içinde yürütülmüştür. Valf çalıştırma sitemi gelişmiş nod yazılımı, eyleyici donanım ve yazılımı kontrollü bir internet ağı geçidi ve web arayüzü yazılımından oluşmaktadır. Mesh ağı için tek atlama radyo aralığı (görüş hattı) 1610 m ulaşmıştır. Otuz dört vana motoru, 54 vanayı kontrol etmek ve 6 adet su sayaçlarını izlemek için sahada kuruldu [15].

Bu çalışmada kablosuz sensör ağlarıyla meyve ağaçlarının toprak nem durumu ve bulunduğu ortamın hava koşulları(basıncı sıcaklık) verilerinin temin edilerek uygun şartlarda sulanması amaçlanmıştır. Gelişen teknoloji ile çok düşük güç tüketimine sahip olması ve düşük maliyetle kurulabildiklerinden dolayı kablosuz sensör ağları tercih edilmiştir. Tasarımda Nordic Firmasının NRF24L01 RF alıcı verici modülü kablosuz haberleşmede kullanılmıştır. SPI(serial peripheral interface) protokolünü kullanan modül tasarımda çift yönlü haberleşme kullanılmıştır. Hem vericiler alıcıyla haberleşebilmekte hem de alıcı her bir vericiyle haberleşebilmektedir. Alıcıdan herhangi bir vericideki toprak nem algılama değeri bir program ara yüzüyle değiştirilebilmektedir. Böylelikle vericinin sürekli kod güncellenmesinin önüne geçilebilmektedir. Vericilerden toprak nem değeri, hava koşulları ve selenoid valfin açık ya da kapalı olduğu bilgisi alıcıya anlık olarak iletilmekte ve bilgisayardaki ara

yüz programından bu değerler görülebilmektedir. Ayrıca arayüz programından ilgili vericinin toprak nem algılama değeri değiştirilebilmektedir. Bu sayede sistem başka bitkiler için de rahatlıkla kullanılabilir. Sistem test amaçlı olduğundan üç vericiyle sınırlandırılmıştır. İstenirse verici sayısı uygulanacak yere göre artırılabilir.



2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI VE KABLOSUZ İLETİŞİM

2.1.Kablosuz Sensör Ağları

Mikroelektromekanik sistemlerin (MEMS) ve radyo frekansının (RF) hızlı gelişimi, düşük maliyetli, ucuz, az güç tüketen, ağa bağlı mikrodetektörlerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu sensör nodları (düğümüleri), basınç, sıcaklık, cismin hareketi vb. gibi çeşitli fiziksel bilgileri ölçmek için kullanılır. Bununla birlikte, çevrenin fiziksel özelliklerini niceliksel ölçümlerle eşleştirmek mümkündür. Tipik bir KSA (Kablosuz Sensör Ağı), kablosuz ortam vasıtasıyla birbirine bağlı yüzlerce veya hatta binlerce sensör düğümünden oluşur. Bu düğümler ağ topolojisi olarak önceden programlanmamışlardır. Pil ömrünün kısalığı nedeniyle sensör nodları (düğümüleri), zamanın çoğunu düşük güç tüketimi modunda geçirmektedirler. KSA tarafından sağlanan bazı avantajlar veya ek özellikler maddelerle belirtilmiştir. [4].

Her zaman her yerde: Hâlihazırdaki büyük sensör düğümleri kapsamı, maliyet unsurları ve montaj nedenlerinden dolayı belirli fiziki alanlarla sınırlı kalmıştır. Tersine, Kablosuz sensör ağları işçi bakımına ihtiyacı olmayan birçok fiziki olarak ayrılmış sensör düğümü içerebilirler. Sadece bir tek düğümde kapsama alanı küçükse, yoğun şekilde dağıtılan düğümler aynı anda ve organize olarak birlikte çalışabilir. Bu sayede tüm şebeke kapsama alanı genişletilir. Buna ek olarak, sensör düğümleri hayati tehlike oluşturan ve dört mevsim çalışabilen alanlarda bırakılabilir. Böylece bu düğümler, algılama görevlerini istedikleri zaman gerçekleştirebilirler[4].

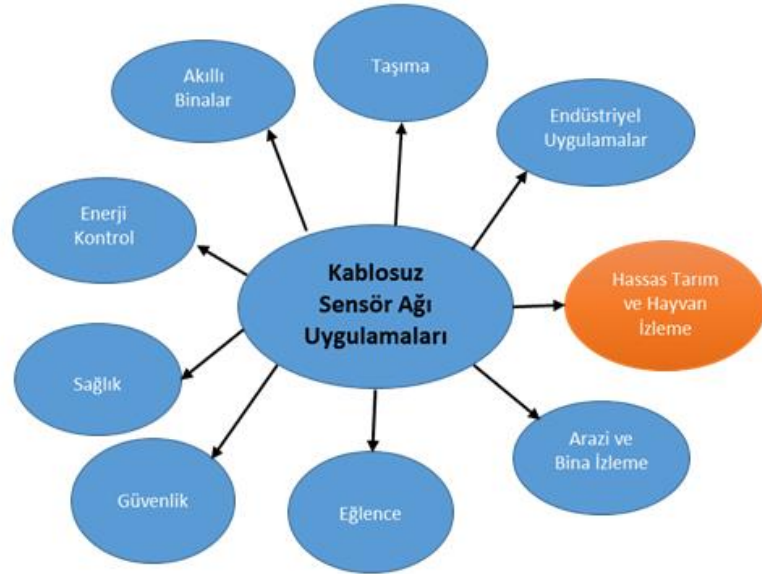
Olası hatalara karşı daha fazla tolerans: Bu özellik, kablosuz sensör ağlarının sık yerleştirilmesinin bir sonucudur. Aynı alanda komşu düğümlerden ilgili verileri elde etmenin bir sonucu olarak, çoklu sistemin hatayı telafi etme şansı tekli bir büyük hücreye göre daha da büyüktür. Tekli bir büyük hücre başarısız olursa veya işlem durdurulursa, sistem sensörün bulunduğu bölgedeki fonksiyonu tamamen kaybeder. Aksine, KSA'da, mikro-sensör düğümlerinin küçük bir kısmı başarısız olursa, KSA, üretilen veriler gereksiz olduğu için, kabul edilebilir seviyelerde bilgi üretmeye devam edebilir. Herhangi bir yönlendirme hatası varsa, alternatif iletişim yolları da kullanılabilir[4].

Geliştirilmiş doğruluk oranı: Tek bir makro-algılayıcı düğüm tek bir mikro-algılayıcı düğüme göre daha iyi bir sonuç çıkarsa bile, çoklu mikro-düğümün bir veri parçasına dönüştürülmesiyle elde edilen veriler aslında dünyanın gerçeğinin daha çoğunu gösterebilir [4].

Düşük Maliyet: Kablosuz sensör ağlarında maliyetlerin daha düşük olması beklenmektedir. Bunun nedenleri; minimize edilmiş boyutlar, daha düşük fiyatlar ve yerleştirme kolaylığı olarak ifade edilebilir [4].

2.1.1.Kablosuz Sensör Ağı Uygulamaları

KSA düğümleri uygulama türüne göre, sıcaklık, nem, basınç, ışık, cisim hareketleri, gürültü vs. gibi değişkenleri ölçebilirler. KSA uygulama alanları şekil 2.1’de gösterilmiştir [4].



Şekil 2.1 KSA Uygulama Alanları

Güvenilirlik, kendi kendini organize etme, esneklik ve KSA kurulum kolaylığı nedeniyle, çeşitli kullanılabilir potansiyel uygulamalar bulunmaktadır. Ayrıca, neredeyse her ortamda, özellikle mevcut kablolu ağların imkânsız veya kullanılmadığı durumlarda, örneğin çatışma meydanları, atmosfer dışı, okyanus, vb. kullanılabilirler [4].

Askeri Uygulamalar: KSA'ların, askeri alanda önemi her geçen daha da artmaktadır. Özellikle istihbarat, keşif, gözlem gibi oldukça önemli bilgilerin elde edilmesinde sıkça kullanılır hale gelmiştir [4].

Çevre Algılaması ve İzleme: Belli bir coğrafyada meydana gelen değişikliklere inzenmesi ya da kontrol altında tutulması kablosuz sensör ağlarının yerleştirilmesiyle sağlanabilmektedir [4].

Felaketten Korunma ve Kurtarma: KSA'lar acil durumlardaki veya afetlerdeki yerlerde etkili olabilecektir. Dağıtılmış KSA'lar aracılığıyla doğru ve zamanında jeolokasyon kurtarma operasyonları için oldukça önemlidir. Potansiyel tehlike sayısı veya acil durum kaynakları, kimlik tespit prosedürleri ve kurtarılmayı bekleyen kişilerin belirlenmesi hayati önem taşımaktadır [4].

Tıbbi Hizmetler: Daha sağlıklı hizmetleri sunmada ve gelecekte insan sağlığı için daha iyi bir koşul yaratmada çok yararlı olabilirler [4].

Uzaktan Ölçüm: Kablosuz ağ üzerinden elde edilen sensör verilerini (gaz, elektrik, oda sıcaklığı) istenen noktaya iletebilirler. Veya süresi dolmak üzere olan park zamanının araç sahibine bildirilmesini sağlayabilirler. [4]

Akıllı Alanlar: Teknoloji alanındaki gelişmelerle birlikte, kablosuz sensör ağlarını kişisel eşya ve cihazlarla irtibatlamak mümkün hale gelmiştir. Örneğin yapılan diyeteye göre buzdolabındaki yiyeceklerin envanterini tutabilir ve gerekli durumlarda uyarı ya da alarm verebilir [4].

Bilimsel Araştırmalar: Bilimsel çalışmalara çok daha fazla veriyi kısa bir zamanda ve düşük maliyetle elde etme imkânı sağlayabilmektedir. Daha net verilerle anlamlı sonuçlar elde edilebilecektir [4].

Nezaret ve Gözetim Uygulaması: Örneğin, birçok akustik ağ sensörü belirlenmiş hedeflerin tespitinin yapıldığı alanlarda güvenlik amaçlı kullanılabilir. Kablosuz sensör ağları, binalar, yerleşim alanları, havaalanları, tren istasyonları vb. yerlerde yerleştirme, ziyaret, tanıma ve ana komuta merkezine anlık olarak bilgi aktarma gibi amaçlar için kullanılabilir. Benzer şekilde duman dedektörleri evlerde, otel

odalarında ve okullarda yerleştirilerek olası kazaları, yangınları ve felaketleri tanımlayarak mümkün olan en hızlı müdahaleyi mümkün kılarlar [4].

2.1.2.Kablosuz Sensör Ağı Protokol Katmanları

Önceki bölümde anlatılan kablosuz sensör ağı uygulamaları beraberinde birçok problem de getirmektedir. Temel tasarım sorunları şu kısıtlamalardır [4].

Enerji Verimliliği: Algılayıcıların pillerle usun bir süre (bir yıl, iki yıl) çalışması beklenmektedir. Bundan dolayı, enerji verimliliği düğüm tasarımında önemli bir yere sahiptir [4].

Gecikme Garantisi: Sensör düğümü olayları gözlemlerken, kararlı ve etkili bir sistem için verilerin iletiminin gecikmesinin tolere edilebilir düzeyde olması gerekir. Tıbbi bir gözlem, gaz alarmı, yangın alarmı gibi uygulamalar için verinin çok kısa bir sürede ilgili yere iletilmesi hayati önem arz etmektedir. Aksi halde böyle bir protokol güvenilir olmayacaktır [4].

Hata Toleransı: KSA'lar, sensör hatası, düğüm hatası ve hat hatası olan bu üç arıza tipine dayanabilmelidirler. Sensör arızası, üretimden ya da eskimeden kaynaklı olabilir. Eğer sensör çevresel değişimlere tepki vermiyorsa arızalıdır. Öte yandan, algılayıcı eskidikçe, okumada değişiklik miktarı azalır. Böylece yaşlandırma faktörüne ve uygulamaya göre, sensör tarafından okunan değer anlamsızlaşır. Hat arızası düğümün yerinden çıkması nedeniyle oluşabilir. Düğüm arızası elektrik kesintisinden dolayı meydana gelebilir. Tasarlanırken, algılayıcı ağlarının uygulamaya has özellikleri hesaplamaya katılmaz ise, tüm bu kısıtlamalardan kurtulmakta zorlanılabilir [4].

Çok Noktadan Tek Noktaya İletim: Sensör ağlarındaki iletişim, düğüm noktalarından merkezi data toplayıcısına doğrudur. Çok noktadan tek noktaya iletişim; düğümlerin bu yolda veri toplamasını ve sıkıştırılmasını sağlar [4].

Toplu İşleme: Algılayıcı nodları, kendilerine ait datalarını iletirken birbirleriyle rekabet etmeden işlevlerini ortak bir şekilde yerine getirirler. Ayrıca aldıkları paketi herhangi bir işlem yapmadan iletirler. Bununla birlikte, kablosuz sensör ağlarında,

düğümlemler toplayıcı düğüm tarafından belirlenen zaman aralıklarını kendileri için kullanır, böylece iletim hakkı elde etmek için harcanan enerji ve zaman azaltılır. Dahası, bazı düğümlemler tarafından uzun iletim yollarının seçilmesi, toplam ağın ömrünün uzatılmasına da sağlayabilir [4].

Kısıtlamaların Düzensiz Dağılımı: Ortak toplama noktasının algılayıcı düğümlemleriyle olan sınırlamaları simetrik değildir. Sensör düğümlemleri sınırlı enerjilere ve iletim gücüne sahiptir. Fakat veri toplayan merkezin enerji veya elektrik sorunu yoktur. Senkronizasyon işlemi bu olaya örnektir. KSA'lar için bir protokol tasarımı yapılırken, bütün katmanları kapsayan bir protokol tasarımı düşünülmelidir. Çapraz katman iki farklı şekilde düzenlenebilir. İlk yaklaşım, diğer katmanlara parametreler ekleyerek protokol katmanlarının performansının artırılmasını sağlamaktır. İkincisi ise, birkaç katmanı tek bir protokol katmanı haline getirmektir. Genellikle ikinci yaklaşım daha iyi sonuçlar vermektedir. Şekil 2.2'de basite indirgenmiş bir ağ protokolü gösterilmektedir. Her tabakanın işlevi şu şekildedir [4].

Fiziksel Katman (Physical Layer): Kablosuz bağlantıyla verileri noktalara güvenli olarak iletmeye odaklanmaktadır. Bu katmanın yaptığı temel işlevler modülasyon, çeşitlilik, güç kontrolü ve kodlamadır [4].

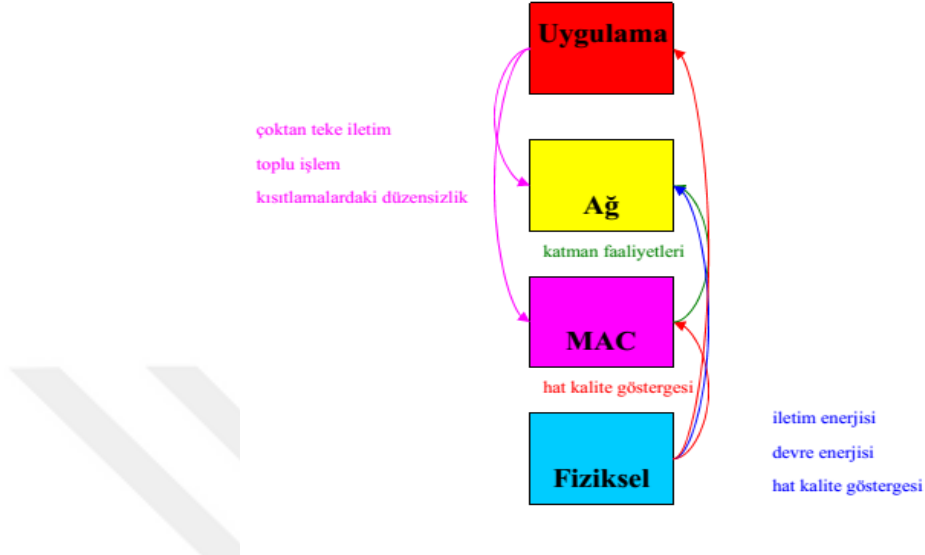
İletim Ortamı Erişim Kontrol (Medium Access Control, MAC) Katmanı: Kullanıcıların iletim bandını nasıl kullandığını denetleyen katmandır. Kısaca MAC katmanı olarak bilinir [4].

Ağ Katmanı (Network Layer): Dataların kaynağından hedef noktaya gönderilmesini gerçekleştirir. Ayrıca ağın yönlendirilmesinden ve kaynağın yönetiminden sorumlu katmandır [4].

Uygulama Katmanı (Application Layer): Ağ ortamına gönderilen datayı üretmektedir. Ayrıca ağ ortamından gelecek olan datayı işler. Ana işlevi kaynak kodlaması yapmasıdır [4].

Çapraz katman dizaynında, alt katmanlardan üst katmanlara doğru rapor gönderilir. Geçişler genede aşağıdan yukarıya yönlüdür. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi tasarım,

kablosuz sensör ağlarının uygulamaya özel özelliklerini çalıştırmak için üst katlardan alt katmanlara kadar olan etkileşimlerini de içerir [4].



Şekil 2.2 KSA'larda Katmanlar Arası Geçişler [4]

Uygulama katmanı, diğer katmanlarca kullanılacak kablosuz algılayıcı ağının spesifik özelliklerini belirtir. Çok işlemeli özellik, düğümlerin sıkıştırılmasına izin verirler. Kısıtlamadaki dengesizlik, MAC katmanda enerji verimliliğini sağlamaktadır. Fiziksel katman özellikleri, paket iletiminde kullanılan enerjiyi, iletim enerjisini ve iletim gücü fonksiyonunu hesaplar. Bu işlevler, en iyi yönlendirme planının seçilmesinde kullanılır. Fiziksel katman ayrıca MAC, yönlendirme ve uygulama katmanlarına Bağlantı Kalitesi Göstergesi (LQI) bilgisi sağlar. LQI, alıcı enerji ölçümünü kullanarak uygulanabilir. Örneğin, IEEE 802.15.4 kanal bant genişliği içindeki gelen sinyal gücü tahmini, sinyal gürültüsü tahmini veya bunların bir kombinasyonu şeklinde olabilir. Sonuç olarak, MAC katmanı etkinliği, düğüm paketleri göndermediğinde veya almadığı zaman ağın performansını optimize etmek için yönlendirme katmanında kullanılabilir [4].

2.2.Kablosuz İletişim Yöntemleri

2.2.1.Radyo Frekansı (RF)

Radyo dalgaları, 3 KHz - 300 GHz arasında büyük bir frekans aralığında bulunur. Bahsedilen frekans aralığı Tablo 2.1’de görüldüğü gibi beş aralığa ayrılmış ve herbirinin isimleri, kısaltmaları ve dalga boyları belirtilmiştir [16].

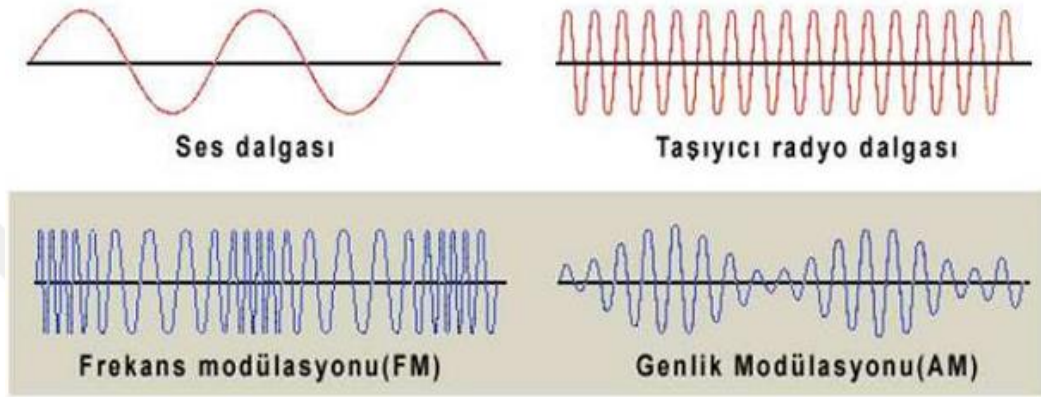
Tablo 2.1 Radyo Frekans Aralığı [16]

Frekans	İsim	Kısaltma	Dalga Boyu
10 - 30 KHz	Very Low F.	VLF	300 - 10 km.
30 - 300 KHz	Low F.	LF	10 - 1 km.
0.3 -3 MHz	Medium F.	MF	1000 - 100 m.
3 - 30 MHz	High F.	HF	100 - 10 m.
30 - 300MHz	Very High F.	VHF	10 - 1 m.
300 - 3000MHz	Ultra High F.	UHF	1 - 0.1 m.
3 - 30 GHz	Super High F.	SHF	100 - 10 cm.
30 - 300 GHz	Extremely High F.	EHF	10 - 1 cm.
300 - 400 GHz	Infrared light		1 - 0.008 mm.

Haberleşmede yukarıda belirtilen bantları hepsi kullanılmamaktadır sadece belirlenen kısımları yaygın olarak kullanılmaktadır. En yaygın kullanılanı ISM (Industrial Scientific Medical band) olarak adlandırılan sertifika ve lisansa gerek olmadığından çoğu ülkelerde telsiz haberleşmesi için üzerinden yayın yapılabilen bir banttır. Türkiye’de bu bandın (ISM) yaygın olarak kullanılan frekansları 315, 418, 433.92, 868, 915 MHz ve 2.4 GHz frekanslarıdır [16].

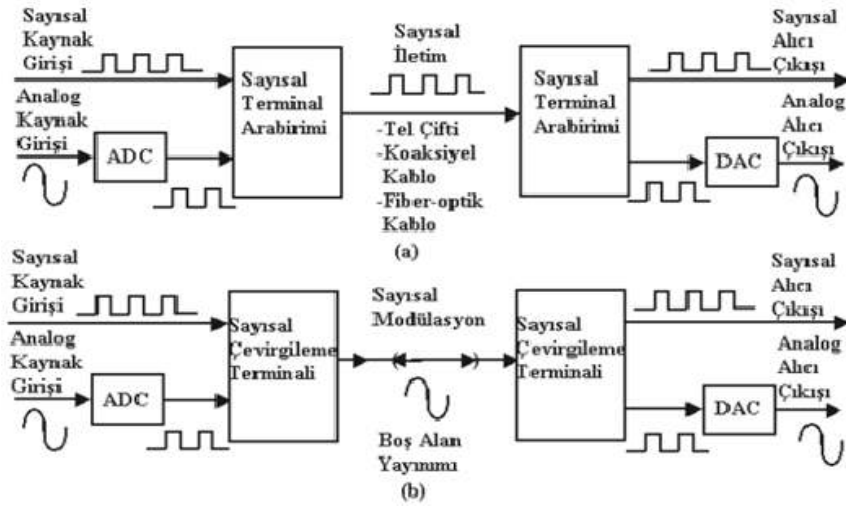
Çok düşük frekanslı işaretlerin (örneğin ses) uzak noktalara gönderilmesi oldukça zordur. Bu nedenle, düşük frekanslı sinyal, uzun mesafelere taşınmak üzere yüksek frekanslı bir taşıyıcı sinyal üzerine bindirilebilir. Bu olay modülasyon olarak adlandırılır. Kablosuz haberleşmede, benzer biçimde iletilecek bilgilerin bir taşıyıcı

dalga tarafından modüle edilmesi gerekir. Modülasyon değişik şekilde bir çok yolla yapılabilir. Bu tekniklerden, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi frekans modülasyonu (FM), bilgi sinyalinin frekansına bağlı olarak taşıyıcı dalga frekansının modülasyonudur. Benzer şekilde, Genlik Modülasyonu (AM), bilgi sinyalinin frekansına bağlı olarak taşıyıcı dalga genliğini değiştirilerek elde edilir [16].

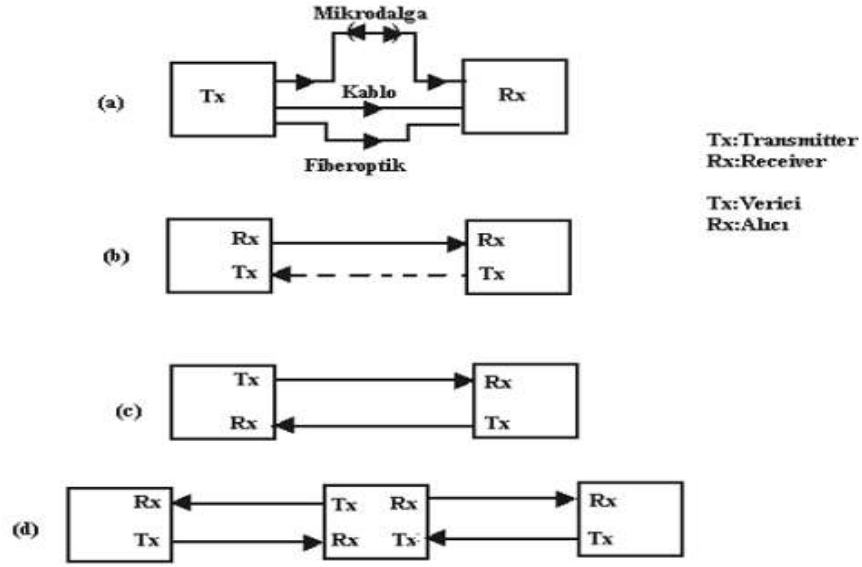


Şekil 2.3 Frekans ve Genlik Modülasyonu [16]

Son zamanlarda bilenen analog sistemlerin (AM, FM, PM) yerini Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te görülen sayısal haberleşme sistemleri almıştır [16].



Şekil 2.4 Sayısal İletim [16]



Şekil 2.5 Sayısal İletim Modelleri [16]

Simplex = Bilgi iletimi tek yönlüdür (TV, Radyo vs. kullanılır).

Half duplex = Farklı zamanlarda olan iki yönde data iletimi sağlanır (Diafon).

Full duplex = Aynı zamanda ve iki taraflı bilgi iletimi gerçekleşir (Telefon vs.).

Full/Full duplex= Gelişmiş son yapı olup, bir noktadan veri alırken veya iletirken diğer noktaya da veri iletir veya alabilir (Telefon Santrali vs.) [16].

2.3.ZigBee

2.3.1.ZigBee Teknolojisi

Zigbee, kablosuz iletişim teknolojilerinde düşük data hızlı kablosuz kişisel alan ağı (LR-WPAN) iletişimi olarak bilinmektedir. Zigbee teknolojisi, küçük boyutlu veri alışverişi, minimum güç tüketimiyle, kolay ve esnek kurulum ile gerçekleştirilebilen uygulamalarda düşük maliyet açısından oldukça talep görmektedir. Bu teknoloji ile karmaşık ağ yapıları oluşturmak, genişletmek ve diğer ağlarla haberleştirmek oldukça kolaydır [17].

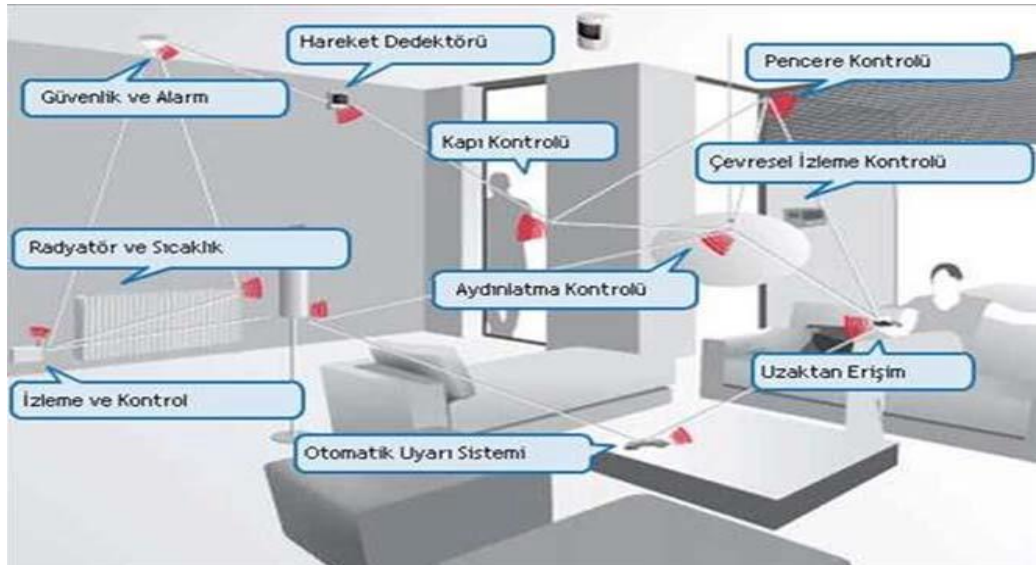
2.3.2.ZigBee Tarihi ve Aşamaları

1998'den bu yana, bazı uygulamalar için Wi-Fi ve Bluetooth gibi kablosuz iletişim teknolojileri yetersiz kalmış ve Zigbee tarzı ağlar üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Hedef, son derece güvenilir, düşük maliyetli, enerji tasarrufu sağlayan ve görüntüleme ve yönetim amaçlı ağlar için uygun ürünleri üretmektir. Zigbee teknolojisi tarafından istenen standart IEEE 802.15.4 standardı Mayıs 2003'te tamamlandı. 14 Aralık 2004'te Zigbee özellikleri sertifikalandı. Zigbee Alliance, Zigbee teknolojisinin standartlarından sorumlu dünya çapında bir topluluktur. Zigbee Haziran 2005'te piyasaya sürülmüştür. Zigbee 2007, 30 Eylül 2007'de yeni teknik özellikler ile piyasaya çıktı. Son olarak, ilk Zigbee uygulama profili olan ev otomasyonu 2 Kasım 2007'de tanıtıldı [17].

2.3.3.ZigBee'nin Kullanım Alanları

Zigbee'nin avantajları sayesinde birçok sektördeki sensörlerin iletişimi, kontrol ve gözlem mekanizmalarında kullanılır. Zigbeenin en çok tercih edildiği bazı alanlar ve bu alanlardaki uygulamalar aşağıda verilmektedir [17].

Ticari Bina ve Ev Otomasyonu: Isınma, havalandırma, klima, ışıklandırma kontrolü, kapı, pencere, panjur, kilit kontrollerinde, ev otomasyonunda, bina içi giriş-çıkış kontrollerinde gibi yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır [17].



Şekil 2.6 ZigBee'nin bina otomasyonunda kullanımı [17]

Güvenlik: Yangın, gaz, su, hırsızlık vs. gibi güvenlik gerektiren yerlerde kullanım alanları vardır [17].

Sağlık Sektörü: Hastanın takibi ve vücut geliştirmede, kan basıncı, tansiyon ve nabız gibi sağlık bilgilerinin takibinde oldukça büyük öneme sahiptir [17].

Araçlarda: Araçlarda bulunan mekanik yapıların kontrol edilmesinde ayrıca lastik basıncının da takibinde kullanılmaktadır [17].

Tarım: Tarım alanlarındaki ürünlerden en iyi şekilde verim alabilmek için toprağın emi, havanın sıcaklığı, topraktaki azot miktarını vb. gibi verilerin takibini sağlamaktadır [17].

Endüstri: Üretimin takibi, enerjinin verimliliği ve cihazların durumunun kontrollerinde kullanılmaktadır [17].

Bu IEEE 802.15.4 standardı yukarıda belirtilen işlemleri fiziksel ve MAC katmanında gerçekleştirmektedir [17].

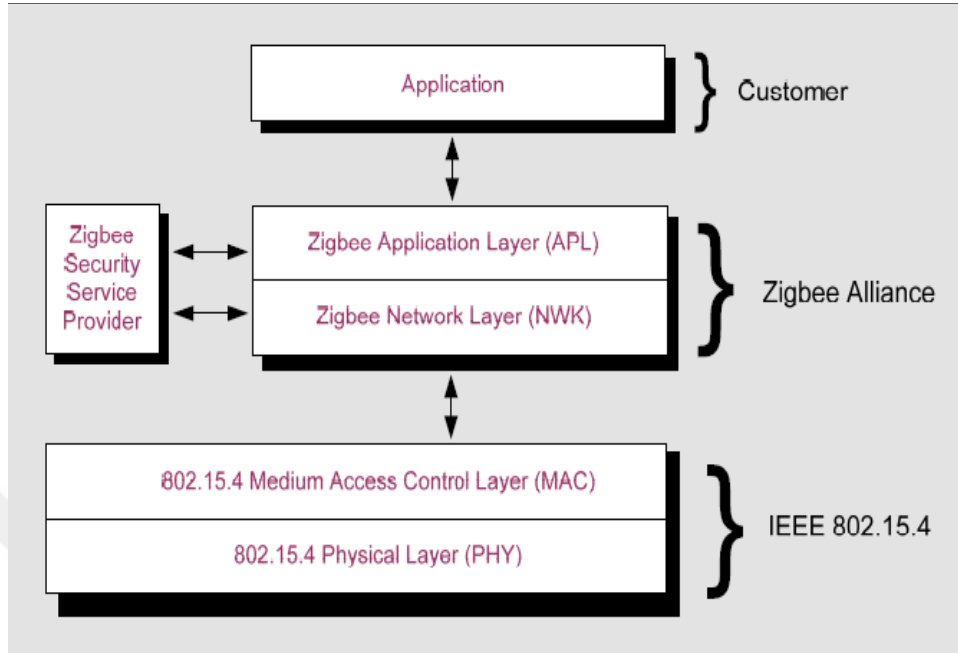
Fiziksel Katman (Physical Layer)

Radyo frekansının kontrolünün ve data iletim ortamının uygunluğunu belirler. Ayrıca verinin iletilmesinde ve alınmasında gerekli olan modülasyon ve demodülasyon işlemleri de bu katmanda yapılmaktadır [17].

Ortam Erişim Yönetimi Katmanı (MAC)

Güvenliğin sağlandığı katman olarak bilinir. Her cihazda büyüklükleri 64 ya da 16 bit olan bir MAC adresi mevcuttur. Paketlerin kriptolu işlemleri de bu katman da yapılarak aygıtlar arası güvenlik sağlanır. Bir cihaz diğer cihaza gelen verideki MAC adresine göre işlem yaparlar bu adreslerin cihazlara özgü olması nedeniyle farklı cihazlarla veri paylaşımı yapılamaz [17].

2.3.4.Zigbee Protokollerinin IEEE 802.15.4 ile İlişkisi



Şekil 2.7 Zigbee ile IEEE 802.15.4 arasındaki bağlantı diyagramı [17]

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi IEEE 802.15.4 standardının fiziksel ve MAC katmanları Zigbee teknolojisinin iki katmanını oluşturmaktadır. Diğer Zigbee katmanları ise ağ ve uygulama katmanlarıdır. Mac ve fiziksel katman hakkında önceki konularda bahsedilmiştir. Ağ ve Uygulama katmanları da şu şekilde özetlenebilir:

Ağ Katmanı: Karışık ağ yapılarında haberleşmenin düzenlenmesini sağlamaktadır [17].

Uygulama Katmanı: Uygulamaların ağ üzerinden çalışmasını sağlayan ve ayrıca mesaj formatlarını, güvenlik uygulamalarını belirler [17].

2.3.5.Zigbee’de Düşük Güç Tüketimi

Zigbee teknolojisinde düşük güç tüketimini sağlayan birçok etken vardır. Başlıcaları:

- Büyük boyutlarda veri aktarımının olmayışı
- Bu teknolojiye diğer teknolojilere oranla daha küçük aygıtların kullanılması
- Veri alışverişi yapmadığı zamanlarda yönlendirici ve koordinatör dışındaki aygıtların uyku modu (sleep mode) durumunda kalmaları [17]

- BPSK ve O-QPSK modülasyon çeşitlerinin çok fazla güç tüketmemeleri [17]
- Kısa zamanlı görev çevrimi (Low duty cycle): yayın alma ve yayın verme sürelerinin çok kısa ve bu iki süreç arasındaki zaman aralığının uzun tutulmasıyla cihazın aktif çalışma zamanı kısalmır, böylelikle daha az güç tüketilir [17].

2.3.6.Zigbee Araç Tipleri, Ağ Bileşenleri ve Görevleri

Zigbee araçları temelde iki çeşidi baz alır.

İndirgenmiş Fonksiyonlu Cihazlar (Reduced Function Devices) (RFD): Hafıza, işlem ve güç kapasitesi bakımından sınırlandırılmış düğümlerdir. Ağda sadece Son Aygıt (End Device) olarak görev yapabilirler. Yönlendirici (router) veya koordinatör olamazlar [17].

Tam Fonksiyonlu Cihazlar (Full Function Devices) (FFD): Bu aygıtlar daha karmaşık işlemleri yapabilirler. Ağ topolojisinde yönlendirici, koordinatör veya son aygıt olarak görev alabilirler [17].

Yukarıdaki özellikleri içeren ağdaki Zigbee elemanları:

a-) Zigbee Varsayılan Ağ geçidi (Zigbee Gateway): Farklı ağlar arasında bağlantı kurulmasını, geçiş yapılmasını sağlar. Bu geçiş Zigbee ağları veya bir Zigbee ağı ile normal internet ağı arasında olabilir. Bu da Zigbee protokolü sayesinde kontrol ve izleme amaçlı edinilen bilgilerin internet aracılığıyla uzak yerlerden de gözlemlenebileceğini göstermektedir [17].

b-) Zigbee Son Aygıt (Zigbee End Device): Ağ içerisindeki en zayıf elamandır. Görevi elde ettiği mesajı bir sonraki düğüme iletmektir. Diğer aygıtlara göre daha az enerji tüketirler [17].

c-) Zigbee Koordinatörü: PAN (Personal Area Network) koordinatörü olarak da bilinir. Her Zigbee ağında sadece bir tane vardır. Görevi ağı başlatmak, aygıtlara PAN ID denilen ağ adını atamak, ağ operasyonunu yürütmektir [17].

d-) Zigbee Yönlendiricisi: Düğümler arasında yönlendirme yapmakla görevlidir. Yapılan bu yönlendirmelerle kullanılan ağın kapsamını arttırır. Ayrıca adresleme yapılıp yapılmaması işlevini yönetmektedir [17].

e-) Zigbee Güvenlik Merkezi (Zigbee Trust Center) (ZTC) : Zigbee güvenlik yapısını oluşturur ve yönetir. Aygıt, güvenlik ve ağ yönetimini sağlar [17].

2.4.Mikrodenetleyiciler

Bu kısımda kontrol kartı devresi için kullanılan Arduino ve diğer elektronik ürünler hakkında bilgiler verilecektir.

2.4.1.Mikrodenetleyiciler Hakkında

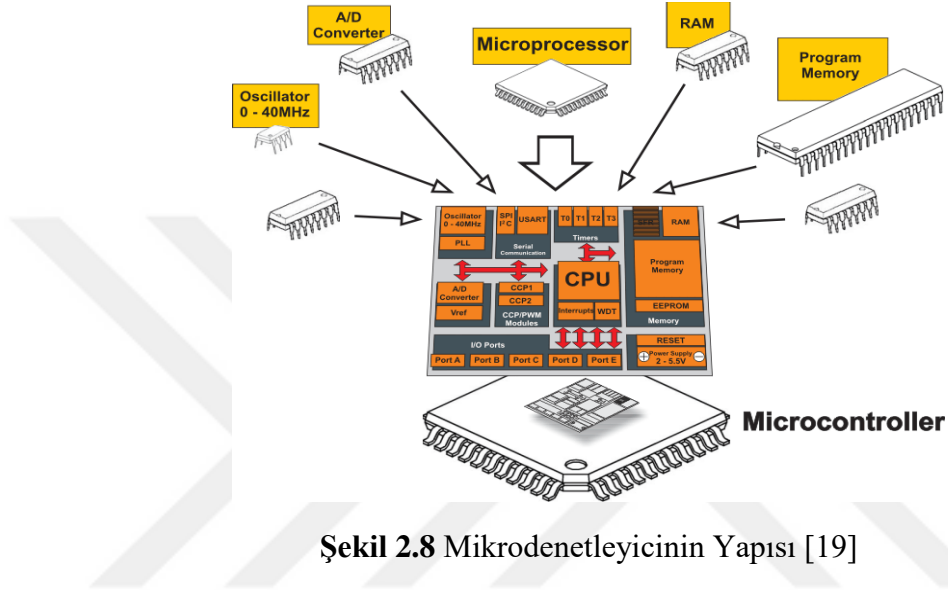
Bir mikrodenetleyici, bir mikroişlemcinin, hafıza ve giriş çıkışlar, kristal osilatör, zamanlayıcılar (timers), seri ve analog giriş çıkışlar, programlanabilir hafıza gibi bileşenlerle tek bir tümleşik devre üzerinde üretilmiş halidir. [18].

Oldukça kısıtlı hafızaya sahiptirler. Giriş – çıkış uçlarıyla başka elektronik devrelerle de iletişim kurabilirler. Yazılımla yüklenen komutları yerine getirebilirler. Üzerlerinde bulunan analog-dijital çeviriciler sayesinde sensörlerden verilerin toplanmasını ve işlenmesini sağlayabilirler. Küçük ve maliyetlerinin düşük oluşu nedeniyle gömülü sistemler projelerinde sıkça talep görmektedir [18].

Mikrodenetleyiciler çoğunlukla endüstri alanında kontrol ve otomasyon işlemlerini yapmak için tasarlanmışlardır (PIC, AVR, MSP430, ARM, 8051). Mikroişlemcilere kıyasla daha çok sayısal kısım bulundurmalarına rağmen mikroişlemcilere kıyasla yavaş çalışmaktadırlar. Üretilen mikroişlemci ve mikrodenetleyicilerin çok büyük bir kısmı (% 98) gömülü sistemlerde kullanılırken geriye kalan çok az kısmı (% 2) ise bilgisayarlarda kullanılmaktadır [19].

Mikrodenetleyiciler mikroişlemcilere göre daha kompleks yapıya sahiptirler. Mikroişlemcilere ilaveten RAM, osilatör, program hafızası, ADC (Analog Digital Converter) gibi tüm birimleri barındırmaktadırlar. Bu yüzden mikrodenetleyici tüm bu birimlerin birleştirilmiş hali olarak piyasaya sürülmektedir. Şekil 2.8’de bir mikrodenetleyicinin yapısı görülmektedir [19].

Birçok mikrodnetleyici firması farklı tasarımlarda üretim yapmaktadırlar. Ülkemizde ençok bulunanları, 8051 mikrodnetleyiciler, Microchip firmasının PIC ailesi, Atmel firmasının AVR ailesi, Texas Instruments firmasının MSP430 ailesi, ARM tabanlı TI, ST ve ATMEL mikrodnetleyicileridirler [19].



2.4.2.Mikrodnetleyici Özellikleri

- Programlanabilir paralel giriş/çıkış
- Programlanabilir analog giriş/çıkış
- Seri giriş/çıkış
- PWM- pulse width modulation
- Interrupt (Harici ve timer ile)
- RAM, ROM gibi bellek üniteleri
- Harici bellek arabirimi
- Timer

Elektronik saatlerden otomatik çamaşır makinelerine, robotlardan fotoğraf makinelerine, lcd monitörlerden biyomedikal cihazlara ve endüstriyel otomasyondan elektronik bilet uygulamalarına kadar pek çok elektronik uygulamada mikrodnetleyiciler kullanım alanı bulmuşlardır [19].

2.4.3.Mikrodenetleyici İçin Programlama Dilleri

Eğer mikrodenetleyici çalıştırmak istiyorsanız becerebilmeniz gereken en önemli şey mikrodenetleyici programlamayı bilmektir. Mikrodenetleyicilerin programlama dilleri yardımı ile komut dizileri yazılır sonrasında derleyici arayüz programı yardımıyla denetleyiciye gönderilir [18].

2.4.3.1.Makine Dili

Mikrodenetleyicinin işlemci biriminin anlaya bildiği tek dildir. Mikrodenetleyici için geliştirilen bir program hangi dilde yazılırsa yazılsın bir derleyici program yardımı ile makine diline çevrilir. Makine dili sadece hexadecimal sayılardan oluşmaktadır. Bundan dolayı dosya ismi .hex dir [18].

2.4.3.2.Assembly Dili

Assembly dili, makine diline en yakın programlama dilidir. Günümüzde başta C dili ve sonrasında Basic dili yaygın olarak kullanılır. Bu dillerin yetersiz kaldığı yerlerde ise Assembly dili ile yaygın olarak kullanılır [18].

2.4.3.3.C Programlama Dili

C dili, dünyada kullanılan en yaygın programlama dili olduğu gibi mikrodenetleyici programlanmasında da bu dil oldukça sık kullanılır. B dilinden türetildiği için adı C dili olmuştur. Ayrıca C dili dolaylı yoldan pek çok programlama dilini etkilemiştir. C dilini kullanarak mikrodenetleyici programlamak için Keil, Pic C gibi arayüz programları kullanılır [18].

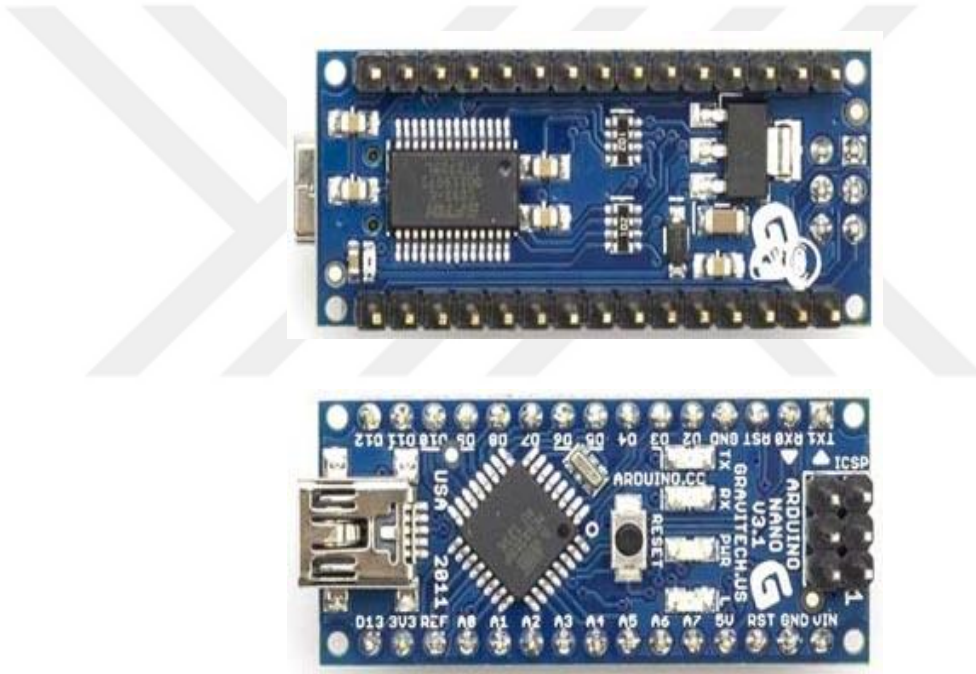
2.4.3.4.Basic Programlama Dili

Mikrodenetleyici programlamak için kullanılan diğer bir proram ise C dilinden sonra en çok kullanılan ve daha kolay olan Basic dilidir [18].

2.4.4.Arduino Mikrodenetleyici

Arduino; bir giriş çıkış kartı ve Processing/Wiring dilinin bir uygulamasını içeren geliştirme ortamıdır. İtalyan elektronik mühendisleri tarafından açık kaynak kodlu

geliştirilen ve isteyen herkesin baskı devreleri indirerek kendi devrelerini basabilecekleri bir ortamdır. Arduino tek başına çalışan interaktif nesneler geliştirmek için kullanılabileceği gibi bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlara da bağlanabilir. Hazır üretilmiş kartlar satın alınabilir veya kendileri üretmek isteyenler için donanım tasarımı ile ilgili bilgiler mevcuttur. Arduino geliştirme kartı üzerindeki mikroişlemci (AtmegaXX) Arduino programlama dili (wiring tabanlı) ile programlanır ve bu program Processing tabanlı Arduino Yazılım Geliştirme Ortamı (IDE) yardımı ile karta yüklenir. Arduino Nano Şekil 2.9’da gösterilmiştir [18].



Şekil 2.9 Arduino Nano'nun arka ve ön yüzü [20]

2.4.4.1.Arduino Mikrodenetleyicinin Yapısı

ATmega 328 tabanlı bir mikroişlemci geliştirme kartıdır. Şekil 2.10’da kartın yapısı gösterilmiştir. Kart, 14 adet dijital giriş/çıkış bağlantısına (bunların 6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir), 6analog girişe, 16 Mhz kristal osilatöre, USB bağlantısına, güç bağlantısına, ICSP bağlantısına ve reset tuşuna sahiptir [20].

Bilgisayar ile USB portu üzerinden bağlamak kartın çalışması için yeterlidir. Pil ya da adaptör kullanılabilir. Arduino Nano’nun gücü, USB bağlantısı tarafından, pil ya da güç kaynağı tarafından beslenebilir. Güç beslemesi, besleme soketinden

yapılabileceği gibi Gnd ve V_{in} soketleri ile de sağlanılabilir. Arduino'nun Güç Pinleri V_{IN} , güç bağlantı soketi yerine kullanılabilecek olan giriş bağlantısı Arduino Nano'yu beslemenizi sağlar. 5V, Arduino Nano devresi üzerinde regüle edilmiş 5 Volt çıkışı olan bağlantıdır [20].

Arduino Nano 'da bulunan 14 tane dijital giriş / çıkış pininin tamamı, pinMode(), digitalWrite() ve digitalRead() fonksiyonları ile giriş ya da çıkış olarak kullanılabilir. Bu pinler 5V ile çalışır. Her pin maksimum 40 mA çekebilir ya da sağlayabilir ve 20-50 KOhm dahili pull - up dirençleri vardır. Ayrıca bazı pinlerin özel fonksiyonları vardır [20].

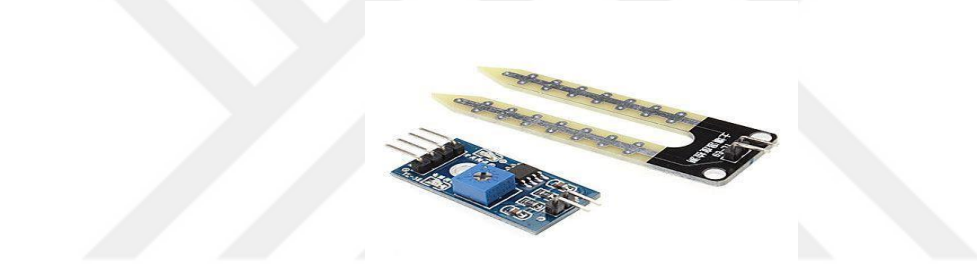
- **Serial 0 (RX) ve 1 (TX):** Bu pinler TTL seri data almak (receive - RX) ve yaymak (transmit-TX) içindir.
- **Harici kesmeler (2 ve 3):** Bu pinler bir kesmeyi tetiklemek için kullanılabilir.
- **PWM:** 3, 5, 6, 9, 10, ve 11: Bu pinler analogWrite () fonksiyonu ile 8-bit PWM sinyali sağlar.
- **SPI:** 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) : Bu pinler SPI kütüphanesi ile SPI haberleşmeyi sağlar.
- **LED 13:** Dijital pin 13 e bağlı bir leddir. Pinin değeri High olduğunda yanar, Low olduğunda söner [20].

Arduino Nano 'nun 8 adet analog girişi bulnur, her biri 10 bitlik çözünürlük destekler. Varsayılan ayarlarda topraktan 5V'a kadar ölçerler. Ancak, AREF pini ve analogReference() fonksiyonu kullanılarak üst limit ayarlanabilir. Analog pinlerinden 6 ve 7 dijital pin olarak kullanılabilirler. Ayrıca bazı pinlerin özel fonksiyonları vardır [20].

2.5.1.Toprak Nem Sensörü

Toprak nem sensörü toprakta nem miktarını algılayan elektronik elemandır. Toprağın nemi ölçülürken ölçümü yapılan yerin fiziksel ve kimyasal yapısı da önemli bir faktördür [18].

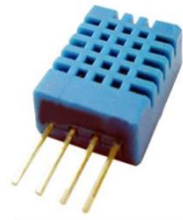
Toprak nem sensörü, şekil 2.11’de görüldüğü gibi 2 proba sahiptir. Bu proplar nem ölçümü yapılacak yerde toprağa batırılırlar. Toprağın veya toprakta bulunan sıvının oluşturacağı dirençten dolayı batırılan uçlar arasında bir gerilim meydana gelir. Oluşan bu gerilimin büyüklüğüne veya küçüklüğüne göre nem değeri hesaplanabilir. Toprağın nemi arttıkça iletkenliği de artacaktır. Toprak nem sensörü üzerinde bulunan potansiyometre ile de hassasiyeti ayarlanabilmektedir [18].



Şekil 2.11 Toprak Nem Sensörü [21]

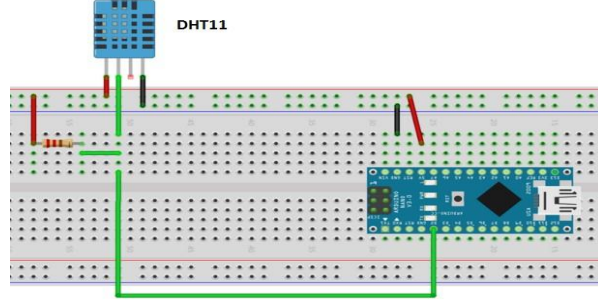
2.5.2.Ortam Sıcaklığı ve Nem Sensörü (DHT11)

DHT11 bulunduğu ortamın sıcaklığını ve nemini ölçen bir sensördür. İçerisinde direnç tipi nem ölçme bileşeni ve sıcaklığı ölçmek içinse NTC birimini bulundur. Elde ettiği verileri tek bir hat üzerinden sayısal olarak mikrodenetleyicilere aktarmaktadır [22].



Şekil 2.12 DHT11 Görünüş [22]

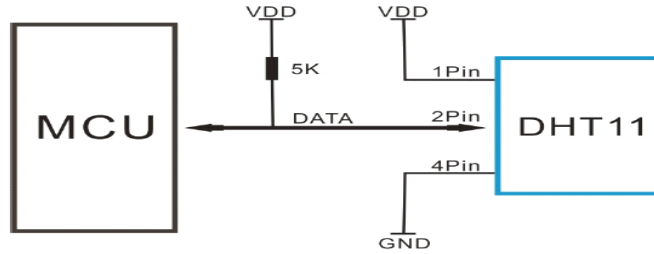
Bu sensor 0 derece ile 50 derece aralığında sıcaklık ölçümü yaparlar. Hassasiyet ± 2 °C dir. Nem ölçüm aralığı ise %20 ile % 90 RH arasındadır. Buradaki hassasiyet ise ± 5 RH dır [22].



Şekil 2.13 DHT11 Arduino Nano Bağlantısı [23]

DHT11 tek hatla çift taraflı haberleşme yapabilmektedir. Çıkışında dijital bilgi ürettiğinden arduinoda dijital giriş-çıkış uçlarına bağlanmaktadır [22].

DHT11 mikrodenetleyiciye 5 byte'lık data iletir. Bu 5 byte'lık datanın birinci ve ikincisi nem değerini, üçüncü ve dördüncüsü sıcaklık değerini sonuncusu ise ilk dört verinin toplamına eşittir [22].



Şekil 2.14 DHT11 Tipik Uygulama devresi [22]

DHT11 3-5.5V DC kaynağa bağlandığında kararsız çalışabilir. Bunu gidermek için enerji giriş uçlarına 100nF değerinde bir kondansatör bağlarak besleme kaynağındaki gürültüler yok edilmeye çalışılır [22].

2.6.Selonoid Valf

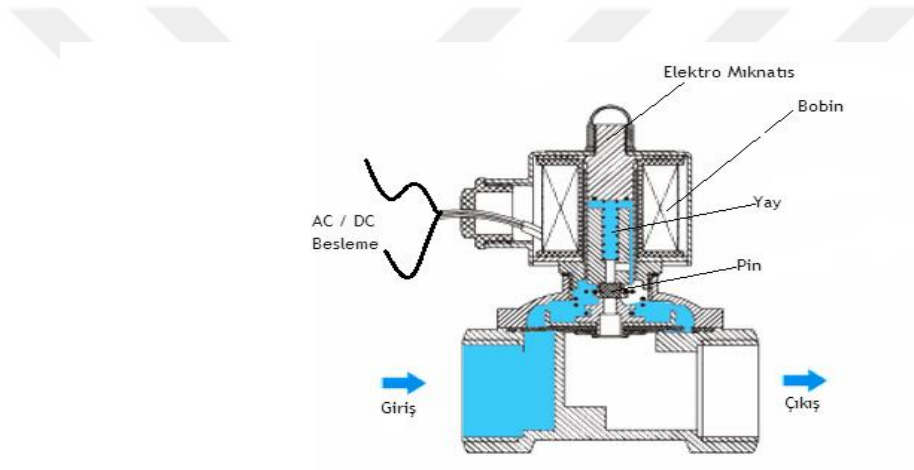
Selenoid valfler su, hava, gaz, buhar gibi akışkanların kontrolünde kullanılan elektromekanik bir elemandır. Şekil 2.15'de görüldüğü gibi içerisinde bobin

bulundurduğundan bobin uçlarına enerji verildiğinde manyetik alan oluşturarak kapakların konum değiştirilmesi sağlanır [24].

Solenoid valfler hidrolik ve pnömatik gibi sistemlerin otomasyonunu sağlayan elektromekanik elemanlardır [24].

Mesela bir su akışının belirli koşullara göre kontrol edilmesi gerektiği durumlarda manuel vanaların elle açılıp kapatılması gibi bir durum söz konusu değildir. Koşullara göre kendini açıp kapatabilen bir yapıya sahiptirler [24].

Şekil 2.15’de bir solenoid valfin yapısı gösterilmiştir.



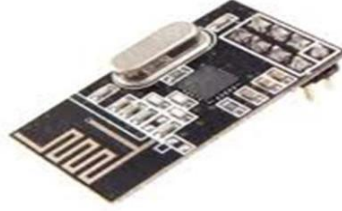
Şekil 2.15 Solenoid Valfin Yapısı [24]

2.7.RF Modülü

Kablosuz haberleşme yöntemlerinden biri de RF (radyo frekans) yöntemidir. Belirli bir frekans bandında haberleşme imkânı sunmaktadır. Piyasada oldukça çeşitli miktarlarda bulunabilmektedirler.

Günlük hayatta radyo haberleşmesiyle kablolu haberleşmenin önüne geçilmeye başlanmıştır. Daha önceden maliyetleri nedeniyle belli başlı yerlerde kullanılan kablosuz haberleşme artık her yerde sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca sayısal sistemlerle birlikte çalışabilmesi çalışma alanını fazlasıyla genişletmiştir. Kablosuz sistemlerin geniş bir alanda kullanım ivmesi kazanmasıyla internet alanında da yer edinmeye başlamıştır [25].

Çalışmada kullanılan modül Nordic SemiConductor firması tarafında geliştirilmiştir. Ayrıca 2.4 GHz frekansında çalışmaktadır. Bahsedilen nRF24L01 kablosuz alıcı-verici modülü şekil 2.16’da görülmektedir [26].



Şekil 2.16 nRF24L01 alıcı-verici modülü [26]

Oldukça fazla kullanım alanına sahip olan modül başlıca, kablosuz mouse ve klavyeler, otomasyon sistemleri, VoIP kulaklıklar ve uzaktan gözlem sistemleri gibi yerlerde kullanılmaktadır. Modül kapalı alanlar için uygun olmasına rağmen birkaç duvar engelinden sonra işaretin ciddi oranda zayıfladığı katalogta yer almaktadır. nRF24L01 modülü yazılımla hem alıcı hem de verici olarak kullanılabilir. Bu da modülü oldukça kullanışla hale getirmektedir. Saniyede 2 Mbit gibi yüksek bir data transferine sahiptir. Taşıyıcı frekansı da kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Modül, 125 farklı kanaldan yayın yapabilmekte, SPI protokolünü kullanarak haberleşebilmekte ve GFSK modülasyonunu kullanmaktadır. Modül üzerindeki işlemci ile radyo arasında data akışı içerisinde bulunan FIFO’lar tarafından sağlanır. Frekans kanalları, çıkış gücü ve havadaki data hızı kullanıcı tarafından ayarlanabilmektedir. Kullanıcı çıkış gücü değeri olarak 0, -6, -12, -18 dBm ‘den herhangi birini kullanabilir. Burada 0 dBm kullanılmıştır. Yüksek hızda data gönderebilmesi ve iki farklı güç koruma seçeneği modülü, oldukça düşük güçlü uygulamalar için kullanılabilir duruma getirmektedir. Alıcı-verici modül, 0 dBm çıkış gücünde verici olarak düzenlenirse 11,3 mA; alıcı olarak düzenlenirse de 12,3 mA akım çekmektedir[26].

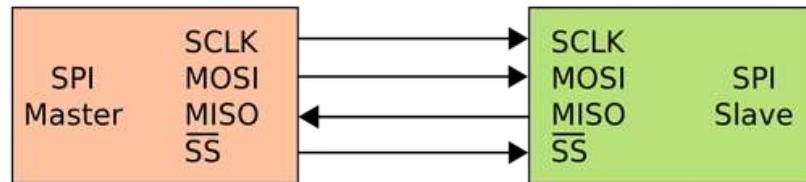
2.7.1.SPI Protokolü

Haberleşme protokollerindeki hedef, verinin noktadan başka bir noktaya gönderilmesini sağlamaktır.

Spi ingilizce Serial Peripheral Interface olarak ifade edilirken türkçe karşılığı Seri Çevresel Arayüz'dür. Seri haberleşme protokolü anlamına gelen spi, Motorola firmasının kendi mikrodenetleyicisi için yapmış olduğu protokol olmasına ragmen daha sonradan bir standart haline gelmiştir ve başka firmalarca da kullanılmaktadır [27].

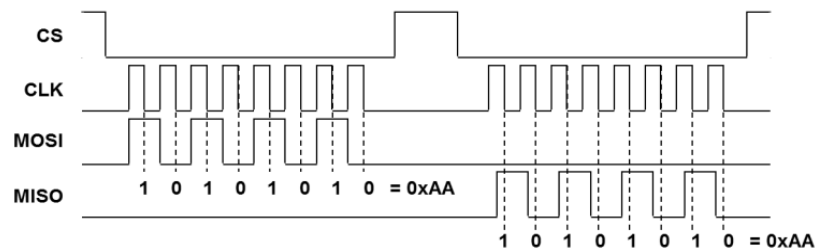
Spi haberleşme protokolünde cihazlar arasında Master-Slave ilişkisi vardır. Master cihaz Slave cihazları yönetmek ve onlara işlemler yaptırmak ile yükümlüdür. Slave cihaz ise Master cihazdan gelen bilgilere göre işlem yapmak ile yükümlüdür. Bir master cihaza birden çok slave cihaz bağlanabilir. Ama aynı anda Slave cihazlardan sadece bir tanesi aktif olarak Master cihaz ile bilgi alışverişi gerçekleştirir [27].

Aynı anda veri alıp gönderebilen (senkron haberleşme) sistemlere full duplex sistemler denir. Spi protokolü de full duplex bir haberleşme protokolüdür. Yani Master mikro denetleyici spi haberleşmesini başlattığı anda hem bilgi gönderir, hem de bilgi alır. Aynı durum Slave mikro denetleyici için de geçerlidir [27].



Şekil 2.17 Tek Slave Spi Haberleşmesi [28]

Şekil 2.17'de tek Slave Spi iletişiminin kullanımı sunulmuştur. Bu tasarımın davranışını belirleyen uçlara ait lojik dalga şekli ise şekil 2.18'de aşağıda verilmiştir [27].



Şekil 2.18 Spi Haberleşmesinin Lojik Yapısı [27]

SS/CS: Slave Slect/Chip Slect

Spi protokolünde Master aygıttan Slave aygıta veri gönderebilmek için Slave aygıtın yetkili olması gerekir. Slave aygıtı yetkilendirmek için SS pini mantık sıfır düzeyine getirilmelidir. Master mikrodnetleyici üzerindeki Slave Slect pinlerinin sayısı Slave aygıtların sayısına denktir. Birden çok Slave aygıtı bulunuyorsa, gönderilecek bilgi Slave aygıta bağı SS pini tarafından seçilir ve iletişim kurulur. Böylece, iletilen bilgiler sadece iletilecek olan aygıta aktarılır [27].

SCLK: Serial Clock

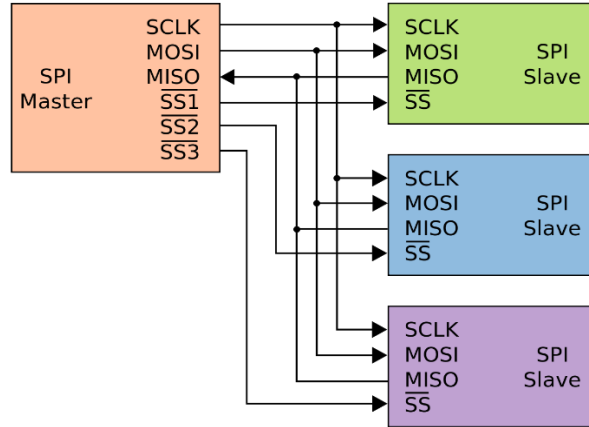
Clock plasi (saat darbesi) bilgilerinin lojik olarak aktarılmasında rol oynar. Slave aygıtı yetkilendirildikten sonra, iletişimin başlaması için clock darbesi gereklidir. Saat darbesi master mikrodnetleyiciyle üretilir ve SCLK'dan slave mikrodnetleyicisine iletilir [27].

MOSI: Master Output Slave Input

Masterdan Slave olan mikrodnetleyiciye MOSI pininden veriler ilertilir. Bu verilerin iletilmesi için Master olan cihaz SS pin değerini lojik sıfıra almalıdır. Ayrıca SCLK'dan clock palsi (saat darbesi) üretmelidir [27].

MISO: Master Input Slave Output

Slaveden master cihaza veriler MISO pini aracılığıyla iletilir. Bu verilerin iletilmesi için Master cihaz SS pin değerini lojik sıfıra almalıdır. Ayrıca SCLK'dan clock palsi (saat darbesi) üretmelidir [27].



Şekil 2.19 Çoklu Slave Spi Haberleşme [27]

Şekil 2.19’da ise çoklu yapı gösterilmiştir. Önceden belirtildiği gibi hangi cihazla iletişim kuracağı master cihaz kanalıyla belirlenir [27].

2.8.Röle

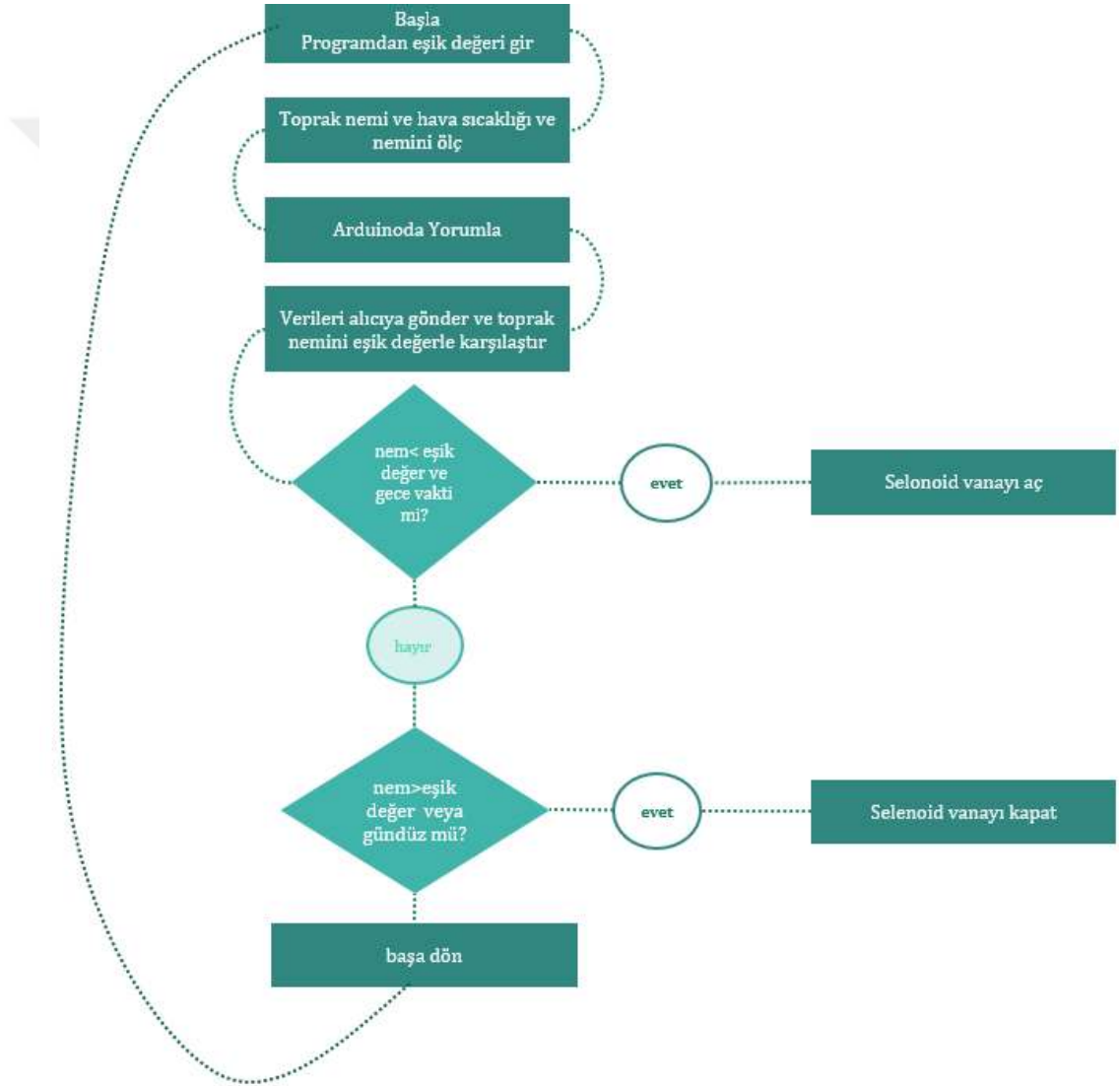
Röle, elektrik-elektronik alanında oldukça sık kullanılan bir elemandır. Röle elektromekanik anahtarlama görevi yapar. Rölelere genelde küçük akım ile daha büyük akımların kontrolünde ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru akımla çalışan bobin ve buna bağlı mekanik kontaklardan meydana gelmektedir. Bu bobbin ve kontaklar birbirlerinden fiziksel olarak ayrılmıştır. Bu nedenle bobin ve kontağın besleme devreleri farklıdır. Şekil 2.20’de rölenin dış görünüşü görülmektedir [28].



Şekil 2.20 Rölenin Dış Görünüşü [28]

3. SULAMA SİSTEMİNİN TASARIMI

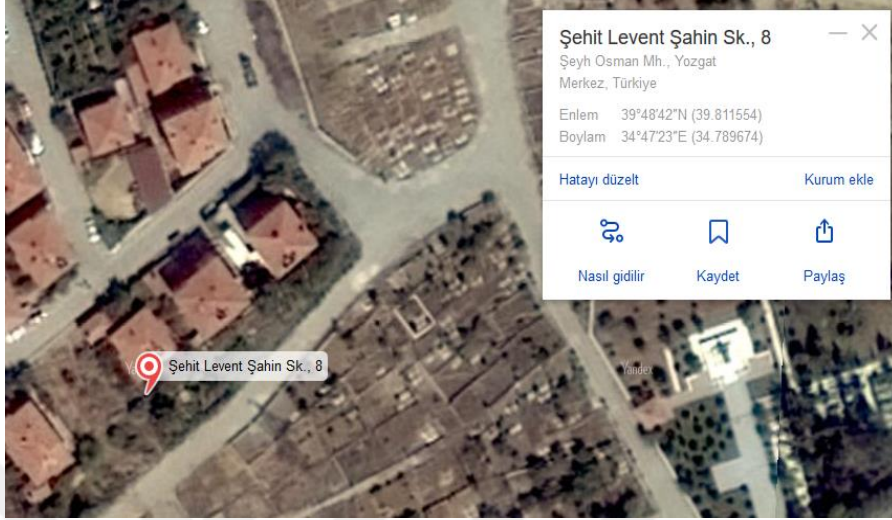
Sistem Şekil 3.1'deki iş akış diyagramına göre tasarlanmıştır. Sistem başlatılır ve gerekli eşik değerleri kablosuz sulama sisteminden vericilere aktarılır. Vericiler de bu ayarlara göre toprağın nemini ölçerek alıcıya iletir. Sulamanın güneş battıktan sonra daha uygun olması nedeniyle ölçülen nem yetersiz olsa bile gündüz sulama yapmayacaktır.



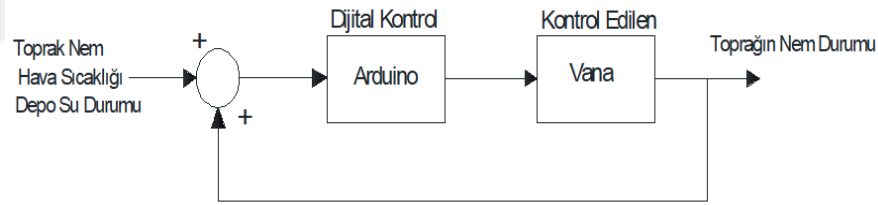
Şekil 3.1 Tasarımın Akış Diyagramı

Bu tez çalışması şekil 3.2'de görüldüğü üzere, 39°48'42"N (39.811554) enlem, 34°47'23"E (34.789674) boylam koordinatlarının bulunduğu bölge olan Yozgat ili

Merkez ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Burada üç adet meyve ağacının sulanmasının kontrolü yapılmıştır. Bu meyveler kiraz, kayısı ve ayva ağaçlarıdır.



Şekil 3.2 Çalışmanın Yapıldığı Konum

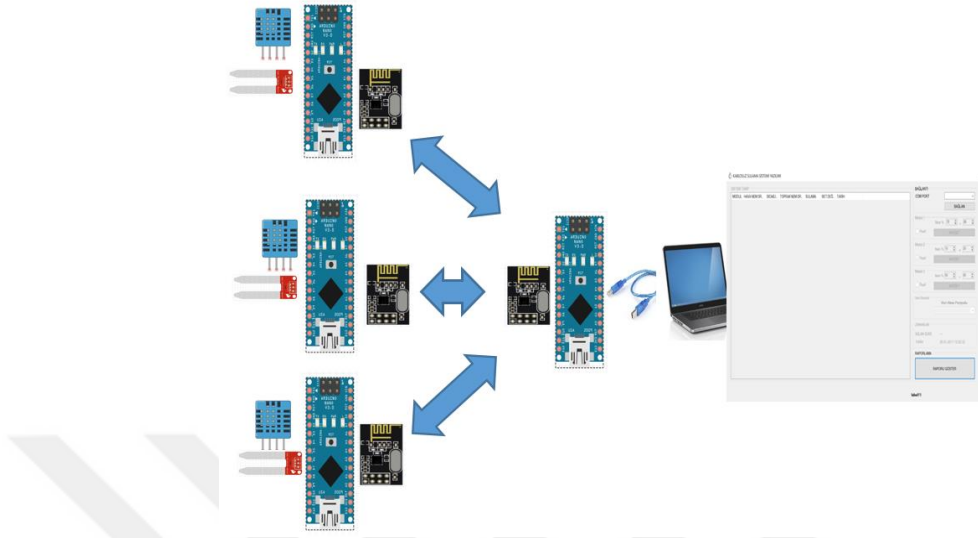


Şekil 3.3 Kontrol Sistemi

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi kapalı çevrim bir kontrol sistemi tasarlanmıştır. Toprağın nemi ve buna etki eden faktörlerden hava sıcaklığı ve nemi Arduino mikrodenetleyici tarafından değerlendirilerek selenoid vana kontrolüyle(açılıp kapatılarak) toprağın nem durumunun istenilen seviyede kalması sağlanmaktadır. Ayrıca düğümlerden biri depodaki suyun durumu hakkında bilgi almak amacıyla da kullanılabilir.

Tasarlanan bu kablosuz data elde etme sistemi, donanımsal ve yazılımsal olarak iki bölümden meydana gelmektedir.

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi geliştirilen donanım bölümü verici, alıcı ve işlem merkezi olmak üzere üç kısımda oluşmaktadır.



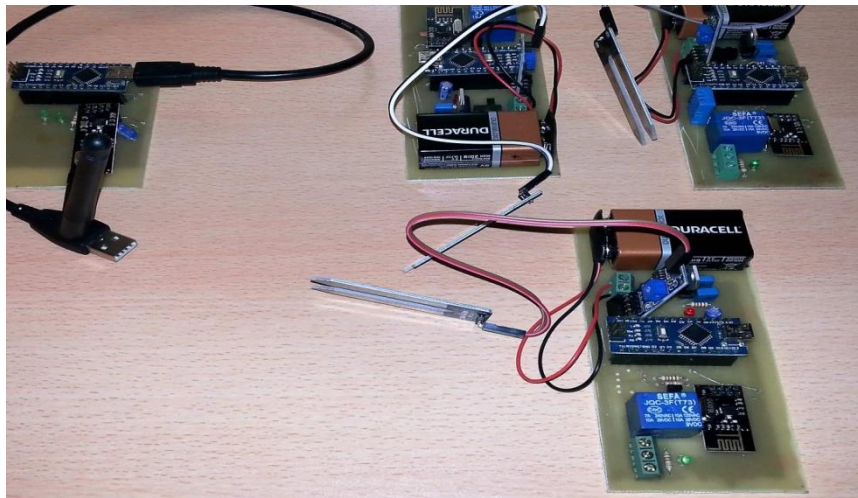
Şekil 3.4 Sistem Donanımı

Yazılım kısmı ise:

- Mikrodenetleyici kodunun yazılması ve yüklenmesi
- Raporların alındığı arayüz tasarımı olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir.

3.1.Donanım

Donanım kısmı bir alıcı ve üç vericiden oluşmaktadır. Şekil 3.5'te hepsi bir arada gösterilmiştir.



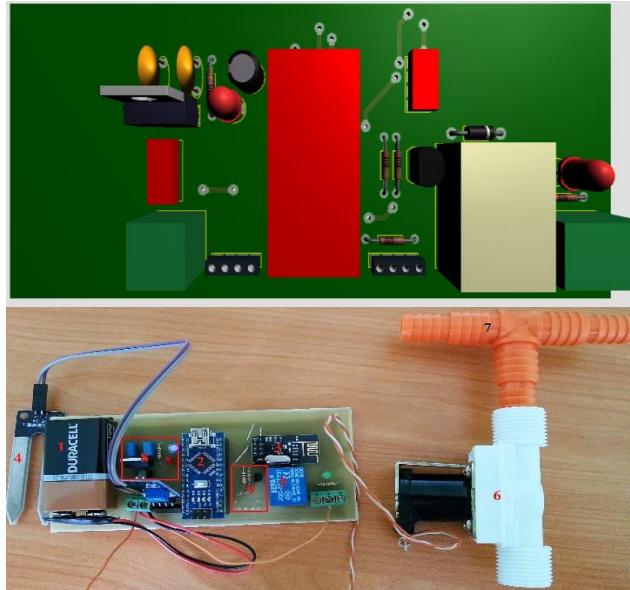
Şekil 3.5 Sistem Donanımı

3.1.1.Verici Biriminin Çalışma Prensibi

Bu kısımda üç adet verici tasarlanmış ve bu vericilerin bulunduğu üç farklı noktadan toprak nemi ve noktanın birinden de ayrıca ortam sıcaklığı ve ortam nem değeri alınarak vericide bulunan arduino tarafından değerlendirilip gerektiği durumda selenoid valfi harekete geçirerek sulama yapacak ya da sulamayı kapatacak ve bu bilgileri alıp alıcı kısma göndererek oradan da bilgisayardaki programa verileri aktaracaktır.

3.1.2.Verici Biriminin Donanımı

Üç adet verici noktası ve bu üç noktada da birer tane toprak nem sensörü bulunmaktadır. Verici noktalarının birinde ilaveten bir adet ortam sıcaklığı ve nem sensörü (dht11) vardır. Sensörlerle alınan veriler arduino nano mikrodenetleyicisinde işlenerek verinin ana merkeze gönderilmesini sağlamak ve ölçülen değerin durumuna göre vericide bulunan röleyi açıp kapatarak sulama işlemini aktif/pasif edebilmektedir. Aktif/pasif olduğu durumunu da bilgisayar arayüzünde görebilmekteyiz.



Şekil 3.6 Vericinin Baskı Devresi ve Yapılmış Hali

Tablo 3.1 Verici Donanım Elemanları

1	Güç Ünitesi (Pil)
2	Arduino Nano
3	Verici Modül
4	Toprak Nem Sensörü
5	Röle
6	Selonoid Valf
7	T Eki
8	Regüle Ünitesi
9	Röle Sürücü Devresi

1. Güç Ünitesi: Devrenin ihtiyaç duyduğu gerilimi sağlar. Burada 9V'luk bir güç kaynağı kullanılmıştır.
2. Arduino Nano: Toprak nem sensöründen aldığı bilgileri işler değerlendirir ve çıkış uçlarına iletmekle görevlidir.
3. Verici Modül: Devrede yapılan işlemleri (röle durumu, nem durumu vs.) alıcıya iletir.
4. Toprak Nem Sensörü: Toprağın nem değerini analog olarak okur ve arduino nanoya iletir.
5. Röle: Anahtarlama elemanı olarak görev yapar. Burada topraktaki nem değeri yetersiz olduğunda röle aktif olur ve valfi enerjilendirir ve sulamayı yapar. Aksi durumda röle pasif durumda kalır ve valf çalışmaz sulama işlemi kesilir.
6. Selonoid Valf: Valf burada su akışını kontrol eden elemandır. Aktif olduğunda su akışı gerçekleşmekte pasif olduğunda ise su akışı durmaktadır.
7. T Eki: Valfe su girişini sağlamak ve ayrıca diğer hatlara da su akışını sağlamak için kullanılan ara elemandır.
8. Regüle Ünitesi: Regüle ünitesi 9V'luk kaynaktan gelen voltajı 5V seviyesine düşürerek devrenin ideal çalışması için gereken voltaj ayarlamasını yapar.
9. Röle Sürücü Devresi: Rölenin çalışmasını sağlayan yardımcı devredir.

3.1.2.1. Algılayıcı Ünitesi

Vericide bulunan algılayıcı ünitesi toprak nem sensörü ve ortam sıcaklığı nem sensörüdür. Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Toprak nem sensörüne ait kod ağıdaki gibidir. Arduino nanonun analog girişinden toprak nem oranı 0-1024 arasında bir değer olarak ölçülür ve kodda bulunan formülle % cinsinden ifade edilir.

```
void nemOku()

{

    suOran = analogRead(soilPin);

    delay(10);

    suOran = suOran*0.0975;

    suOran = (100-suOran);

    if(suOran<setMin)

    {

        roleDurum=1;

        digitalWrite(role,HIGH);

    }

    if(suOran>=setMin)

    {

        roleDurum=0;

        digitalWrite(role,LOW);

    }

}
```


3.1.2.2.Kontrol Ünitesi

Verici kısımda kullanılan kontrol ünitesi arduino nanodur. Sensörlerden alınan bilgiler burada değerlendirilerek sulama yapılıp yapılmayacağına karar verilir ve bu bilgiler alıcı vasıtasıyla bilgisayar arayüzüne aktarılır. Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

Yukarıdaki kodda ölçülen nem oranıyla eşik değer Arduino tarafından karşılaştırılmaktadır. Büyüklük küçüklük durumuna göre röleyi açıp kapatarak sulamanın yapılıp yapılmamasını sağlamaktadır. Toprağın nemi eşik değerden küçükse role aktif olup sulamayı yapmaktadır. Aksi durumda ise role pasif konumda kalarak sulamayı kapatmaktadır.

3.1.2.3.RF Modül Ünitesi

Verici kısımdan elde edilen bilgiler alıcıya kablosuz olarak iletilmektedir. Bu iletim vericiye entegre edilen RF modülü sayesinde yapılmaktadır. Kullanılan RF modül nRF24L01 kablosuz alıcı verici modüldür ve detaylı olarak bölüm 2 de anlatılmıştır. Herbir verici sensör düğümü alıcıyla yıldız topolojisi yapısında çift yönlü (full duplex) haberleşmektedir. Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Elde edilen veriler alıcıya aşağıdaki kodlarla iletilmektedir.

```
void veriGonder()

{

    Mirf.setTADDR((byte *)"RX");

    memset(gidenVeri,'0',10);

    gidenVeri[0]=(byte)'X';

    gidenVeri[1]=(byte)ID;

    gidenVeri[2]=(byte)nem;

    gidenVeri[3]=(byte)sicaklik;

    gidenVeri[4]=(byte)suOran;
```

```

gidenVeri[5]=(byte)roleDurum;

gidenVeri[6]=(byte)setMin;

gidenVeri[7]=(byte)setMax;

gidenVeri[9]=(byte)settime;

toplamlam = 0;

toplamlam=gidenVeri[1]+gidenVeri[2]+gidenVeri[3]+gidenVeri[4]+gidenVeri[5]+giden
Veri[6]+gidenVeri[7]+gidenVeri[9];

toplamlam = 256 - toplamlam;

gidenVeri[8]=(byte)toplamlam;

Mirf.send((byte * )gidenVeri);

while( Mirf.isSending() ) ;

}

```

3.1.2.4.Regüle Ünitesi

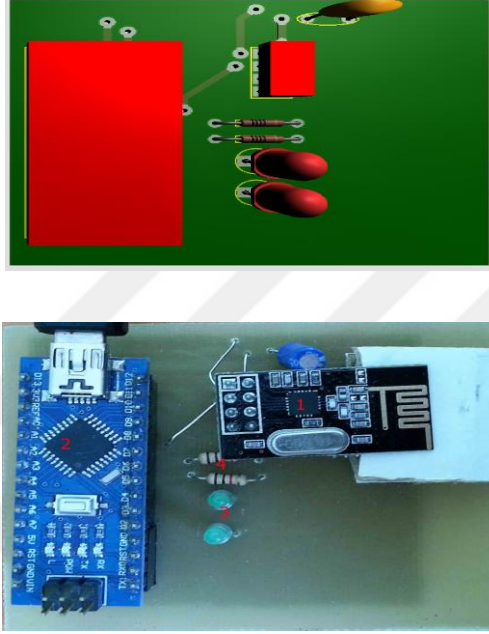
Verici ünitesinin çalışabilmesi için bir güç kaynağına ve bir regüle devresine ihtiyaç vardır. Güç kaynağı olarak 9V'luk pil kullanılmıştır. Verici devresi de 5V'la çalışmaktadır. 9V'luk kaynak bir regüle devresiyle 5V'a düşürülerek devrenin çalışması sağlanmıştır. Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

3.1.3.Alıcı Biriminin Çalışma Prensibi

Üç farklı verici noktasından kablosuz olarak gelen veriler tek bir alıcı noktasından alınarak bilgisayar ara yüzüne aktarılmaktadır. Alıcı kısım vericilerden bilgi aldığı gibi vericilere de bilgi gönderebilmektedir.

3.1.4. Alıcı Biriminin Donanımı

Alıcı kısım RF alıcı modülü ve bu alıcıdan alınan bilgilerin bilgisayara aktarılması için kullanılan arduino nanodan ve bilgisayar ile bağlantısını sağlayan usb kablodan oluşmaktadır ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Alıcının Baskı Devresi ve Yapılmış Hali

Tablo 3.2 Alıcı Donanım Elemanları

1	Alıcı modül
2	Arduino nano
3	Ledler
4	Dirençler

1. Alıcı Modül: NRF24L01 kablosuz modül Nordic firması tarafında geliştirilmiştir. 2.4GHz frekansında kablosuz haberleşmeyi gerçekleştiren ve düşük güç tüketimine sahiptir. Spi haberleşme protokolüyle çalışan vericiden gelen bilgileri digital bilgilere dönüştürerek arduinoya aktarır.
2. Arduino Nano: Alıcı modülün gönderdiği verileri işleyerek usb kablo vasıtasıyla bilgisayardaki programa aktarır.

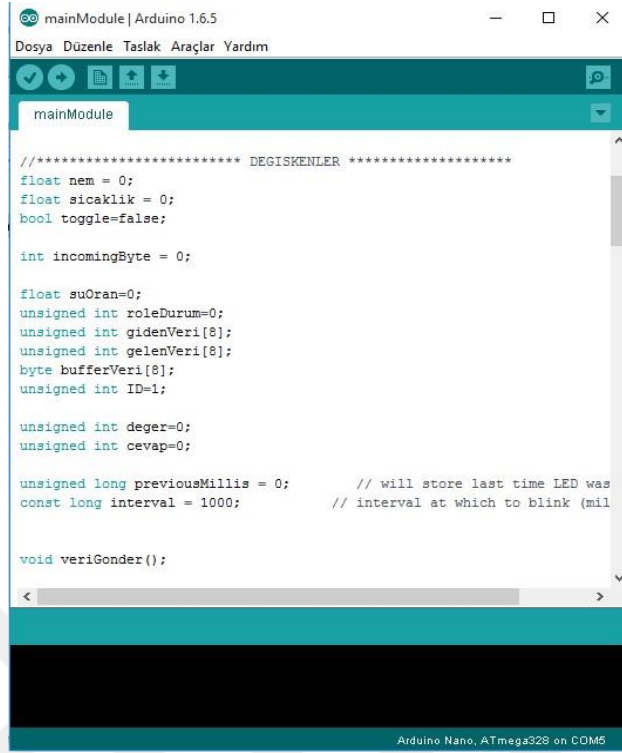
3. Ledler: Devrede giden gelen verileri göstermek amacıyla yanıp sönerek devrenin çalışıp çalışmadığı hakkında bilgi verir.
4. Dirençler: Ledler için akım sınırlaması yaparlar. Yüksek akıma karşı ledleri korurlar.

Alıcı modül vericilerden iletilen verileri aşağıdaki kod bloğuna göre almaktadır.

```
int veriAl()
{
    unsigned short modulX=0;
    unsigned short sirala=0;
    Mirf.setRADDR((byte *)"RX");
    if(!Mirf.isSending() && Mirf.dataReady())
    {
        Mirf.getData((byte*) &gelenVeri);
        if(gelenVeri[0]=='X')
        {
            toplam = 0;
            toplam = gelenVeri[1] + gelenVeri[2] + gelenVeri[3] + gelenVeri[4] +
gelenVeri[5] + gelenVeri[6] + gelenVeri[7]+ gelenVeri[9];
            toplam = 256 - toplam;
            if(gelenVeri[8]==toplam)
            {
```

3.2.Yazılım

Burada arduinonun programlanması için kullanılan arayüz ve yazılan programdan bahsedilecektir. Arduinonun programlama arayüzü şekil 3.8’de gösterilmiştir. Burada kullanılan yazılım C dili ile yazılmıştır.



Şekil 3.8 Arduino Arayüzü

3.2.1.Arduinonun Programlanması

Bir alıcı ve üç adet vericide bulunan arduinolara yazılım yüklenerek istediğimiz zamanlarda sulama işlemi yapacak veya yapmayacak ve bu bilgileri alıcıya gönderme işlemini yapmış olacaktır. Ayrıca vericilerin birinde bulunan dht11 sensörüyle ortamın sıcaklığı ve nemini alıcıya gönderme işlemini yapmış olacak.

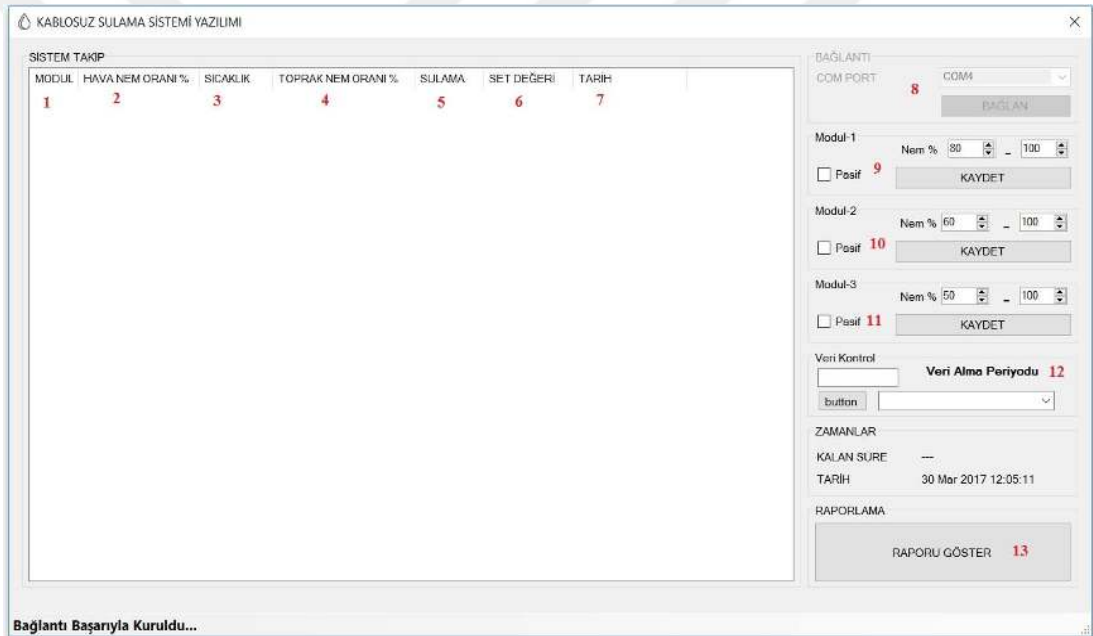
Nem değerleri yüzde olarak ölçülüp bilgisayara bu şekilde aktarılmaktadır. Örneğin toprak nem oranının %60 olarak ayarlandığı durumda ölçülen toprak nemi %60'ın altında ise röle aktif hale gelerek selonoid valfi açarak sulama işlemini başlatacaktır. Ölçülen toprak nem değeri %60'ın üzerindeyse röle pasif olacak ve sulama işlemi duracaktır. Bu toprak nem ayarı bitki türüne göre değiştirilebilir. Bu da devrenin herhangi bir bitki türü için oldukça kullanışlı olduğunu göstermektedir.

3.2.2.Bilgisayar Programı Arayüzü

Vericilerden alınan bilgilerin değerlendirilmesi yorumlanması ve grafik bilgilerinin çıkarılması için oluşturulan Microsoft Visual Studio programıyla yazılan bir arayüzdür. Bu arayüz sayesinde vericilerden gelen bilgiler ekranda

okunabilmektedir. Ayrıca bu ekrandan vericilerin nem algılama değerleri de ayarlanabilmektedir. Her bitkinin ya da her toprağın toprak nemi değişebilmektedir. Bu yüzden bilgisayar arayüzü vasıtasıyla çok kolay bir şekilde kullanılan yere ve bitki türüne göre nem algılama değerleri ayarlanabilmektedir.

Burada hem vericilerden alıcıya doğru hem de bilgisayardan vericilere doğru çift yönlü iletişim vardır. Bu sayede herhangi bir vericideki toprak nemi algılama seviyesini istediğimiz şekilde ayarlayabiliriz. Bu ayar, her bitki türünün su ihtiyacının farklı olmasından dolayı sisteme eklenmiştir. Şekil 3.9’da sistemin ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.9 Bilgisayar Programı Arayüzü

Arayüz hakkındaki bilgiler tablo 3.3’de detaylı bir şekilde numaralandırılmış ve devamında da tek tek açıklanmıştır.

Tablo 3.3 Bilgisayar Arayüzü Bileşenleri

1	Modul
2	Hava Nem Oranı %
3	Sıcaklık
4	Toprak Nem Oranı %
5	Sulama
6	Set Değeri
7	Tarih
8	Bağlantı
9	Modul-1
10	Modul-2
11	Modul-3
12	Veri Alma Periyodu
13	Raporu Göster

1. Modul: Hangi sensör düğümünden veri geldiğini ifade eder. Toplam üç adet düğüm olduğu için 1,2 ve 3 numaralarını görürüz.
2. Hava Nem Oranı: Hava nemini yüzde cinsinden ifade eder. Bu bilgi sadece 1 nolu düğümünden gelir.
3. Sıcaklık: Hava sıcaklığını derece cinsinden gösterir ve sadece 1 nolu düğümünden gelir.
4. Toprak Nem Oranı: Topraktaki nem oranını ifade eder ve değer yüzde cinsindendir. Tüm düğümlerden bu veri gelmektedir.
5. Sulama: Sulamanın aktif ya da pasif olduğunu yani rölenin açık ya da kapalı olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda valfin açık ya da kapalı olduğunu ifade eder.
6. Set Değeri: Düğümler için ayarlanmış nem düzeyleridir. Örneğin set değeri % 66-100 olduğunda toprak nem oranı bu değerin altındaysa valf açıktır ve

sulama yapar. Toprak nem oranı bu değerin üzerindeyse valf kapalıdır ve sulama yapılamaz.

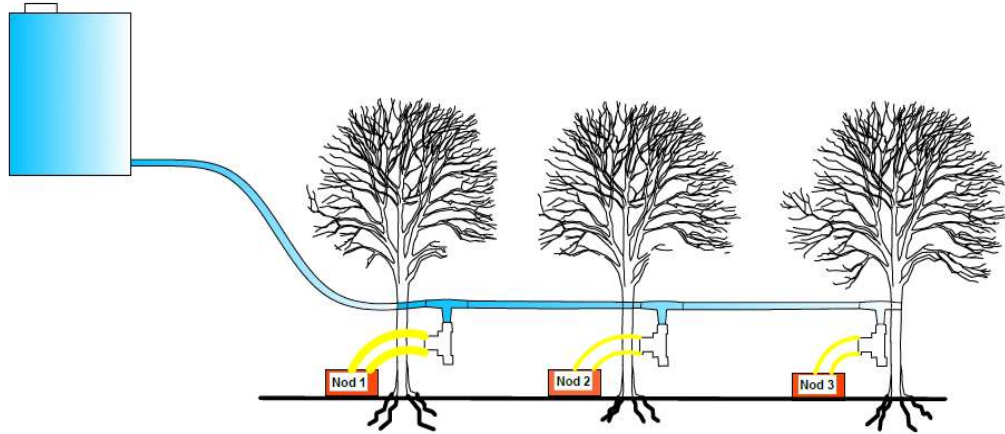
7. Tarih: Gelen değerin tarih bilgisini yazar. Yıl ay gün saat dakika ve saniye olarak görülmektedir.
8. Bağlantı: Alıcı kısım ile bilgisayar arayüzünü birleştiren bağlantı noktasıdır. Usb ile bağlantı kurulur. Hangi usb portundan bağlandıysa o port seçilerek programla bağlantı kurulmuş olur.
9. Modul-1: Burada birinci modüle(düğüm) nem algılama aralığı yani set değeri girilerek kaydet butonuna basılır ve artık bu modül bu ayarlara göre işlem yapar. 6 nolu kısımda da görülür.
10. Modul-2: 9 nolu kısımla aynıdır ve ikinci modüle ait işlemleri yapar.
11. Modul-3: 9 ve 10 nolu kısımlarla aynıdır üçüncü modüle ait işlemleri yapar.
12. Veri Alma Periyodu: Düğümlerden gelen verilerin hangi sıklıkta alınacağını belirlediği kısımdır. 1 sn, 5 sn, 30 sn, 1 dk, 15 dk, 30 dk, 1 saat gidi süreler seçilebilmektedir. Bunların haricinde manuel giriş de yapılabilmektedir.
13. Raporu Göster: Ekranda düğümlerden gelen verileri çıktı almak için kullanılan butondur. Excel formatında rapor verilebilmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kablosuz haberleşme teknolojileri her geçen gün önemini ve uygulama alanını arttırmaktadır. Özellikle en popüler olarak kullanılan GSM ve uydu teknolojileri hayatın her alanında kullanılmaktadır. Son yıllarda oldukça hızlı bir ilerleme kaydedilen alan kablosuz sensör ağlarıdır. Sensör düğümlerinin(nod) birbirleriyle ya da doğrudan alıcıyla haberleşmeleri birçok alanda uygulama yapılmasına olanak sağlamıştır.

Bu tezde 3 adet düğümden(istenirse arttırılabilir) ve 1 adet alıcıdan oluşan yıldız(star) ağ topolojisine sahip kablosuz sensör ağı kurulmuştur. Düğümler toprak nem değerini ölçtüklerinden bir bahçede üç meyve ağacının toprak neminin ölçülmesinde kullanılmıştır.

Sistem şekil 4.1'deki gibi tasarlanmış ve şekil 4.2'deki gibi, $39^{\circ}48'42''N$ (39.811554) enlem, $34^{\circ}47'23''E$ (34.789674) boylam koordinatlarının bulunduğu bölge olan Yozgat ili Merkez ilçesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Tasarlanan Sistem



Şekil 4.2 Tasarlanmış Sistem

Sistem şekil 4.2'deki gibi kurulmuş, her bir ağacın köklerinin bulunduğu yere toprak nem sensörü saplanmıştır ve toprağın nem değerleri algılanmaya çalışılmıştır. 1. Nod kiraz ağacına, 2. Nod kayısı ağacına ve 3. Nod ise ayva ağacına konularak bu ağaçların toprak nem değerleri ölçülerek sulaması kontrol edilmiştir. Alıcı tarafta da bu nem değerleri kablosuz sulama sistemi programıyla 10'ar saniyelik aralıklarla alınarak Microsoft excel formatında tutulmuştur. 1. Noddan gelen nem değerleri 1. Nod başlığı altına, 2. Noddan gelen nem değerleri 2. Nod altına ve 3. Noddan gelen nem değerleri 3. Nod altına eklenmiştir.

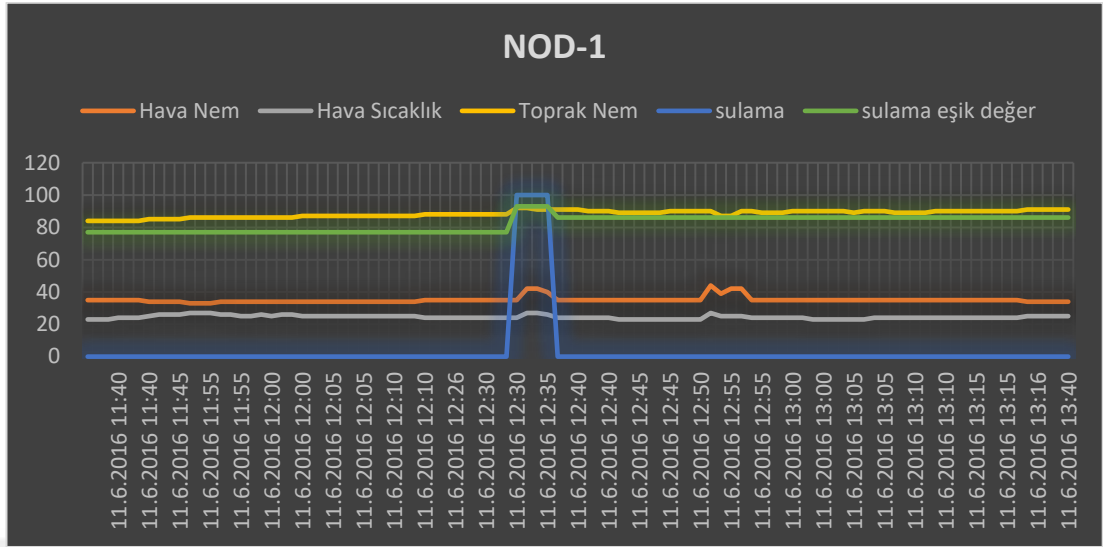
Ölçülen toprak nem değerleri 0-100 aralığında yüzde olarak alınmaktadır. Her bir bitkinin su ihtiyacı farklı olacağından her bir düğümün nem algılama değeri farklı olarak bilgisayar üzerinden kablosuz olarak düğümlere gönderilerek ayarlanabilmektedir. Toprak neminin yanı sıra hava sıcaklığı ve hava nem değerleri de bilgisayardaki kablosuz sulama sistemi programında istenilen aralıklarla alınabilmektedir.

Tablo 4.1 Kablosuz Sulama Sistemi Raporu

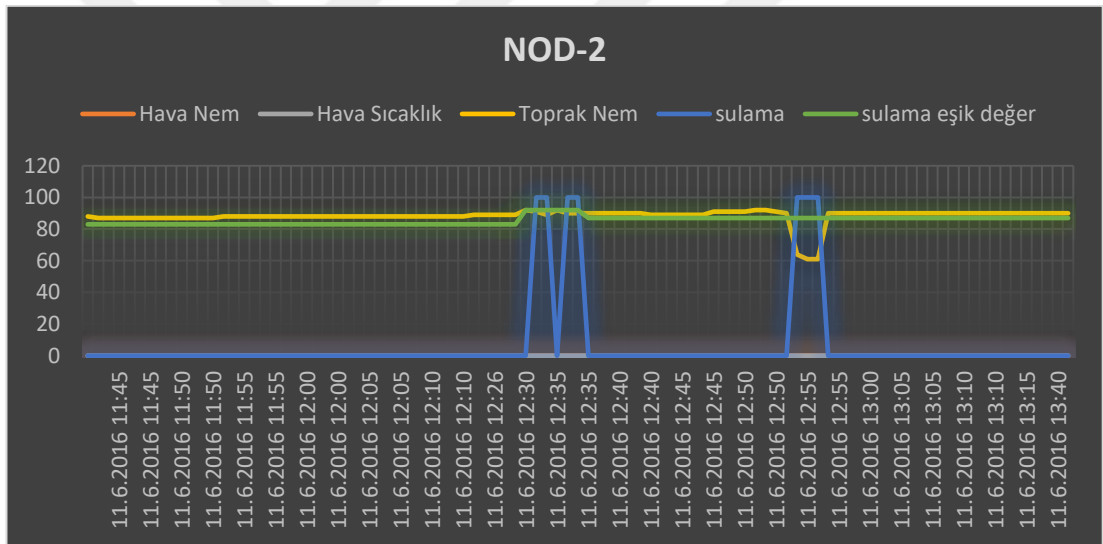
ID	NODE	HAVA NEM	HAVA SICAKLIK	TOPRAK NEM	SULAMA	SULAMA EŞİK DEĞERİ	MAKSİMUM TOPRAK NEM	TARİH
2537	3	0	0	80	PASIF	50	100	14.5.2016 10:40
2538	1	35	23	81	AKTİF	94	100	14.5.2016 10:40
2539	2	0	0	79	PASIF	66	100	14.5.2016 10:40
2540	3	0	0	80	PASIF	50	100	14.5.2016 10:40
2541	1	35	23	79	AKTİF	94	100	14.5.2016 10:41
2542	2	0	0	79	PASIF	66	100	14.5.2016 10:41
2543	3	0	0	80	PASIF	50	100	14.5.2016 10:41
2544	1	35	23	84	AKTİF	94	100	14.5.2016 10:41
2545	2	0	0	79	PASIF	66	100	14.5.2016 10:41
2546	3	0	0	80	PASIF	50	100	14.5.2016 10:41

Tablo 4.1’den de görüleceği üzere her nodlardan veriler sırası ile gelmektedir. Her noda ait veriler yanında yer almaktadır. Toprakta ölçülen nem değeri sulama eşik değerinden büyük olduğundan sulama durumu pasif olarak kalmaktadır. Toprak nem değeri sulama eşik değerinin altına düştüğünde devredeki selenoid valfler nodlar tarafından aktif hale geleceğinden sulama durumu aktif hale gelmektedir.

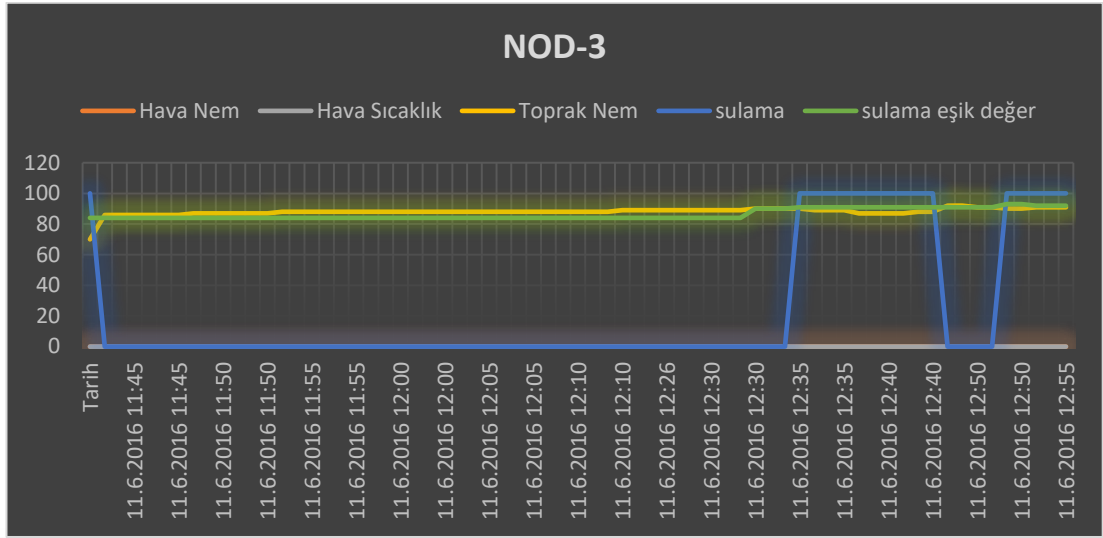
Elde edilen excel formatındaki verilerden nodlara ait grafikler oluşturulmuştur ve yaklaşık 2 saat süreyle alınan verilerden elde edilmiştir. Her bir grafikten de görüldüğü gibi ölçülen toprak nem değeri sulama eşik değerinin altında olduğunda sulama işlemi gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3 Nod-1 Çalışma Grafiği



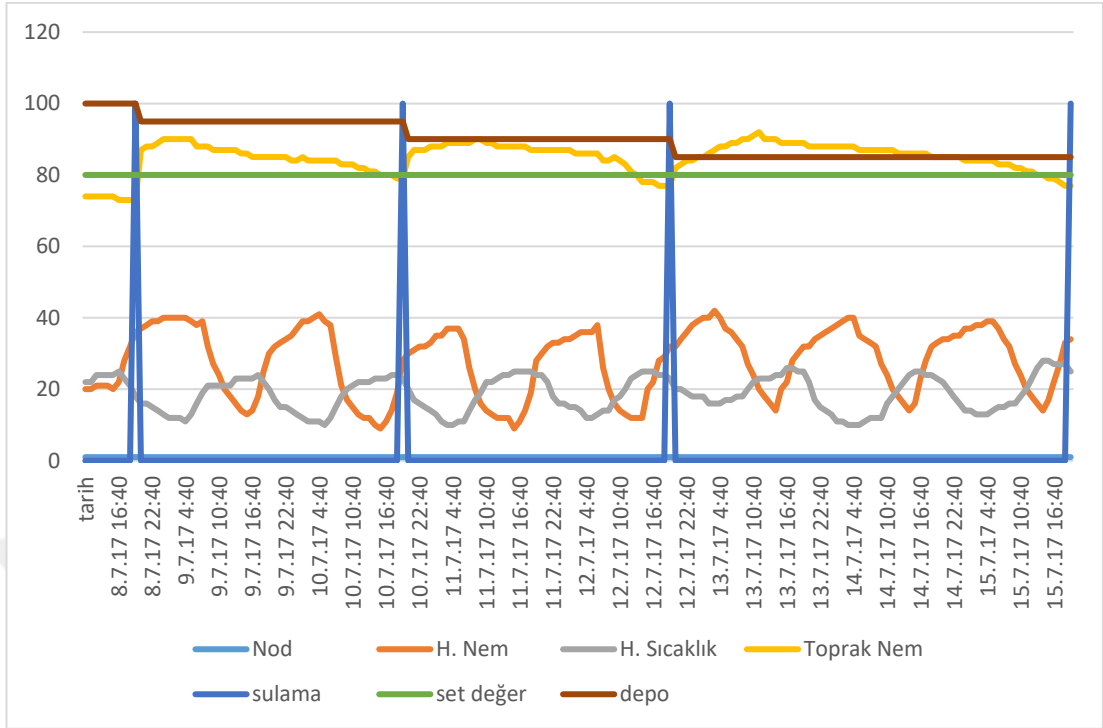
Şekil 4.4 Nod-2 Çalışma Grafiği



Şekil 4.5 Nod-3 Çalışma Grafiği

Bu değerler alınırken alıcı ve vericiler arasında engel olarak evin bir duvarı vardı ve veriler alıcıdan rahatlıkla alınabiliyordu. Alıcı kısım ile vericiler arası iki duvar engel olduğunda veri alınmasında gecikmeler ve kayıplar yaşanmaya başlamıştır. Engel olarak 3 duvar olduğunda veri iletimi kesilmiştir.

Yukarıdaki grafiklerde sistemin çalışması kontrol edilmiştir ve yapılan değişikliklere göre görevini başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir. Şekil 4.6’da ise bir hafta boyunca elde edilen veriler grafik olarak gösterilmiştir. Vericilerden biri depodaki su seviyesini kontrol etmiştir. Sulama işlemi hava karardıktan sonra yapılacak şekilde ayarlanmıştır. Bu yüzden gündüz toprak nemi yetersiz olsa bile sulama yapmayıp havanın kararmasını beklemektedir. Bunu da alıcının bağlı olduğu bilgisayardan zaman bilgisinin vericilere gönderilmesiyle yapabilmektedir. Zaman bilgisi olarak 20:00-21:00 arası ayarlanmıştır ve sulamayı bu saat aralığında yapmaktadır. Ayarlanan nem eşik seviyesine(toprak nem eşik değeri 80 olarak ayarlanmıştır) göre 2 ila 3 günde bir sulama yapmıştır.



Şekil 4.6 Bir Haftalık Gözlem

Bu sistem sayesinde istenilen herhangi bir bitkinin, hangi toprak nemi koşullarında daha iyi bir yaşam süreceği ve daha verimli olabileceği izlenerek rahatlıkla belirlenebilir. Bu sayede de akıllı tarım uygulamaları daha da yaygınlaşacak ve ürünlerden daha yüksek verim elde edilebilecektir.

Akıllı tarım sayesinde iş gücü ve maliyet oranlarında ciddi bir düşüş görülecektir. İş gücünün azalmasında sistemin otomatik çalışması oldukça büyük önem arz etmektedir. Bitkinin susuz kaldığına kendisinin karar verip kendisinin sulaması oldukça büyük bir avantajdır. Ürünlerden en yüksek verim oranına ulaşılabilecektir.

Sistemin kablosuz oluşu da bakım maliyetlerini daha düşük seviyeye indirmektedir. Bu sistem kapalı mekânlar için daha da verimli hale gelebilir. Bu şekilde dış ortamdan(yağmur, kar, rüzgâr vs.) korunmuş olur. Ayrıca kapalı alanlarda sisteme sıcaklık durumunu ayarlayabilecek bir yapı entegre de edilebilir ve bu sayede toprağın neminin yanı sıra ortamın sıcaklığı da kontrol altına alınmış olacaktır. Topraktan alınan nem verilerinin bilgisayar ekranında rakamsal değerlerin elde edilmesiyle de bitkilerin gelişiminin daha rahat gözlenmesini sağlayacaktır.

Sisteminde en önemli parametre kablosuz sensör ağlarının güç ihtiyacıdır. KSA'lar pil ile çalıştıklarında kısa sürelerde pil değiştirmek zorunda kalılabilmektedir. Özellikle arduino kartların üzerinde bulunan harici bileşenler fazla güç harcadığından kullanılan pillerin kullanım ömrünü oldukça azaltmaktadır. Bu yüzden daha sade bir arduino tasarımı yapılırsa piller daha uzun süre kullanılabilecektir. Ayrıca güneş paneli kullanarak da sistemin uzun süre aktif olarak çalışması sağlanabilir.

Diğer önemli bir parametre, kullanılan kablosuz modülün kapsama alanıdır. Kapsama alanını etkileyen faktörler olarak batarya seviyesi, alıcı-verici arasındaki engeller belirtilebilir. Batarya seviyesi azaldığında veri iletim mesafesi de düşmektedir. Alıcı-verici arasındaki engel olarak özellikle duvarlar olduğunda veri iletimi gerçekleşmemektedir.

Sistemi daha optimum seviyeye getirmek için su tankının da sıvı seviyesinin ölçülmesi sağlanabilir. Ayrıca sistemin çalıştığından da haberdar olmak için ilave düzeneklerle cep telefonuna sms gibi bilgilendirme mesajları da gönderilebilir.

Her bitkinin sulama süreleri bulunduğu şartlara göre farklılık göstermektedir. Burada en önemli faktör toprağın su tutabilme durumudur. Suyu daha fazla tutabilen topraklarda sulama ihtiyacı daha az olacağından sistemin çalışması da o derece az olabilecektir. Dolayısıyla da daha az güç tüketimi olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Baysal, K., Kablosuz Sensörler, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne, 2011.
2. Yazar, M., Kablosuz Sensör Ağları İle Yangın Uyarı Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.
3. Soy, H., Dilay, Y., Aydın, C., Bayrak, M., Kablosuz Algılayıcı ve Eyleyici Ağlar Yardımıyla Konya Ovasında Tarımsal Su Tüketiminin Azaltılması, Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, Konya, 379-383, Kasım 14-16, 2013.
4. Demirel, F., Su İletim Hatları Basınç Bilgilerinin Deneysel Bir Ortamda Kablosuz Sensör Ağı İle Toplanması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2010.
5. Bhosale, T., Patil, M., Wadhai, V. A Smart Farming Alternative for Small Pomegranate Farms of India, Communications and Signal Processing (ICCSP), Melmaruvathur, 540-544, April 2-4, 2015.
6. Kim, Y., Bae, P., Han, J., Ko, Y. Data Aggregation in Precision Agriculture for low-power and lossy networks, Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM), Victoria BC, 438-443, Aug. 24-26, 2015.
7. Balamurali, R., Kathiravan, K. An Analysis of Various Routing Protocols for Precision Agriculture using Wireless Sensor Network, Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), Chennai, 159-159, July 10-12, 2015.
8. Atta, R., Boutraa, T., Akhkha, A. Smart Irrigation System for Wheat in Saudi Arabia Using Wireless Sensors Network Technology, International Journal of Water Resources and Arid Environments, 1(6), 478-482, 2011.
9. Dursun, M., Özden, S. A Wireless Application of Drip Irrigation Automation Supported By Soil Moisture Sensors, Scientific Research and Essays Vol. 6(7), Ankara, 1573-1582, April 4, 2011.
10. Mat, I., Rawidean, M., Kassim, M., Harun, A.N. Precision Irrigation Performance Measurement Using Wireless Sensor Network, Sixth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Shanghai, 154-157, July 8-11, 2014.
11. Hussain, R., Sahgal, J.L., Gangwar, A., Riyaj, M. Control of Irrigation Automatically By Using Wireless Sensor Network, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), 3(1), 2231-2307, 2013.
12. Rhman, A., Ali, R., Jasim, B.H., Wirelessly Controlled Irrigation System, Iraq J. Electrical and Electronic Engineering, 10(2), 2014.

13. Sivakumar, B., GunaSekaran, P., SelvaPrabhu, T., Kumaran, P., Anandan, D., The Application of Wireless Sensor Network in the Irrigation Area Automatic System, *Int.J.Comp.Tech.Appl*, 3(1), 67-70, 2012.
14. Srbinovska, M., Gavrovski, C., Dimcev, V., Krkoleva, A. Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks, *Journal of Cleaner Production*, 88(2015), 297-307, 2015.
15. Coates, R.W., Delwiche, M.J., Broad, A., Holler, M. Wireless Sensor Network With Irrigation Valve Control, *Computers and Electronics in Agriculture*, 96(2013), 13-22, 2013.
16. Eriş, Ö. , Mikrodenetleyici Tabanlı Kablosuz Veri Toplama Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2010.
17. http://www.emo.org.tr/ekler/b33e1bc2718ddfd_ek.pdf, Aralık 2016.
18. Ersin, Ç., Arduino Mikrodenetleyici ve Güneş enerjisi İle Çalışan Otomatik Bitki Sulama Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2015.
19. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/mikrodenetleyiciler-nasil-calisir-1-bolum/14785#ad-image-0>, 2016.
20. http://www.robotiksistem.com/arduino_nano_ozellikleri.html, Aralık 2016.
21. <http://www.robotistan.com/toprak-nemi-algilama-sensoru>, Aralık 2016.
22. Duran, U., Demir, Ö., Yavuz, C., Dht11 Sıcaklık ve Nem Sensörü ile Bilgisayar Destekli Ölçüm ve Kontrol Devresinin İmalatı ve Deneyisel Olarak İncelenmesi, Proje Tabanlı Mekatronik Eğitimi Çalıştayı(Yayın No: 1269372), Çankırı, Mayıs 25-27, 2012.
23. <http://arduino-er.blogspot.com.tr/2015/05/arduino-nano-dht11-temperature-humidity.html>, 2016.
24. <http://www.elektrikce.com/solenoid-valf-yapisi-ve-calisma-sistemi/>, Aralık 2016.
25. http://www.emo.org.tr/ekler/504422f591bf1b0_ek.pdf, Ocak 2016.
26. Onursor,V., Develi, İ., 2.4 Ghz Kısa Mesafeli Kablosuz Haberleşme Sistemi ile Yüksek Kaliteli Görüntü İletimi, 2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), IEEE, 610-613, 2011.
27. <https://www.ondergormez.com/2015/02/05/spi-ile-picler-arasi-haberlesme/>, Ocak 2017.
28. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/rolenin-ic-yapisi-elektrikport-akademi/4275#ad-image-0>, Aralık 2016.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Yozgat'ın Merkez ilçesinde doğan Sait ÜNAL, ilk ve orta öğrenimini Atatürk İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini Atatürk Lisesi'nde tamamlamıştır. 2003 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü 2008 yılında bitirmiştir.

2012 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Anabilim Dalında başlamıştır. 2008 yılında Yozgat İl Telekom Müdürlüğünde Mühendis olarak göreve başlamış olup, 2014 yılına kadar görev yapmış ve şu anda Bozok Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümünde Öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.

İletişim Bilgileri:

Adres: Şeyh Osman Mah. Şht. Levent Şahin Sk. No:10 , 66100 YOZGAT

Telefon: (354) 217 16 18

E-posta: saitunal66@hotmail.com