



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK ANABİLİM DALI

MEKATRONİK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**NESNELERİN İNTERNETİ TABANLI MAKİNE ÖĞRENMESİNE
DAYALI SEÇİCİ SULAMA SİSTEMİ TASARIM ve UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harun DOLCEL

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURGUN

TOKAT- 2022

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Mahmut DURGUN danışmanlığında hazırlamış olduğum “Nesnelerin İnterneti Tabanlı Makine Öğrenmesine Dayalı Seçici Sulama Sistemi Tasarım ve Uygulaması” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

18/07/2022

Harun DOLCEL

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında desteğini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Durgun’a, yoğun çalışmalar esnasında gösterdiği sabır ve bana katlandığı için değerli eşim Gülnur’a, çalışmalarımda bana izin veren ve anlayış gösteren kızlarım Elfin Mina ve Begüm Sare’ye, çalışmalarım esnasında küçük, büyük yardımını esirgemeyen herkese teşekkür ederim



Harun Dolcel

Temmuz - 2022

ÖZET

Nesnelerin İnterneti Tabanlı Makine Öğrenmesine Dayalı
Seçici Sulama Sistemi Tasarım ve Uygulaması
Dolcel, Harun
Yüksek Lisans, Mekatronik Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Durgun
Temmuz 2022, xi + 76 sayfa

Son yıllarda hızlı nüfus artışıyla su tüketiminin artması, iklim değişikliği nedeniyle doğal su kaynaklarının azalması ve bilinçsiz tarımsal sulama sonucunda tatlı su kaynakları için ülkeler arası rekabetin artmasına sebep olmaktadır. Dünya nüfusu hızla artmakta ancak bu artışa paralel olarak tarımsal üretim aynı doğrultuda artmamaktadır. Tarımsal üretimdeki yetersizliğin sebeplerinden bir tanesi geleneksel yöntemlerle sulamanın hala yaygın olarak kullanılmasıdır. Geleneksel tarımsal sulamada, bitkinin ihtiyacından fazla su verilmekte ve suyun birçoğu bitki tarafından kullanılmadan buharlaşmaktadır. Tarımsal üretimde, su kullanımını en uygun seviye de tutmak, enerji tüketimini azaltmak ve mahsullerin kalitesini arttırmak için tarımsal sulamada akıllı teknolojilere olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Bu tez çalışmasında; tarımsal sulamada su kullanımını verimli hale getirilmektedir. Bitkiye özgü sulama programı oluşturacak nesnelerin interneti tabanlı ve makine öğrenmesine dayalı bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Toprak nem verileri Kablosuz sensör ağ (WSN) tabanlı sistemi ile toplanmıştır. Seçici Sulama Sisteminin (SSS) karar verme mekanizmasına yardımcı olarak, FAO CROPWAT programı tarafında bitkilere özgü oluşturulan sulama suyu verileri kullanılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, bitkiye özgü sulama suyu miktarı, regresyon algoritmaları uygulanarak tahmin edilmiştir. Makine öğrenmesi ile elde edilen veriler MQTT protokolü ile NodeMCU işlemcisine gönderilerek suyun geçişine izin veren Selenoid Valflerin kontrolü sağlamıştır. Sistemde damla sulama yöntemi kullanılacaktır. Çalışmamızın enerji ihtiyacı Fotovoltaik (FV) sistemden elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Akıllı Tarım, Makine Öğrenmesi, Fotovoltaik Enerji, Damla Sulama

ABSTRACT

Internet of Things Based Machine Learning Supported
Selective Irrigation System Design and Implementation

Dolcel, Harun

Master's Thesis, Department of Mechatronics

Thesis Advisor: Assit.Prof.Dr. Mahmut Durgun

July 2022, xi + 76 pages

In recent years, the increase in water consumption due to rapid population growth, the decrease in natural water resources due to climate change and the unconscious agricultural irrigation result in an increase in competition between countries for fresh water resources. The world population is increasing rapidly, but in parallel with this increase, agricultural production does not increase in the same direction. One of the reasons for the inadequacy in agricultural production is the widespread use of irrigation with traditional methods. In traditional agricultural irrigation, more water is given than the plant needs and most of the water evaporates without being used by the plant. In agricultural production, the need for smart technologies in agricultural irrigation is increasing day by day in order to keep water use at the most appropriate level, reduce energy consumption and increase the quality of crops.

In this thesis study; The use of water in agricultural irrigation is made efficient. An internet-based and machine-learning system design was carried out to create a plant-specific irrigation program. Soil moisture data was collected with a Wireless sensor network (WSN) based system. To assist the decision-making mechanism of the Selective Irrigation System (SSS), irrigation water data generated specifically for plants by the FAO CROPWAT program were used. In line with the data obtained, the amount of plant-specific irrigation water was estimated by applying regression algorithms. The data obtained by machine learning was sent to the NodeMCU processor with the MQTT protocol, allowing the control of the Solenoid Valves that allow the passage of water. Drip irrigation method will be used in the system. The energy requirement of our study was obtained from the Photovoltaic (FV) system.

Keywords: Internet of Things, Smart Agriculture, Machine Learning, Photovoltaic Energy, Drip Irrigation

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ETİK SÖZLEŞME	i
JÜRİ KABUL ve ONAY	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ	xi
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZETLERİ/KURAMSAL TEMELLER/GENEL BİLGİLER.....	4
2.1Nesnelerin İnterneti (IoT).....	9
2.1.1IoT cihazların tarımsal alanda kullanımı.....	12
2.2Bitki Su Tüketimi (ETc).....	13
2.3 Evapotranspirasyonun Meteorolojik Veriler ile Hesaplanması	14
2.4 Bitki Katsayısı (Kc)	16
2.5 FAO Cropwat 8.0 Programı.....	18
2.6 Konstanz Information Miner (Knime) Programı.....	22
2.6.1 Döğüm sistemi.....	23
2.6.2 Knime programında iş akışı oluşturmak.....	24
2.7 Makine Öğrenimi ve Regresyon Modellerinin İncelenmesi	26
2.7.1 Doğrusal (Lineer) regresyon modeli	26
2.7.2 Polinom regresyon modeli.....	28
2.8 MQTT (Message Queue Telemetry Transport)	30
2.8.1 MQTT Mesaj Mimarisi.....	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM	34
3.1. Sistem Tasarımı	34
3.2. Çalışma Alanı.....	35
3.3. Gömülü Sistemin Tasarımı.....	35
3.4. Yazılım Geliştirme Kartı (NodeMCU)	37

3.5. Sıcaklık ve Nem Sensörü.....	38
3.6. Kapasitif Toprak Nem Sensörü	39
3.7. Selenoid Valf	40
3.8. Damla Sulama Sistemi	41
3.9. Fotovoltaik Sistem	43
3.10. Makine Öğrenme Algoritması.....	45
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	49
4.1. Elektronik Kartın Test Edilmesi.....	49
4.2. Toprak Nem Sensörleri Ölçümleri	51
4.3. Bitki Bazlı Su Tüketim Değerlerinin Hesaplanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi	54
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	62
KAYNAKÇA	63
EKLER	70
EK-1. Domates Bitkisi Regresyon Modeli Python Programı	70
EK-2. Biber Bitkisi Regresyon Modeli Python Programı	73
EK-3. Özgeçmiş	76

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Turhal bölgesine ait bazı bitkilerin Kc değerleri	17
Tablo 2.2. (Devam) Turhal bölgesine ait bazı bitkilerin Kc değerleri	18
Tablo 3.1. NodeMCU geliştirme kartı özellikleri	38
Tablo 3.2. DHT11 Teknik Verileri	39
Tablo 3.3. Kapasitif Toprak Sensörü teknik özellikleri	40
Tablo 3.4. PV Panelin Özellikleri	44
Tablo 4.1. Biber için haftalık sulama suyu verilerinin karşılaştırılması	57
Tablo 4.2. Domates için haftalık sulama suyu verilerinin karşılaştırılması	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Nesnelerin interneti (IoT) uygulama alanları	10
Şekil 2.2. Nesnelerin interneti (IoT) uygulama alanları	11
Şekil 2.3. Bitki su tüketimini etkileyen faktörler	13
Şekil 2.4. Bir bitkinin büyüme dönemi ve katsayıları (Kc)	16
Şekil 2.5. Climwat 2.0 bölgesel iklim veri programı	19
Şekil 2.6. Cropwat 8.0 programın tarafında oluşturulan aylık bölgesel iklim verileri	20
Şekil 2.7. Bitki katsayı değerlerinin hesaplanması	21
Şekil 2.8. Bitkinin ekildiği bölgeye özgü sulama suyu miktarının oluşturulması	21
Şekil 2.9. Knime Programı Çalışma Penceresi	22
Şekil 2.10. Düğüm bağlantı noktaları ve düğüm durumu (Warr, 2012)	24
Şekil 2.11. Örnek Knime Çalışması	24
Şekil 2.12. Çıkış Pasta Grafiği	25
Şekil 2.13. Çıkış Paralel Koordinat Grafiği	25
Şekil 2.14. Doğrusal regresyon modeli örnek çıkış grafiği (Niels,2019)	26
Şekil 2.15. Lineer regresyon modeli örnek program grafik çıktısı	27
Şekil 2.16. Polinom regresyon modeli örnek çıkış grafiği (Yalçın, 2020)	28
Şekil 2.17. Polinom regresyon modeli örnek program grafik çıktısı	29
Şekil 2.18. MQTT mimarisi	30
Şekil 2.19. MQTT Explorer haberleşme penceresi	33
Şekil 3.1. Seçici sulama sistemi (SSS) genel tasarımı	34
Şekil 3.2. Uygulama sahası	35
Şekil 3.3. Wi-Fi destekli gömülü sistem baskı devre tasarımı	36
Şekil 3.4. Wi-Fi destekli gömülü sisteme devre uygulaması (üst görünüm)	37
Şekil 3.5. NodeMCU geliştirme kartı	37
Şekil 3.6. Sıcaklık ve Nem Sensörü	39
Şekil 3.7. Kapasitif Toprak Nem Sensörü	40
Şekil 3.8. Selenoid valfin damla sulama sistemine montajı	41
Şekil 3.9. Damla sulama boru uygulaması	42
Şekil 3.10. Çalışma alanına damla sulama sisteminin kurulması	42
Şekil 3.11. Selenoid Valflerin damla sulama sistemine montajı	43
Şekil 3.12. Fotovoltaik Sistem (FV)	44
Şekil 3.13. Uygulama alanında kurulu olan güneş panelleri	45
Şekil 3.14. Makine Öğrenme Süreci	45
Şekil 3.15. KNIME programı akış diyagramı	47
Şekil 4.1. Gömülü sistemin valf bağlantıları	49
Şekil 4.2. Devrenin test edilmesi	50
Şekil 4.3. Devrenin çalışma akım ve gerilim değerleri	50
Şekil 4.4. Kapasitif toprak nem sensörü kalibrasyon ayarının yapılması	51
Şekil 4.5. Toprak nem değerleri ve kapasitif toprak sensör arasındaki ilişki	52

Şekil 4.6. Domates ve bitkisine ait toprak nem değerleri	53
Şekil 4.7. Biber için FAO CROPWAT programı tarafında oluşturulan sulama verileri ve biber toprak nem verilerinin Python programı Lineer regresyon model grafiği.....	54
Şekil 4.8. Domates için FAO CROPWAT programı tarafında oluşturulan sulama verileri ve domates toprak nem verilerinin Python programı Lineer regresyon model grafiği.....	55
Şekil 4.9. Biber için FAO CROPWAT programı tarafında oluşturulan sulama verileri ve biber toprak nem verilerinin Python programı regresyon model grafiği	56
Şekil 4.10. Biber için FAO CROPWAT programı tarafında oluşturulan sulama verileri ve biber toprak nem verilerinin Python programı regresyon model grafiği	56
Şekil 4.11. Biber için haftalık sulama suyu verilerinin karşılaştırılması	58
Şekil 4.12. Domates için haftalık sulama suyu verilerinin karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.13. Biber için toplam sulama suyu miktarlarının karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.14. Domates için toplam sulama suyu miktarlarının karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.15. Sulama sistemlerinin karşılaştırılması	61

KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ

FAO: Dünya Tarım Örgütü

KNIME: Konstanz Information Miner

FV: Fotovoltaik

IoT: Internet Of Things

SSS: Seçici Sulama Sistemi

MQTT: Message Queuing Telemetry Transport

Wi-Fi: Wireless Fidelity

MCU: Micro Controller Unit

SQL: Structure Query Language

GSM: Global System for Mobile Communications

GPRS: General Packet Radio Service

PLC: Programmable Logic Controller

LCD: Liquid Crystal Display

M2M: Machine to Machine

QoS: Quality of Service

WSN: Wireless Sensor Network

1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu'nun hazırladığı rapora göre, dünya nüfusu 2050 yılına kadar 10 milyarı aşması bekleniyor (UNFPA Türkiye, 2020). Dünyada ki nüfus artışı ve iklim değişikliği içilebilir su kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Tarımsal üretimin en önemli girdilerinden biri sudur. Su, tarımsal üretimden tüketime tarım-gıda zincirinin tüm aşamalarında büyük öneme sahiptir(Karaman, 2014).

Ülkemizde içilebilir tatlı su kaynağı 112 milyar m³ olup bu sudan yararlanma oranı yaklaşık %39'dur. Tatlı su kaynağımızın 32 milyar m³ 'ü tarımsal sulamada, 5 milyar m³ 'ü sanayi üretiminde ve 7 milyar m³ 'lük evsel tüketimde kullanılmaktadır. Bu durumda ülkemiz su kaynaklarının yaklaşık %73'ünü tarımsal sulama, %11'i sanayi, %16'i kentsel tüketim için kullanılmakta iken bu oranlar Dünyada %70, %22, %8, Avrupa'da ise %33, %51 ve %16 oranındadır (Ercan ve ark., 2019).

Dünya Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre dünya genelinde doğal kaynaklar yoluyla yapılacak olan tarımsal üretimin 2050 yılına kadar %60 artması bekleniyor(Çetin & Faculty, 2022). Geleneksel tarımda sulama için gerekenden daha fazla su kullanılır ve suyun çoğu bitkiler kullanılmadan önce buharlaşır. Sulama bilinçli yapılmazsa, su mevcudiyetinde hızlı bir düşüşe ve aynı zamanda mahsul veriminde düşüşe yol açar. Büyüme mevsimi boyunca bir bitkinin kök bölgesinde yeterli nem temini, bitki büyümesi için çok önemlidir. Bitkinin ihtiyacından daha yüksek veya daha düşük toprak nemi verimi etkilemektedir. (Kanburoğlu Cebi ve ark., 2018).

Bu nedenle tarımda sulama suyunun bilinçli kullanılması verimli tarım ve güvenli gıda sağlanmasında önemli bir yere sahiptir. Su kaynaklarından en iyi şekilde yararlanmanın temel koşulu olarak toprak, iklim ve bitki etmenlerine bağlı olan sulama zamanı ve miktarı arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekmektedir. Birim sudan en yüksek verimi elde edecek sulama yönteminin ve kullanılacak yardımcı öğelerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır(Kartal ve ark., 2019).

Tarımsal üretimde, yüksek teknolojlili tarım, tüm ülkelerdeki büyüme için yeni stratejik bir role sahip olmaya başlamıştır (González Perea ve ark., 2019). Ülkemizin 2019-2023 yılı kalkınma planında yer alan 416.4. “Akıllı tarım teknolojileri öncelikli olmak üzere daha teknolojik ve çevreye duyarlı üretim teknikleri geliştirilecek ve desteklenecektir” (On Birinci Kalkınma Planı 2019-2023, s. 92) ifadesi, tarım alanında yapılacak olan akıllı teknolojilerin geliştirilmesi ve desteklenmesi hedeflenmektedir.

Önerilen tez çalışmamızda, bitki çeşidine göre nesnelerin interneti (IoT) tabanlı uygulamalar ile akıllı tarım teknolojilerden yararlanılarak yeni bir tarımsal sulama stratejisi önerilmiştir. Bitkiye özgü sulama hesaplanırken iklim verileri, toprağın niteliği ve bitkinin özellikleri dikkate alınmaktadır. Dünya Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilen Cropwat yazılımı kullanılarak bitki su tüketimi ve sulama yönetimi teorik veriler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Çalışmada biber ve domates bitkileri seçici sulama programı oluşturulmuştur. Bitkiye özgü seçisi sulama suyu miktarının hesaplanabilmesi için toprak nem verileri dikkate alınarak Cropwat programı tarafında önerilen sulama su miktarları makine öğrenmesine tabi tutulmuştur. Bu iki veri ışığında makine öğrenmesi algoritması, toprak nem verisine göre bitkilere özgü sulama suyu tahmini gerçekleştirilmiştir. Tahmin sonuçlarına bağlı olarak MQTT sistem üzerinden selenoid valflerin aç/kapa komut dizemiyle kontrol edilerek bitkilerin sulanması gerçekleştirilmiştir.

Sunulan tez çalışmamızda yer alan cihazların için planlana enerji ihtiyacı fotovoltaiik (güneş) enerjisinden karşılanmıştır. Amaç, tasarlanan sistemi, şehir şebekesinden olmayan tarımsal arazilerde de kullanabilmektedir.

Bu tez çalışması aşağıdaki şekilde organize edilmiştir:

Birinci bölümde, tez çalışmasının önemi, amaçları ve cevaplamak istediği sorulara yönelik genel bilgiler içeren giriş bölümü yer almaktadır.

İkinci bölümde, akıllı sulama sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Ayrıca tez çalışması esnasında kullanılan kuramsal temeller hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir

Üçüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan materyaller ve yöntemler hakkında ayrıntılı bilgiler yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, tez çalışmasında geliştirilen seçici sulama sisteminin ortaya çıkardığı bulgular, tablolar ve grafiksel gösterimlerle incelemiş ve yorumlanmıştır.

Beşinci bölümde, tez çalışmaları sonunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Ek olarak, tez çalışması için geliştirilen makine öğrenme algoritmalarına ait program kodları yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ/KURAMSAL TEMELLER/GENEL BİLGİLER

Günümüzde, özellikle tarım teknolojisi hızla gelişimini sürdürürken 10 – 15 sene öncesine kadar işleyişi ve işlevi farklı olan pek çok iş, teknolojinin gelişimi sayesinde günümüzde bambaşka bir boyut kazanmış durumdadır (Sai Prasanth ve ark., 2019). Özellikle su kaynaklarının azalmasına karşın tatlı suya olan talebin artması tarım teknolojisinde su odaklı yeni teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Benyezze ve ark., 2021). Bilim adamları uzun yıllardır, bitkilerin gelişmesi için gerekli seviyedeki toprak nemi, sulama, sıcaklık vb. fiziksel değerlerin kontrol edildiği, izlendiği ve kayıt altına alındığı, biyolojik açıdan teknoloji yardımıyla bitkilerin için ideal sulama tekniklerini geliştirilmesi için birçok çalışma yürütmüştür (Abba ve ark., 2019). Tatlı su kaynaklarının azalması ve bilgi/iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, tarım teknolojilerini etkilemekte ve akıllı tarım sistemlerinin ortaya çıkmasını tetiklemektedir (Kaya, 2019).

Akıllı olarak nitelendirilen kendi kendine karar verebilen kontrol yöntemleri ile sulama sistemleri geliştirilmesine yönelik birçok bilimsel çalışma söz konusudur. Planlanan tez çalışmasında bitkilere özgü seçici sulama sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bitkiler için gerekli su miktarlarının belirlenmesi, ihtiyaç duyulan verilerin sensörler yardımıyla ölçülecektir. Sensörlerde elde edilen verilerin iletim yöntemleriyle (kablolu, kablosuz), verilerin bir merkezi kontrol biriminde iletilmesi (Mikro kontrol ünitesi) ve bu birimlerde makine öğrenmesi yoluyla değerlendirilmesi gerçekleştirilecektir. Sistemin ihtiyaç duyduğu güç güneş enerjisinden karşılanacağı için tarımsal sulamada fotovoltaiik sistemden karşılanacaktır. Tez çalışmasına başlamadan önce benzer alanlarda yapılan benzer uygulamaları literatürde görmek amacıyla geniş kapsamlı bir tarama yapılmıştır. Yapılan literatür çalışmaları aşağıda verilmiştir.

C. H. Chavan, tarafından yapılan bir makale çalışmasında; Kablosuz ağ yapısını kullanarak (ZigBee) nem, toprak nemi, sıcaklık sensörlerinden elde edilen verileri kablosuz ağ yardımıyla gömülü sisteme aktarılmıştır. Gelen veriler gömülü sistem tarafından yorumlanmış ve analog veriler dijital verilere dönüştürülmüştür. Elde edilen dijital veriler seri port (RS232) aracılığıyla merkezi sunucuya gönderilmiştir. Chavan & Karande

geliştirilen çalışmada, kablosuz ağ alt yapısı 250'den fazla farklı düğüme kadar genişletilebilir. Bu sayede sisteme birçok sensör veya gerektiğinde kontrol düğümlerinin eklenmesine olanak sağlar. Bu çalışmayla, sensör bağlantı noktalarından gelen veriler, gömülü sisteme aktarılarak LCD ekranda gösterilmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda gelen veriler ana sunucuya aktarılarak gerçek zamanlı bir veri takip sistemi oluşturulmuştur. (Chavan & Karande, 2014).

T. Happila tarafında yapılan bir çalışmada, LM35 analog sıcaklık sensörleri, duman için MQ-6 sensörleri ve kapasitif nem sensörleri ile çalışmışlardır. Çalışmada kullanılan veriler kablosuz ağ aracılığı ile iletilmiştir. Çalışmada kullanılan analog sensörler kablosuz ağ altyapısına sahip ZigBee kullanılmıştır. Analog sensörlerden toplanan veriler ARM tabanlı gömülü sistemde bulunan ADC ünitesiyle analog veriler sayısal verilere dönüştürülmüştür. Aynı zamanda bu veriler sera içerisindeki LCD ekranda eş zamanlı olarak gösterilmiştir. Mikro kontrol ünitesi üzerinde her sensör için eşik değerleri tanımlanmıştır. Sensörlerden gelen verilerin, mikro kontrol sisteminde tanımlı eşik değerlerini geçmesi durumunda havalandırma ve sulama gibi kontrol sistemleri devreye girmektedir. Örneğin, toprak nemi sistemde tanımlı değeri altına düşmesi su valfi tetiklenerek bitkilerin sulanması sağlamıştır veya sistemde tanımlı sıcaklık sensöründen gelen verilerin, sistemde tanımlı verilerin üstüne çıkması durumunda havalandırma fanı çalıştırılmış ve ortam sıcaklık değerinin istenilen değere gelmesi sağlanmıştır. Eş zamanlı olarak sisteme tanımlanan durumların gerçekleşmesi halinde sistemde tanımlı numaralara SMS gönderen uyarı sistemi de kurulmuştur (Happila ve ark., 2021).

M.Kumar ve ekibi tarafında yayınlanan bir makale de Hindistan tarım arazilerinde küçük ölçekli tarım alanları için güneş enerjisiyle çalışan bir mikro sulama sistemi tasarlamışlardır. Geliştirdikleri fotovoltaiik sistemde elde edilen verimin standart değerlere göre yeterli olduğunu ve böyle bir sistemin 0,5 derecelik kurak arazi için sulama suyu sağlayabileceğini test etmişlerdir. (Kumar ve ark., 2018).

Ç.Ersin tarafında yapılan bir tez çalışmasında, toprakta bulunan nem algılayıcıları yardımıyla bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarını gömülü sistem yardımıyla kontrol etmiştir. Sistemde tanımlı olan bitki türüne göre toprak nem oranı hesaplanmıştır. Topraktaki nem miktarı

düştüğü zaman sulama valfini devreye sokan, sulama yapılmadan önce bitkiyi fotoğraflayan, daha sonrasında topraktaki nem miktarı gömülü sistemdeki eşik değerine ulaştığında sulama sistemini kapatan ve sulandıktan sonra da bitkinin fotoğrafı çekip bu fotoğrafı e-porta olarak ilgili kişiye gönderen bir sistem tasarlamıştır. Sistemin ihtiyaç duyduğu elektrik ihtiyacını Fotovoltaik sistemle karşılamış, sistemin güneş olmadığı zamanlarda aküde depolanan enerji kullanılarak sistemin kesintisiz çalışması sağlanmıştır (Ersin, 2015).

R. Şenol tarafından yapılan başka bir çalışmada ise çeşitli tarımsal projeler için fotovoltaik pompaların yerine dizel jeneratörler kullanılması hedeflemiştir. Ayrıca, su miktarı ve yükseklikleri seçilen en uygun bölge incelemiştir. Son olarak ise yaşam döngüsü maliyeti, optimum yükseklik ve su miktarı için yapılmıştır. Fotovoltaik sistemin yatırım oranı ve tasarruf miktarı hesaplamıştır (Şenol, 2012).

H. Demirtaş tarafında yapılan tez çalışmasında, fındık bahçesine yapılacak olan damlama sulama çalışmasında, damla sulama yöntemi ile yine sulama amaçlı kurulan 5 kilowatt/saat'lik fotovoltaik sistemin kurulumu ve etkinlik değerlendirilmesini yapmıştır. Temmuz ve ağustos ayları için fındık bahçesinde toprakta ki nem sensörü verilerine göre sulama yapmıştır. Çalışma ile yetiştirilen fındıkta %89 oranında artış olduğunu göstermiştir. Fındık verimini etkileyen meyve ağırlığı, yaprak su potansiyeli ve meyve iç ağırlığı parametrelerinin de olumlu yönde etkilendiğini göstermiştir (Demirbaş, 2021).

Y. Altunbaş, bitki üzerine yerleştirmiş olduğu nem algılayıcıları yardımıyla aldıkları verileri mikro denetleyici ile işlemiş elde ettiği veriler doğrultusunda sulama ihtiyacı olduğu durumda sistem üzerinde yer alan selenoid vana yardımıyla, otomatik olarak devreye giren ve bitkide su ihtiyacı karşılandıktan sonra sistem üzerinde yer alan vanayı kapatarak sulama işlemini kesen sistem tasarlamıştır. Yapılan çalışmadaki tasarımı karşılaştırabilmek amacıyla bitkilerin ekildiği arazi üzerine normal olarak çalışan bir sulama sistemi de konularak karşılaştırmalarını yapmıştır. Yapılan gözlemler ve elde edilen ölçümleri sonucunda veriler gösteriyor ki normal sulamada yetişen ürünlerin sensör yardımıyla çalışan sulama sisteminde yetişen ürünlere göre daha az verimli olduğunu kanıtlamıştır. (Altunbaş, 2018)

Sani Abba ve arkadaşlarının tasarladıkları sistemde kablosuz (Wi-Fi) sensör ağı kullanılmıştır. Kablosuz sensör ağı (Wi-Fi) sayesinde bahçeler için akıllı bir sulama sistemi tasarlamışlardır. Tasarladıkları sistemde bir baz istasyonu, altı sensör düğümü, bir veri toplama kartı, bir radyo modülü ve bir USB programlama kartı kullandılar. Bu cihazla kışın aşırı sulanmayı önlediklerini iddia etmişlerdir (Abba ve ark., 2019).

K.Taneja ve S. Bhatia, sulamada suyu daha verimli kullanmak için entegre bir sisteme sahip olan Arduino ile sensör teknolojisini kullanarak otomatik bir sulama sistemi geliştirmişlerdir. Tasarladıkları sistemde; Suyun sulama için pompalanacağı su deposuna yerleştirilen su deposunun seviyesini kontrol etmek için zeminde bulunan bir nem sensörü ve bir seviye sensörü kullandılar. Topraktaki su miktarını belirlemek için nem sensörü ve tanımlı eşik değerleri ile bir algoritma oluşturmuşlar ve tanktaki su seviyesini ölçmek için su seviye sensörü kullanmışlardır. Elde ettikleri verilere göre; sistemin su kaynaklarının kullanımını optimize etmek için tam otomatik bir sulama sistemi olduğunu göstermektedir. Su seviyesinin düşük olduğu bölgelerde sulamaya ihtiyaç olduğunu ve bunun sürdürülebilirliği sağladığını belirtmişlerdir. (Taneja & Bhatia, 2017).

J. S. Domínguez-Niño ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, sensörlerin damla sulama sistemleri referans alınarak bir programlama yöntemine nasıl entegre edileceğine yönelik bir çalışmada, sistem deneyimleri bir test web uygulaması olan IRRIX tarafından 2 ay boyunca test edilmiştir. Deneyler, sensör tabanlı sulama planlaması olasılığını göstermiştir. Sensör verileri kullanılarak ayarlanan algoritmanın hava koşullarına ve mahsulün mevsimsel büyüme döngüsüne uyum sağladığı ve mahsul boyunca hassas sulama dozları sağladığı gösterilmiştir. Otonom bir sistem olarak insana ihtiyaç duymadan sistemin yorumlama ve karar verme hızına uyumlu bir mekanizma sağlamışlardır. (Domínguez-Niño ve ark., 2020).

Kablosuz sistemlerin artması ile birlikte nesnelerin interneti (IoT) kavramı ortaya çıkmış ve bu alandaki gelişmeleri tarımsal teknolojilere yansıtmaya çalışmışlardır. IoT geliştikçe, güneş enerjisi kaynakları uzaktan izlenebilir, çalıştırılabilir ve kontrol edilebilir hale gelmiştir. Akıllı sulama sistemleri için de nesnelerin interneti (IoT) tabanlı bir güneş enerjisi sisteminin tasarımı, dünyadaki su ve elektrik sorunu yaşayan bölgeler için oldukça gereklidir. Al-Ali ve arkadaşları, çalışma da IoT tabanlı sistem üzerine tasarımlar yapmışlardır.

Sistemde yerleşik Wi-Fi bağlantısına sahip bir gömülü sistem ve gerekli enerji gücünü sağlamak için Fotovoltaik sistem kullanmışlardır. Gömülü sistem toprak nem, nem ve sıcaklık verilerini okuyup ve sulama pompalarını çalıştırmak için gerekli komutları çıkış sistemlerine göndermiştir. Sistemin elektrik ihtiyacını hesaplanmış ve sistemin ihtiyacına uygun Fotovoltaik enerji kurulmuştur. Sistemin üç ana modu bulunmaktadır; yerel kontrol modu, uzaktan (mobil) izleme modu ve bulanık mantık tabanlı kontrol modu. Kurulan sistemde toprak nem verilerine bağlı olarak oluşturulan bulanık mantık algoritması test edilmiştir. Toprak nem sensörlerinden gelen bilgiler doğrultusunda damla sulama kontrol edilmiştir. Sistem, uzaktan izleme dahil tüm modlar da başarıyla çalışmıştır. Sistemin tüm enerji ihtiyacı fotovoltaik sistem tarafında karşılanmıştır (Al-Ali ve ark., 2019).

Soulis, Elmaloglou, & Dercas yaptıkları çalışmada; nem sensörlerinin toprağa yerleştirilmesinin bir yüzey damla sulama sisteminin performansını nasıl etkileyebileceğini incelemişlerdir. Bu nedenle, sisteme bağlı sınır koşulları ile matematiksel modeller kullanılarak toprak nemine dayalı sulama sistemlerinin simülasyonunu test etmek için çeşitli sayısal deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda, toprak nemi sensörünün konumunun ve doğruluğunun, toprak nemine dayalı bir damla sulama sisteminde sulamanın verimliliğini etkilediğini bulmuşlardır. (Soulis ve ark., 2015).

H. Benyazza ve arkadaşları, yerleşim yerinde uzak tarım alanları için bitki sulamada bir akıllı sulama sistemini ele almışlardır. Sistemde Wi-Fi teknolojisini içerisinde barındıran NodeMCU teknolojisinden yararlanarak şehir şebekesinden uzak tarım arazileri için bağımsız şekilde sulama işlemini gerçekleştirmiştir. Bitkilerin ihtiyaç duyduğu su miktarı, toprak nemi, yağmur ve sıcaklık ve durumu gibi faktörleri kablosuz iletişim sistemiyle uzaktan kullanıcı tarafından izlenilmesini sağlamıştır. Bitkilerin sulama zamanlarının gömülü bir sistem tarafında hesaplanarak yapılması sayesinde su tasarrufu sağlamıştır. Tarım alanlarında sulama suyunun verimli bir şekilde kullanılabileceği etkin bir sistem geliştirmiştir (Benyazza ve ark., 2021).

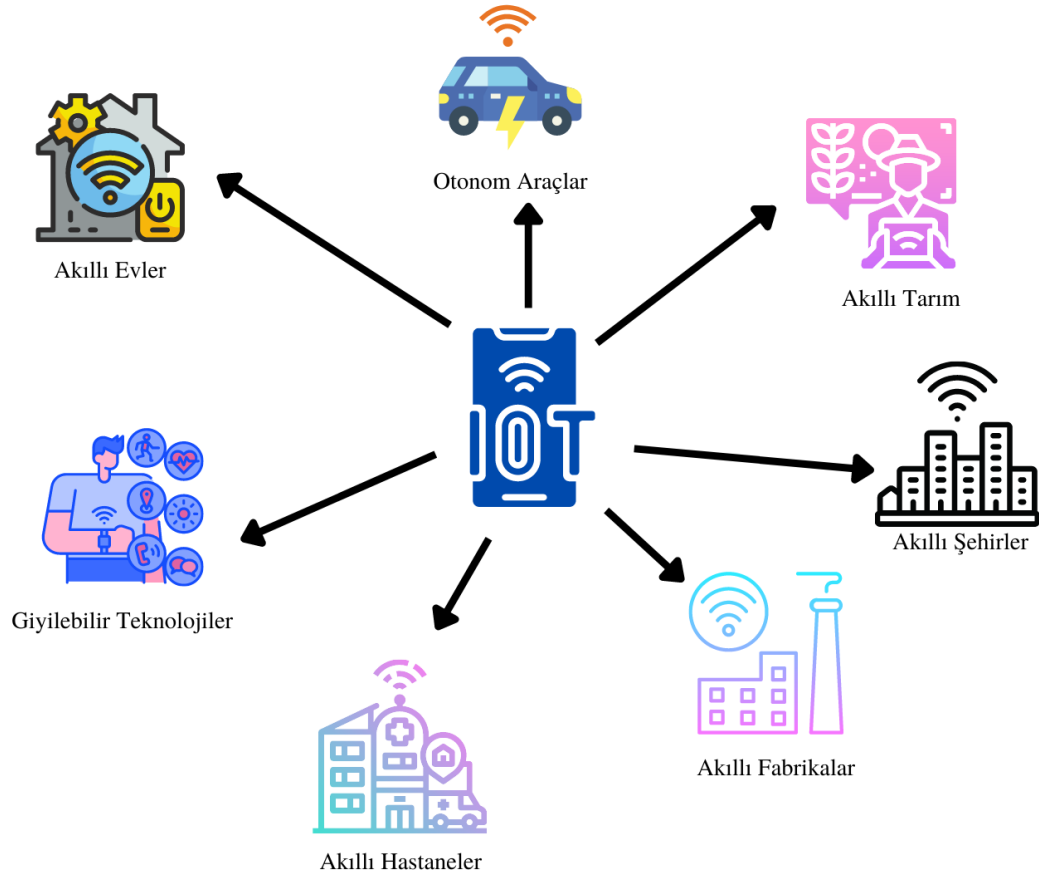
Yukarıda literatür çalışması yapılan araştırmalarda sunulduğu gibi, birçok proje yayınlanmıştır. Sulama sistemlerini kontrol eden, esas olarak mikro denetleyiciler ile bir dizi çevresel veri sensörü ile birleştirilen IoT çözümlerine yönelik bu uygulamaların, tarlalara

veya bahçelere yaymak için kullanılan sistem için büyük miktarda kablolama yapılması nedeniyle çeşitli problemlere sahiptir. Tüm bu projeler, kullanıcı konforu ve su tasarrufu dahil olmak üzere bahçe veya tarım alanı verimliliğini artırmak için toplanan verileri kullanır, ancak gerçek bir senaryo (makine öğrenmesi, yönetim senaryosu) uygulama yeteneğinden yoksundur.

Bu tez çalışmasında; tarımsal sulamada, su kullanımının verimli hale getirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, bitki cinsine özel sulama programı oluşturmuştur. Biz bu sisteme, seçici sulama sistemi ismini verdik. Seçici sulama sistemi, bitkiye özgü sulama programı oluşturularak, nesnelerin interneti tabanlı ve makine öğrenmesine dayalı bir sistem tasarımı içinde barındırmaktadır. Toprak nem verileri Kablosuz sensör ağ (WSN) tabanlı sistemi ile toplanacaktır. Seçici Sulama Sisteminin (SSS) karar verme mekanizmasına yardımcı olarak, FAO CROPWAT programı tarafında bitkilere özgü oluşturulan sulama suyu verileri kullanılacaktır. Elde edilen veriler doğrultusunda, bitkiye özgü sulama suyu miktarı, regresyon algoritmaları uygulanarak tahmin edilir. Makine öğrenmesi ile elde edilen veriler NodeMCU işlemcisine gönderilerek suyun geçişine izin veren Selenoid Valflerin kontrolü sağlanır. Sistemde damla sulama yöntemi kullanılacaktır. Çalışmamızın enerji ihtiyacı Fotovoltaik (FV) sistemden elde edilecektir.

2.1 Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti” terimi, araştırmacı Kevin Ashton tarafından icat edildi. Ashton, nesnelerin, radyo frekans tanımlama teknolojisi (RFID) aracılığıyla internete nasıl bağlanacağını araştıran bir ekibin üyesiydi. "Nesnelerin İnterneti" tabirini ilk olarak 1999 yılındaki bir sunumda kullandı ve teknoloji literatüründe ki yerini aldı.(Gökrem & Bozoklu, 2016)



Şekil 2.1. Nesnelerin interneti (IoT) uygulama alanları

Nesnelerin İnterneti (IoT), en basit ifadeyle internete bağlı tüm bilgi işlem cihazlarını temsil eder. IoT, web ağı yoluyla birbirleriyle iletişim kurabilen, veri alışverişi yapabilen evrensel bir makine ve cihaz ağı oluşturan yeni bir teknolojidir. Kablosuz cihazlar, cep telefonları, akıllı giyilebilir teknolojiler, endüstriyel makineler, hareket sensörleri ve daha fazlası gibi internetle iletişim kurabilen tüm bu donanımlar, IoT'nin bir parçası olabilirler (Şekil 2.1) (Poonia ve ark., 2021).

IoT' nin asıl elemanları sensörler ve aktuatörlerdir. Genel olarak bakıldığında, bunlar internete bağlı cihazlardır, dolayısıyla her birinin bir kendine özgü IP adresi vardır. Örneğin bir fabrikadaki otonom hareket eden robotlardan/makinelerden, binalardaki sıcaklığı veya

nemi izleyen basit sensörlere kadar geniş bir çeşitlilik gösterirler. Cihazların topladığı tüm verileri faydalı kılmak için, her biri verinin işlenmesi, filtrelenmesi ve analiz edilmesi gerekir (Özdemir ve ark., 2018).

IoT cihazlarından toplanan veriler bir ağ yapısı içerisinde yer alan veri depolama alanlarına iletilir. Verilerin taşınması, kablolu veya kablosuz ağlar üzerinde gerçekleştirilebilir. IoT cihazlarından toplanan veriler internet üzerinden bir veri merkezine veya depolama ve yapay zekaya sahip bir buluta depolama alanına gönderilebilir (Poonia ve ark., 2021).

IoT cihazlarından toplanan verilerin düzenlenmesi ve işlenmesi sanal sunucular veya veri merkezlerinde gerçekleştirilebilir. Ancak Endüstriyel ortamlardaki bulunana kritik konumda IoT cihazların olması durumunda, cihazdan uzak bir veri merkezine veri gönderme çok fazla risk içerebilir. Verilerin gönderilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi ve elde edilen sonucun tekrar IoT cihaza iletilmesi için geçen süre gidiş-dönüş süresi çok uzun sürebilir. Bu gibi durumlarda, uç aygıt olarak tanımlanan IoT cihazların topladığı verilerin, analiz edebileceği ve makine öğrenmesi ile yanıtları biçimlendirebileceği, nispeten yakın fiziksel mesafe içinde yer alan uç bilgi işlem merkezleri devreye girebilir. Bu sayede veri iletim hızı en aza indirilerek hataların ortadan kaldırılması sağlanabilir (Sirisha & Sahitya, 2021).



Şekil 2.2. Nesnelerin interneti (IoT) uygulama alanları

Nesnelerin interneti (IoT) Şekil 2.2' de görüldüğü gibi temel de 4 katmandan meydana gelmektedir. Çevre Sensörler katmanı, gerçek dünyadan algılanan fiziksel veriye bağlı olarak eylemler gerçekleştirilir. Bu katmanda çeşitli sensörler bulunmaktadır. Her bir sensörün çalışma mantığı birbirinden farklı olabilir. Ancak temelde hepsinin ortak özelliği ağa bağlanabilir olmasıdır. Doğrusal veya açısal hareket sensörleri, nem, ışık, sıcaklık, kamera, ultrasonik vb. çevresel sensörler, manyetik, GPRS, GSM vb. konum sensörleri örnek verilebilir. IoT sistemlerde Haberleşme Katmanı, çevre sensör katmanından alınan bilginin işleme amacıyla hesaplama birimine gönderilmesini sağlayan sensör ile aktuatör arasındaki haberleşme kanalıdır. Bilgi işleme katmanı, Uygulama ve Geribildirim katmanının talepleri doğrultusunda, çevre sensörlerden gelen verilerin aktuatörler aracılığı ile verilerin işlenmesi ve saklaması işlemini gerçekleştirir. Sanal Sunucular, Bulut bilişim, API'ler, web servisler, vb. bu katmanda yer almaktadır. Uygulama ve geribildirim katmanı ise IoT sistemlerde en üst katman olarak yer almakta ve kullanıcı makine ilişkisinin yürütmektedir. Akıllı tarım, akıllı şehirler, otonom araçlar, giyilebilir teknolojiler, kişisel bakım, sağlık vb. uygulamalar bu katmanda yer almaktadır (Taş & Kiani, 2021).

2.1.1 IoT cihazların tarımsal alanda kullanımı

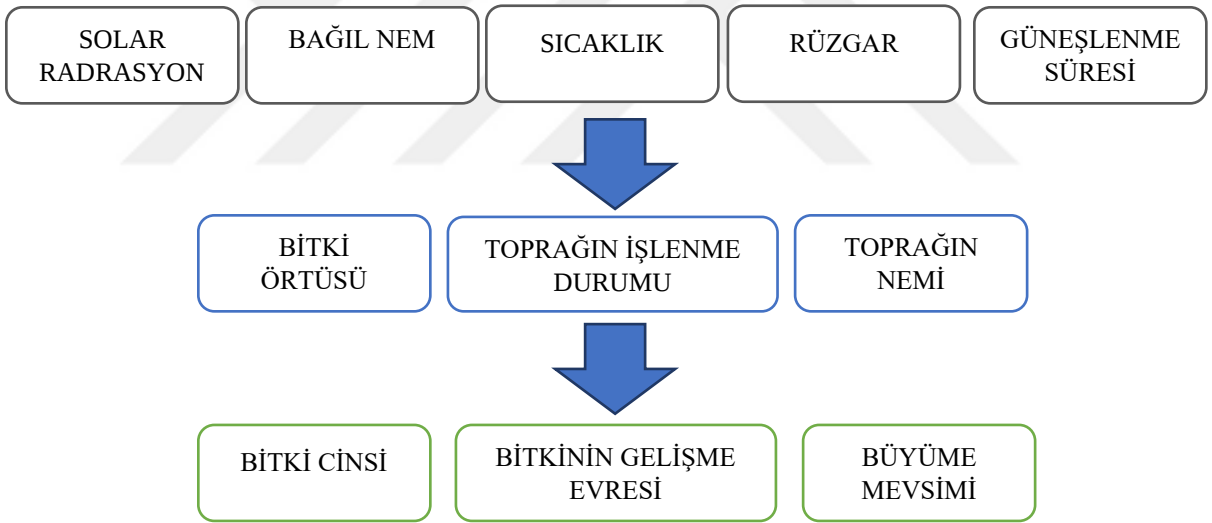
Gelişen tarım teknolojilerinde IoT uygulamalarına sıklıkla karşılaşmaktayız. IoT cihazlarla desteklenen akıllı tarım uygulamaları;

- Bitki sağlığının ve meyvelerdeki şeker oranının kontrolü için toprak neminin ve gövde çapının izlenmesi,
- Besi yemlerinin üretiminde oluşabilecek mantar ve mikrobik maddeleri önlemek için yonca, ot ve samanlardaki nem ve sıcaklık seviyelerinin kontrolü,
- Seralardaki mikro-iklim koşullarının kontrolüyle tarımsal ürün kalitesini ve üretimini maksimize etmeye yönelik çalışmalar,
- Su kaynaklarının verimli kullanılması için bitkiye özgü sulama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi,
- Zirai don, kar, sağanak yağış, sel, kuraklık ve rüzgâr değişikliklerinin tahmin edilmesi ve hava koşullarının incelenmesi uygulamalarıdır. (Gökrem & Bozoklu, 2016).

2.2 Bitki Su Tüketimi (ETc)

Temelde bitki su tüketimi (ETc) topraktan ve bitkiden buharlaşmayı ifade etmektedir. Bitkinin su tüketimi periyodik olarak günlük, haftalık sürelerde hesaplanabildiği gibi aylık ve yıllık periyotlarda da hesaplanabilir. Bitki su tüketim bilgisi, kısa süreli bitkinin sulama aralıklarının ayarlanması için kullanılmaktadır. Uzun dönem bitki su tüketim değerlerinden, sulama alanlarındaki ortalama bitki su tüketimlerinin hesaplanması için faydalanılmaktadır. Bu nedenden dolayı da kısa süreli bitki su tüketimi hesapları uzun süreli bitki su tüketim hesaplarından daha kesin sonuçlar verirler (Beyazgül ve ark., 2017).

Bitki su tüketimini etkileyen faktörler, (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. Bitki su tüketimini etkileyen faktörler

Bitki su tüketimi, sıcaklık, rüzgâr, solar radyasyon ve güneşlenme süresi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bağıl nem ile bitki su tüketimi ters orantılıdır. Toprak yüzeyinde nem miktarı arttıkça buna bağlı olarak buharlaşma miktarı artacaktır. Toprak yüzeyinde buharlaşmasını artırması bitki su tüketimini de artıracaktır (Köksal, 2018). Bitki büyüdükçe yaprak yüzeyi artacak ve terleme miktarı da yaprak yüzeyine bağlı olarak artacaktır. Ancak

geniş yaprak yüzeyine sahip bitkilerde, yaprak yüzeyinde ki artış toprak yüzeyinde daha geniş bir alanı gölgeleyeceği için toprak yüzeyindeki buharlaşma miktarı azalacaktır. (Kırnak, 2011). Yaprak genişliği ve birim alandaki yaprak gözenek sayıları bitki cinslerinde farklılık gösterdiği için bitki su tüketim değerleri de bitki cinslere göre büyük farklılık gözlenir (Serdaroglu ve ark., 2020).

Bitkinin büyüme evrelerine göre bitki su tüketim değerleri de farklılık gösterir. Bitkinin toprağa ekiminden sonra ki ilk evrede bitki su tüketimi en az düzeydedir. Bitkinin büyümesiyle birlikte bitki su tüketimi değerleri artmaya başlar ve bitkinin son dönemi olan hasat dönemine kadar bitki su tüketimi en yüksek seviyeye ulaşır. Hasat döneminde bitki su tüketimi hızlı bir şekilde düşer. Büyüme mevsimi uzun olan bitkilerin, bitki su tüketim değerleri, kısa olan bitkilere nazaran daha fazladır (Beyazgül ve ark., 2017).

2.3 Evapotranspirasyonun Meteorolojik Veriler ile Hesaplanması

Evapotranspirasyon (ET) terimi, yaygın olarak kara yüzeyinden atmosfere su kaybının iki sürecini, buharlaşma ve terlemeyi tanımlamak için kullanılır. Buharlaşma, sıvı suyun su buharına dönüştürüldüğü (buharlaşma) ve toprak yüzeyi, ıslak bitki örtüsü, kaldırım, su kütleleri vb. kaynaklardan uzaklaştırıldığı süreçtir. Terleme, sıvının buharlaşmasından oluşur (Kaya, 2010).

Buharlaşma ve terleme aynı anda meydana gelir. Her iki süreç de güneş ışınlamına, hava sıcaklığına, bağıl neme (yani buhar basıncı açığı) ve rüzgâr hızına bağlıdır. Terleme hızı ayrıca ürün özelliklerinden, çevresel yönlerden ve yetiştirme uygulamalarından da etkilenir. Farklı bitki türleri farklı terleme oranlarına sahip olabilir. Terleme değerlendirilirken sadece mahsulün türü değil, aynı zamanda mahsul gelişimi, çevre ve yönetim de dikkate alınmalıdır. Örneğin, mahsul küçük olduğunda, toprak yüzeyinin çok az bir kısmı bitki tarafından kaplandığından, ağırlıklı olarak toprak buharlaşmasıyla su kaybedilir, ancak mahsul iyi geliştiğinde ve toprağı tamamen kapladığında, terleme ana süreç haline gelir.(Ritzema, 1994)

Evapotranspirasyon genellikle iklimsel veriler kullanılarak hesaplanır. Bunun başlıca sebebi toprak veri değerlerinin zor elde edilmesi ve doğruluk payının düşük olmasıdır. Bitki su tüketimlerinin hesaplamasında iklimsel veriler kullanılarak birçok formül türetilmiştir.

Türetilen bu formüllerden sadece belirli mevsimsel durumlar oluştuğunda hesaplama yapabilmekte, istenilen mevsimsel koşullar oluşmadığında hesaplama yapılamamaktadır. Dünya Tarım Örgütü 1990 yılında yaptığı toplantı neticesinde alınan kararla bitki su tüketim hesaplamalarında kullanılmak üzere Penman-Monteith yönteminin kullanılmasının tavsiye edilmesine karar vermiştir(Tahm, 2010).

Türkiye’deki tarımsal sulama projelerinin tasarımında 2013 yılına kadar Blaney-Criddle Yöntemi kullanılmıştır. 2013 yılından sonra Türkiye’deki sulama kaynaklarının sürdürülebilir olması için sulama projelerinin planlanması ve bitkilerin su ihtiyaç miktarlarının belirlenmesinde FAO Penman-Monteith Yöntemiyle hesaplama yapılmıştır. Ülke genelindeki 256 adet meteoroloji istasyonunda FAO Penman-Monteith Yöntemiyle hesaplama yapılabilmesi için gerekli düzenlemeler gerçekleştirilmiştir (Beyazgül et al., 2017).

FAO Penman-Monteith Yöntemi, bitki su ihtiyacının belirlenmesi amacıyla kullanılan diğer yöntemlerin eksiklerini gidermekte ve kullandığı verilerle bitkiler için gerçek su tüketimi miktarını istikrarlı bir şekilde hesaplayabilmektedir (Domínguez-Niño ve ark., 2020).

Gerçek Penman – Monteith eşitliği üzerinde yapılan düzenlemeler ile (yüzey direnç ve aerodinamik eşitliklerinin kombine edilmesi), elde edilen FAO Penman- Monteith Eşitliği 2.1’ de olduğu gibi yazılır (Domínguez-Niño ve ark., 2020).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2.1)$$

ET_o: Referans Evapotranspirasyon [mm/gün],

R_n : Mahsul yüzeyindeki net radyasyon [MJ/m²/gün],

G : Toprak ısı akısı yoğunluğu [MJ/m²/gün],

T: 2 m yükseklikte hava sıcaklığı [°C],

u_2 : 2 m yükseklikte rüzgâr hızı [m/s],

e_s : Doymuş buhar basıncı [kPa],

e_a : Gerçek buhar basıncı [kPa],

$e_s - e_a$: Doygunluk buhar basıncı açığı [kPa],

Δ : Eğim buhar basıncı eğrisi [kPa/°C],

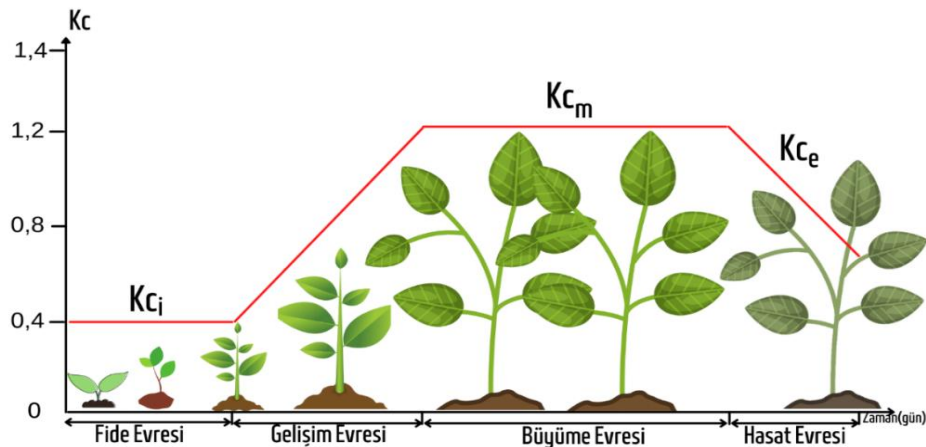
γ : Psikometrik sabit [kPa/°C].

Çalışmamızdaki temel amaç her bitkiye özgü ayrı bir sulama programı oluşturmaktır. Bunun için Penman- Monteith Yöntemi ile hesaplanmış olan referans bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon) bilgisi kullanan ve Dünya Tarım Örgütü tarafında geliştirilen CROPWAT 8.0 program verileri baz alınacaktır. CROPWAT programı, bitki katsayısı değerlerini kullanırken sulama suyu miktarın hesaplanmasında Penman- Monteith Yöntemi kullanmaktadır.

2.4 Bitki Katsayısı (K_c)

Bir bitkinin büyüme dönemindeki herhangi bir zamanında ki gerçek su tüketim değerinin, aynı büyüme dönem içerisinde herhangi bir kıyas bitkisinin (kıyas bitki=çim bitkisi) su tüketimine oranı olarak tanımlanır (Cetin, 2022).

Bir bitkinin, büyüme dönemindeki bitki katsayı değerlerinin belirlenmesi Şekil 2.4.' de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Bir bitkinin büyüme dönemi ve katsayıları (K_c)

Bitki katsayısı (Kc) dönemleri;

1.Fide Evresi: Bitkinin toprağa dikim tarihinden başlar ve bitkinin toprak kapatma seviyesi %10'a ulaştığında sona erer. Fide evresinde Kc değeri genellikle sabit ve en alt düzeydedir (Kaya, 2010).

2.Gelişim Evresi: Bitkinin büyüyerek toprak yüzeyini kapatma seviyesi yaklaşık %10 olduğunda başlar ve bitkinin toprağı örtme derecesi yaklaşık %70-80 olduğunda sona erer. Bu evrede bitki katsayısı asgari değerden başlar ve gittikçe artarak azami değere ulaşır(Kaya, 2010).

3.Büyüme Evresi: Büyüme evresini ortalarına rastlayan mevsimdir. Toprak yüzeyinin azami düzeyde örtüldüğü bitkinin gelişim evresinin sonunda başlar ve bitkinin olgunlaşmasının ve meyve başlangıcına kadar devam eder. Bu evrede bitki katsayısı (Kc) genellikle aynı kalır ve en üst değerdedir (Kaya, 2010).

4.Hasat Evresi: Üçüncü evreden sonra bitki hasadına kadar olan evredir. Hasat evresinde bitki katsayısı (Kc) maksimum değerden sonra giderek azalır. (Kaya, 2010).

Tablo 2.1.' de bazı bitkilerin uygulama alanı olan Tokat/Turhal bölgesine özgü bitki katsayısı (Kc) değerleri yer almaktadır.

Tablo 2.1. Turhal bölgesine ait bazı bitkilerin Kc değerleri (Beyazgül ve ark., 2017)

Bitki Türü	Kci	Kcm	Kce
Armut	0,53	0,94	0,7
Biber	0,5	1,05	0,89
Domates (Salça)	0,47	1,15	0,8
Domates (Öğütülmüş)	0,53	1,2	0,79
Domates (Temel)	0,54	1,15	0,79
Lahana	0,53	1,02	0,92

Tablo 2.2. (Devam) Turhal bölgesine ait bazı bitkilerin Kc değerleri (Beyazgül ve ark., 2017)

<i>Bitki Türü</i>	<i>Kci</i>	<i>Kcm</i>	<i>Kce</i>
Ispanak	0,63	1	0,95
Fasulye	0,44	1,05	0,9
Ayçiçeği	0,41	1,15	0,35
Şeker mısır	0,36	1,2	0,33
Salatalık (ilk ürün)	0,47	1	0,75
Salatalık (ikinci ürün)	0,51	0,99	0,72
Elma	0,53	0,95	0,72
Erik	0,6	0,95	0,72
Çilek	0,46	0,85	0,74
Karpuz	0,38	1	0,75

Bitki su Tüketimi (ET_c) “Eşitliği 2.2 ‘deki gibi” yazılmaktadır (Beyazgül ve ark., 2017).;

$$ET_c = ET_o K_c \quad (2.2)$$

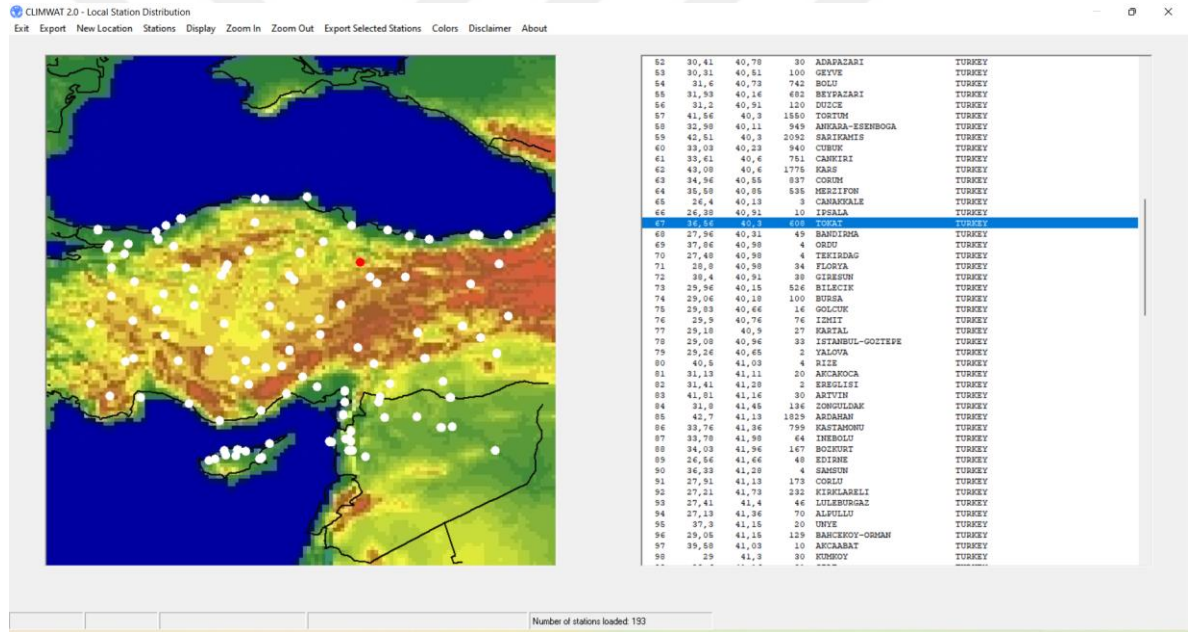
ET_c : Bitki su tüketimi (mm day-1)

K_c : Bitki katsayısı

2.5 FAO Cropwat 8.0 Programı

Cropwat 8.0, Dünya Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilmiş ve bölgesel iklim verileri (yağış, buharlaşma, sıcaklık, solar radyasyon vb.) ile bitki verileri kullanılarak bitkiye özgü hesaplanan su miktarını aylık veya günlük program haline dönüştüren bir yazılımdır.

Cropwat 8.0 bitki su tüketiminin miktarının hesaplanmasında FAO56 Penmann-Monteith hesaplama yöntemini esas alınmaktadır. Sulamanın yapılacağı alandaki mevsimsel veriler o bölgedeki meteoroloji müdürlüklerinden alınabileceği gibi, yine Şekil 2.5'te FAO tarafından yayınlanan Climwat 2.0 yazılımı kullanılarak da elde edilebilir (Rose ve ark., 2020). Cropwat 8.0 yazılımı aracılığı ile bitki, toprak verileri ve bölgeye özgü mevsimsel veriler programda gerekli yerlerine girilerek yetiştirilecek bitkiye istenilen aralıklarla (günlük veya aylık) verilmesi gereken su miktarları belirlenebilmektedir. (<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>, 20/03/2022)



Şekil 2.5 Climwat 2.0 bölgesel iklim veri programı

Climwat 2.0 programı aracılığı ile Tokat iline ait ;

- °C cinsinden ortalama günlük maksimum sıcaklık,
- °C cinsinden ortalama günlük minimum sıcaklık,
- % olarak ortalama bağıl nem,
- Km/gün cinsinden ortalama rüzgâr hızı,
- Günde ortalama güneşlenme saati,
- MJ/m2/gün cinsinden ortalama güneş radyasyonu,

- Aylık yağış, mm/ay,
- Aylık etkili yağış, mm/ay olarak,
- Penman-Monteith yöntemiyle mm/gün olarak hesaplanan referans Evapotranspirasyon verileri alınabilmektedir.

Climwat 2.0 programı aracılığı ile Tokat iline ait iklimsel veri dosyası Tokat.pen uzantısıyla bilgisayara kaydedildi. Bu veri dosyası Şekil 2.6’ da görüldüğü gibi Cropwat 8.0 programında bölgesel iklim veri tanımlamasında kullanılmıştır.

Monthly ETo Penman-Monteith - D:\yüksek lisans\TOKAT.pen

Country: Location 67 Station: TOKAT

Altitude: 608 m. Latitude: 40.30 °N Longitude: 36.56 °E

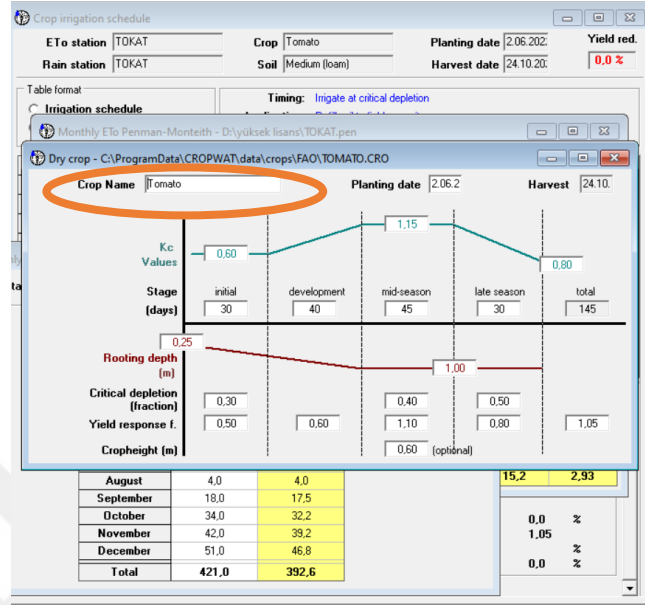
Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January	-2.2	5.7	77	190	3.5	6.6	0.82
February	-0.6	8.2	69	181	4.0	8.9	1.23
March	2.4	12.9	62	190	4.8	12.4	2.04
April	6.7	18.6	59	190	6.4	17.1	3.20
May	10.0	23.0	62	173	7.7	20.7	4.03
June	12.7	26.4	60	164	9.9	24.3	4.97
July	15.0	28.4	57	181	10.7	25.1	5.49
August	14.8	29.0	57	173	10.3	22.9	5.16
September	11.6	26.2	58	156	8.8	18.1	3.92
October	7.6	20.4	64	121	6.6	12.2	2.27
November	3.5	13.9	76	130	4.9	8.1	1.21
December	0.2	8.1	77	164	3.5	6.0	0.85
Average	6.8	18.4	65	168	6.8	15.2	2.93

Stagelabel

Reductions in ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Yield response factor	0.50	0.60	1.10	0.80	1.05	
Yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Cumulative yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%

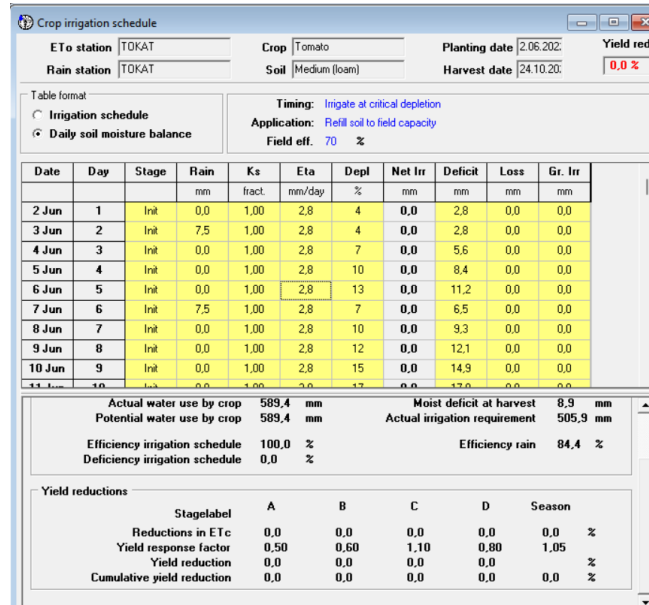
Şekil 2.6. Cropwat 8.0 programın tarafında oluşturulan aylık bölgesel iklim verileri

Cropwat 8.0 programında bitkiye özgü sulama programı oluşturabilmek için Şekil 2.7’ de görüldüğü gibi bitki tanımlaması yapılmıştır. Bitkiye özgü veri tanımlaması Cropwat programının içerisinde hali hazırda bulunmaktadır. Şekil 2.7’de program penceresinde yer alan “Crop Name” alanına tıkladıktan sonra açılan pencereden sulama yapılacak bitki verisi seçimi yapılır. Bu sayede seçilen bitkiye ait Bitki Katsayı değerleri oluşturulur.



Şekil 2.7. Bitki katsayı değerlerinin hesaplanması

Şekil 2.8’ de Tokat bölgesine ait Domates bitkisi için bir sulama programı Cropwat 8.0 programı tarafında oluşturulmuştur.

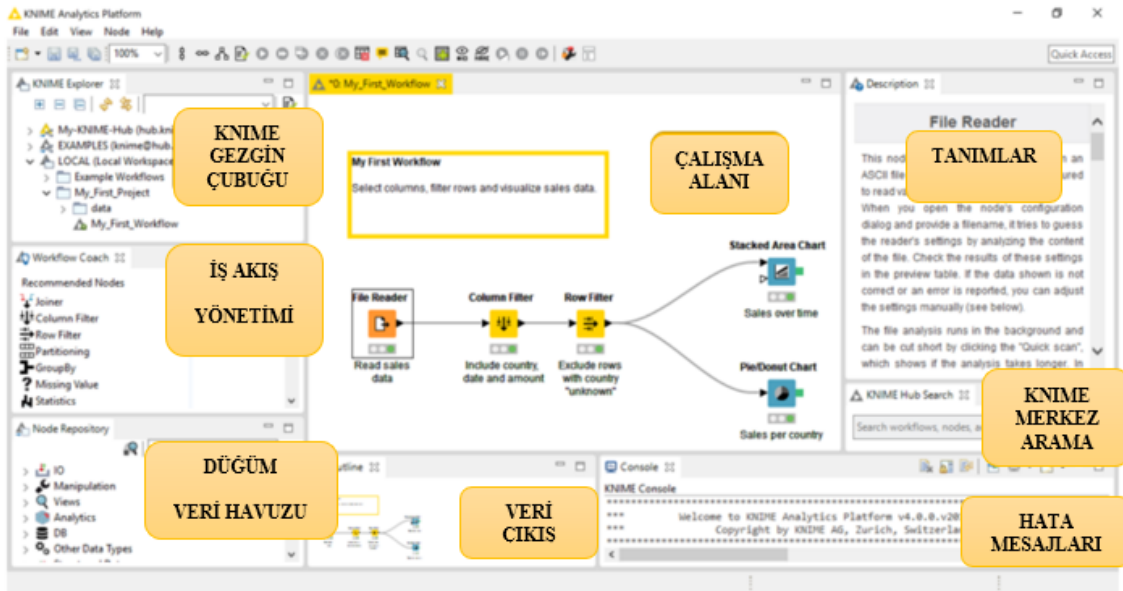


Şekil 2.8. Bitkinin ekildiği bölgeye özgü sulama suyu miktarının oluşturulması

2.6 Konstanz Information Miner (Kntme) Programı

Makine öğrenimi ve yapay zekâ artık birçok endüstrinin ve günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline geldi. Bir makine öğrenimi modeli oluşturmak için lineer cebir, istatistik ve daha da önemlisi makine öğrenmesi ile ilgili tüm algoritmalar ve teknikler gibi matematiğin bazı temel kavramlarını anlamamız gerekir. Temel kavramları bitirmiş olsanız bile, bir modeli uygulamak için ayrıca Python veya R gibi programlama dillerini de bilmeniz gerekir(Berthold ve ark., 2009).

Knime, 2004 yılında Almanya Konstanz Üniversitesi'nde geliştirilen Konstanz Information Miner'ın kısaltmasıdır. Java ile yazılmış açık kaynaklı bir yazılımdır. Knime, iş akışını oluşturmak ve yürütmek için Düğümler adı verilen önceden tanımlanmış bileşenlere güvenir. Ana işlevleri, makine öğrenimi, veri madenciliği ve veri analizi ilgili görevleri içerir (Dietz & Berthold, 2016).



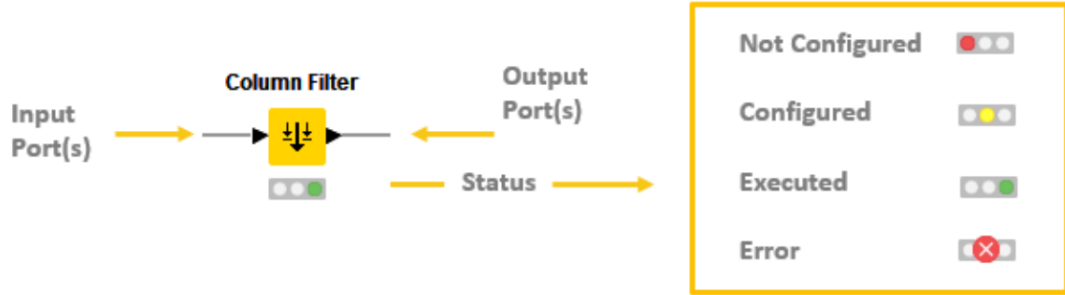
Şekil 2.9. Knime Programı Çalışma Penceresi

KNIME Programı aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- KNIME Gezgin Çubuğu: Mevcut iş akışlarına ve iş akışına genel bakış, etkin durumdaki gruplar
- İş Akışı Yönetimi: Geniş KNIME kullanıcıları topluluğu tarafından oluşturulan iş akışlarına dayalı olarak düğüm önerilerini listeler.
- Düğüm Veri Havuzu: KNIME Platformunda ve yüklediğiniz uzantılarda bulunan tüm düğümler burada listelenir. Düğümler kategorilere göre düzenlenir, ancak düğümleri bulmak için düğüm deposunun üstündeki arama kutusunu da kullanabilirsiniz.
- İş Akışı Düzenleyicisi: O anda etkin olan iş akışını düzenleme penceresi.
- Tanımlar: Etkin olan iş akışının veya seçili bir düğümün (İş Akışı Yöneticisi veya Düğüm Veri Havuzunda) açıklaması.
- Veri Çıkışı: Şu anda etkin olan iş akışına genel bakış.
- Hata Mesajları: Neler olduğunu gösteren yürütme mesajlarını gösterir.(Warr, 2012)

2.6.1 Düğüm sistemi

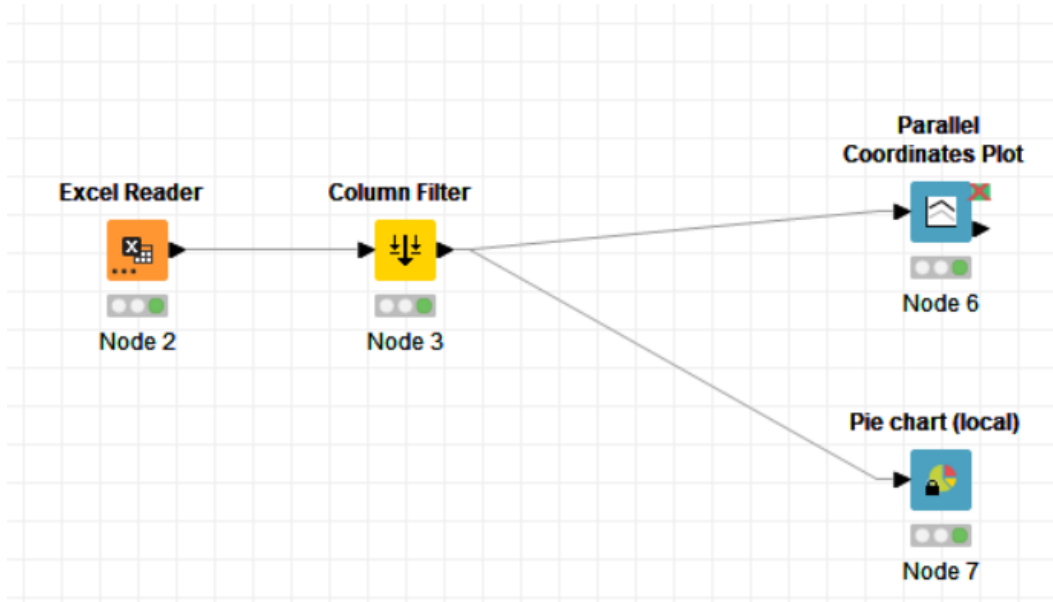
KNIME Platformunda, bireysel görevler düğümlerle temsil edilir. Her düğüm, Şekil 2.6.' da gösterildiği gibi, giriş ve çıkış bağlantı noktalarının yanı sıra bir durumla birlikte renkli bir kutu olarak görüntülenir. Giriş(ler) düğümün işlediği verilerdir ve çıkış(lar) sonuç veri kümeleridir. Her düğümün, bir yapılandırma iletişim kutusunda ayarlayabileceğimiz belirli ayarları vardır. Bunu yaptığımızda, her bir düğümün altında bir trafik ışığı ile gösterilen düğüm durumu değişir. Düğümler, dosyaları okuma/yazma, verileri dönüştürme, modelleri eğitme, görselleştirme oluşturma vb. dahil olmak üzere her türlü görevi gerçekleştirebilir.(Berthold ve ark., 2009)



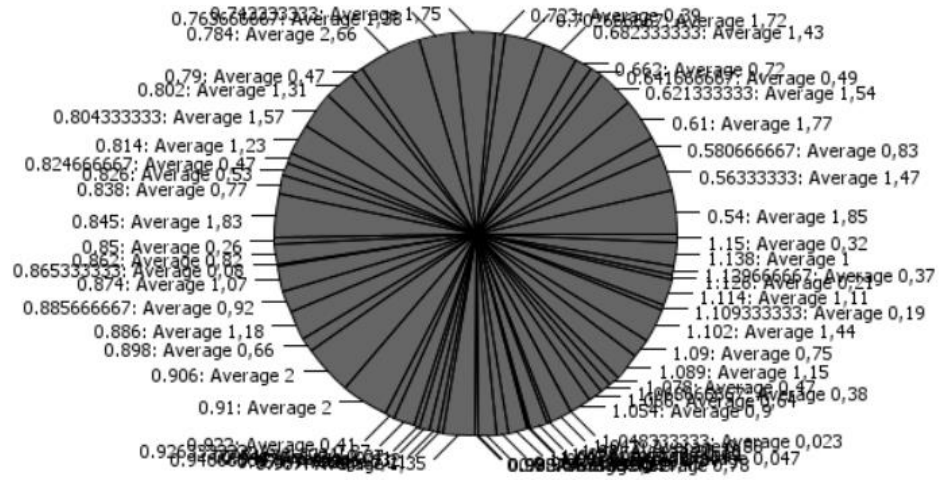
Şekil 2.10. Düğüm bağlantı noktaları ve düğüm durumu (Warr, 2012)

2.6.2 Knime programında iş akışı oluşturmak

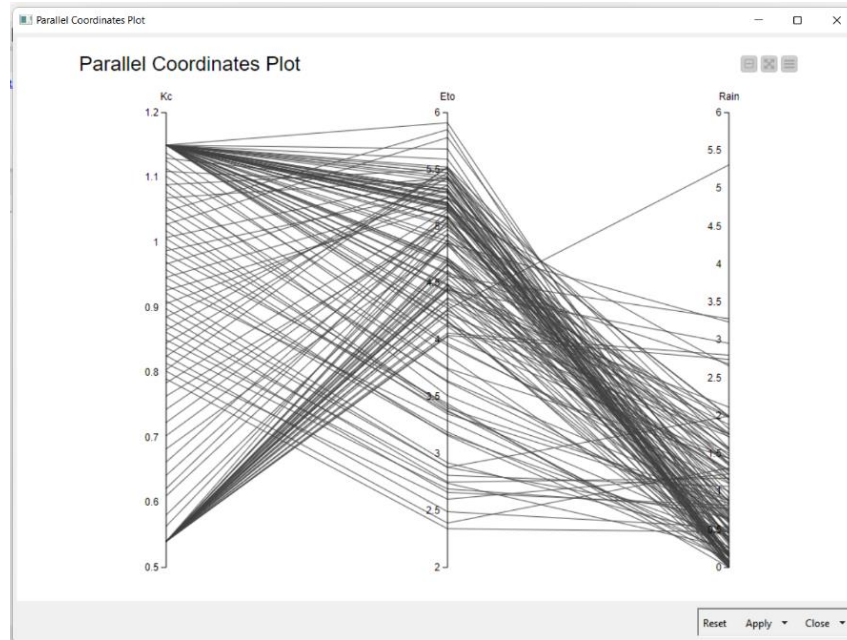
Şekil 2.11 'de ki örnek iş akışı, bir Excel dosyasındaki verileri okur, sütunların bir alt kümesini filtreler, bazı satırları filtreler ve verileri iki grafikte görselleştirir: Şekil 2.12'de görebileceğiniz bir çıkış pasta grafiği ve bir pasta grafiği: bir bitkiye ait Bitki Katsayı (K_C) değerlerinin yıl içerisindeki dağılımını gösteriyor. Şekil 2.13'de bir bitkinin Bitki Katsayı (K_C) değeri ile yıllık yağış değerlerinin paralel koordinat sistemindeki durumunu göstermektedir.



Şekil 2.11. Örnek Knime Çalışması



Şekil 2.12. Çıkış Pasta Grafiği



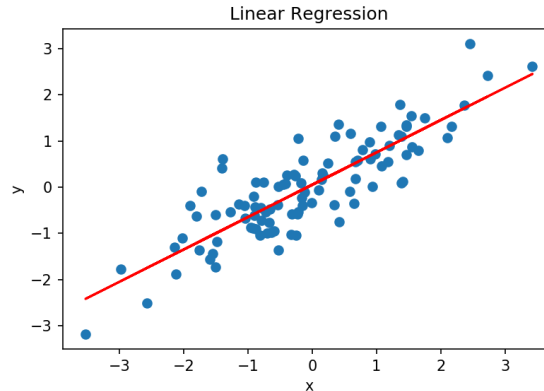
Şekil 2.13. Çıkış Paralel Koordinat Grafiği

2.7 Makine Öğrenimi ve Regresyon Modellerinin İncelenmesi

Makine öğrenimi (Machine Learning (ML)) eğitim verisi (deneyim) ve test verisi (öğrenme) olmak üzere iki farklı veri grubu ile otomatik yeni verilerin üretilmesi üzerine yapılan algoritma çalışmalarıdır (El Naqa & Murphy, 2015). Makine öğrenimi algoritmalarının genelinde otomatik kararlar oluşturulabilmesi için eğitim verileri olarak bilinen bir örnek veri kümesinin hazırlanması gerekmektedir (Atalay & Çelik, 2017). ML alanında yapılan çalışmalarda en önemli amaç eğitim verilerine dayalı olarak daha önce bilinmeyen verilerin doğru bir şekilde üretilmesini sağlayacak algoritmaların oluşturulmasıdır. Bu nedenle, makine öğrenmesi için seçilecek olan öğrenme modelinin uygulanacak olan sisteme doğru bir şekilde seçilmesi ve test edilmesi gerekmektedir(<http://medium.com>, 12.03.2022). Farklı amaçlara hizmet eden birçok ML algoritmaları vardır. Bir işletmeye gelen müşterilerin harcama tahminlerinden tutun, istenmeyen e-posta, tarımsal alanda akıllı sulama, bitki hastalığı ve benzeri birçok alanda makine öğrenme algoritmaları kullanılmaktadır (Rong & Bao-Wen, 2018).

2.7.1 Doğrusal (Lineer) regresyon modeli

Doğrusal regresyon en yaygın makine öğrenme regresyonlarından birisidir. Doğrusal regresyonda, eğitim verisi olarak belirlenen X verilerine dayalı olarak hedef değişken verileri olan Y verilerini tahmin ediyoruz . Şekil 2.14’de hedef değişken Y verileri ile eğitim verisi X arasında lineer bir ilişki söz konusudur. (Verrelst ve ark., 2012) .



Şekil 2.14. Doğrusal regresyon modeli örnek çıkış grafiği (Niels,2019)

Doğrusal regresyon formülü:

$$Y = a + bX \quad (2.3)$$

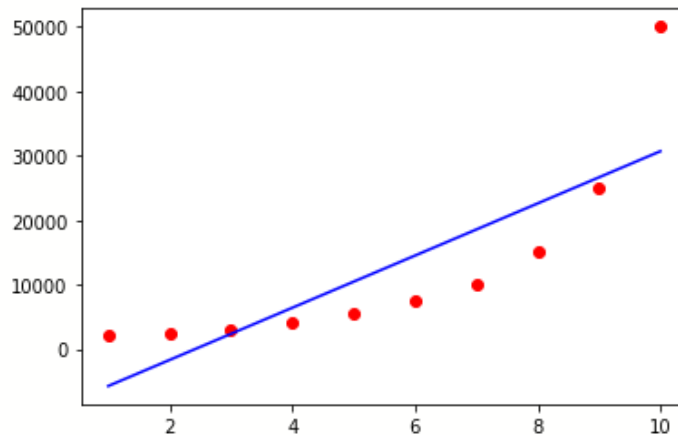
Doğrusal Regresyon modeli için Python Program örneği: (mertmekatronik.com, 14.04.2022)

Bu örnekte eğitim seviyesi ve maaş değerleri için bir lineer regresyon modeli çalışılmıştır. Amaç eğitim seviyesine uygun bir maaş tahmininde bulunabilmek.

```
#1.kutuphaneler

import numpy as np

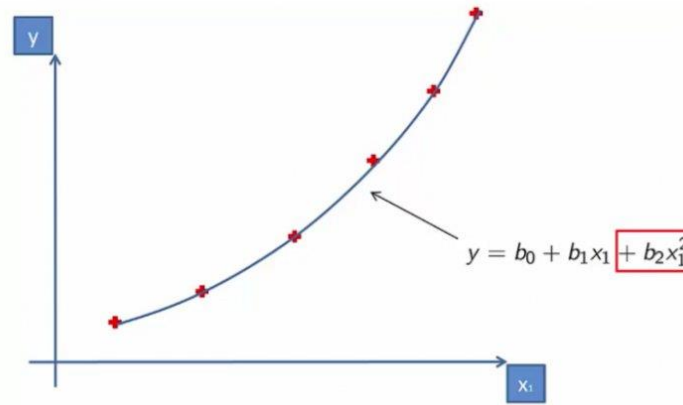
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
#2.Veri yukleme
veriler = pd.read_csv('/maaslar.csv')
x = veriler.iloc[:,1:2]
y = veriler.iloc[:,2:]
X = x.values
Y = y.values
#3.Linear regression
from sklearn.linear_model import LinearRegression
lin_reg = LinearRegression()
lin_reg.fit(X,Y)
#4.Bu kısmı yazarak verilerinizi görselleştirebilirsiniz.
plt.scatter(X,Y,color='red')
plt.plot(x,lin_reg.predict(X), color = 'blue')
plt.show()
```



Şekil 2.15. Lineer regresyon modeli örnek program grafik çıktısı

2.7.2 Polinom regresyon modeli

Bazı durumlarda makine öğrenmesi ile üretilen verilerin, test verileri ile doğrusal olmayan bir ilişkisi oluşabilir. Bu tarz durumlar ortaya çıktığında doğrusal regresyon yerine Polinom regresyonu modelini uygulamak makine öğrenmesi açısından daha iyi olacaktır. Polinom regresyonun Python programında uygularken öncelikle doğrusal regresyon modelinin uygulanması gerekmektedir. (Verrelst ve ark., 2012). Şekil 2.16’ da Polinom regresyon grafik modelinde hedef veri Y değişkeni ile, eğitim verisi X değişkeni arasındaki doğrusal olmayan bir ilişki söz konusu. Bu durumda makine öğrenme modeli uygulanırken Polinom regresyonunu tercih edilmelidir.



Şekil 2.16. Polinom regresyon modeli örnek çıkış grafiği (Yalçiner, 2020)

Polinom regresyonu formülü;

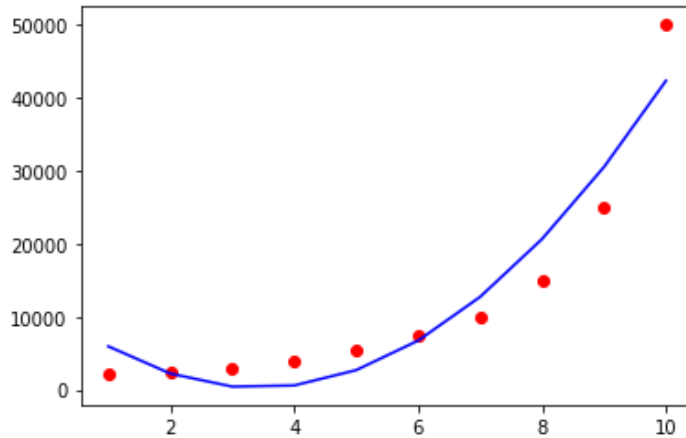
$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (2.4)$$

Polinom Regresyon modeli için Python Program örneği: (mertmekatronik.com, 14.04.2022)

Bir önceki örnekte, eğitim seviyesi ve maaş verileri arasında lineer regresyon modeli çalışıldı. Şekil 2.15’te yer alan grafikte maaş ve eğitim seviyesi arasında lineer olmayan bir

ilişki söz konusudur. Bu nedenle her iki değişken için bu sefer Polinom regresyon modeli uygulanmıştır.

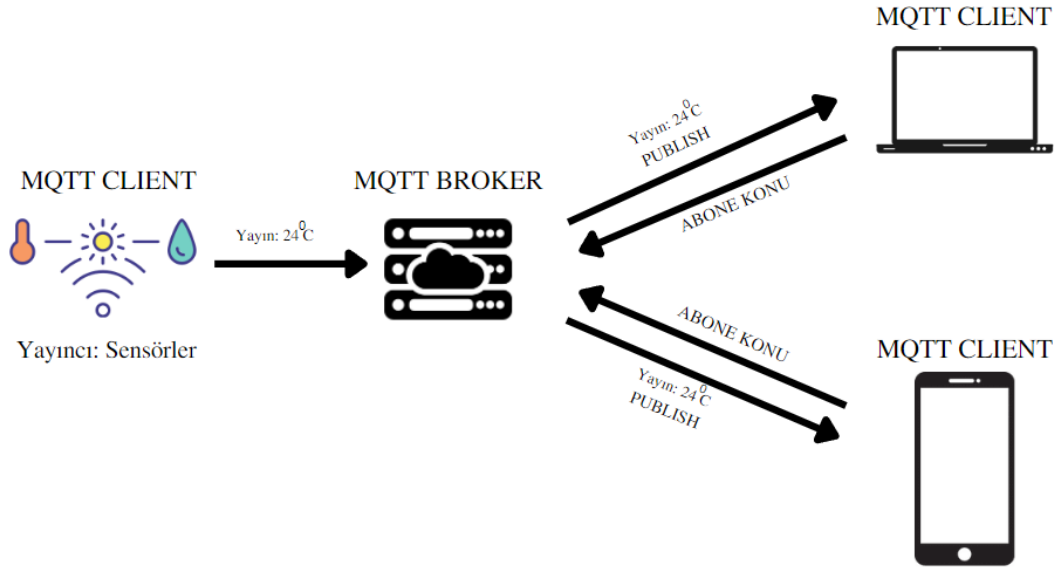
```
#1.Kutuphaneler
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
#2.Verii yuikleme
veriler = pd.read_csv('/maaslar.csv')
x = veriler.iloc[:,1:2]
y = veriler.iloc[:,2:]
X = x.values
Y = y.values
#3.Linear regression
from sklearn.linear_model import LinearRegression
lin_reg = LinearRegression()
lin_reg.fit(X,Y)
#4.Polynomial regression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
poly_reg = PolynomialFeatures(degree = 2)
x_poly = poly_reg.fit_transform(X)
lin_reg2 = LinearRegression()
lin_reg2.fit(x_poly,y)
#5.Bu kısmı yazarak verilerinizi görebilirsiniz.
plt.scatter(X,Y,color = 'red')
plt.plot(X,lin_reg2.predict(poly_reg.fit_transform(X)), color = 'blue'
)
plt.show()
```



Şekil 2.17. Polinom regresyon modeli örnek program grafik çıktısı

2.8 MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

MQTT, Message Queuing Telemetry Aktarımı anlamına gelir. İstemcilerin küçük bir kod ayak izine ihtiyaç duyduğu ve güvenilirmez ağlara veya sınırlı bant genişliği kaynaklarına sahip ağlara bağlı olduğu durumlarda kullanım için hafif bir mesajlaşma protokolüdür (Soni & Makwana, 2017). Öncelikle makineden makineye (M2M) iletişim veya Nesnelerin İnterneti bağlantı türleri için kullanılır (Thangavel ve ark., 2014). MQTT mimarisi Şekil 2.12’ de görülmektedir.



Şekil 2.18. MQTT mimarisi

MQTT, bir Üye Ol/ Yayınla topolojisi kullanarak TCP/IP üzerinde çalışır. MQTT mimarisinde iki tür sistem vardır: istemciler ve aracılar. Aracı, istemcilerin iletişim kurduğu sunucudur. Aracı, müşterilerden iletişimlerini alır ve bu iletişimlerini diğer müşterilere gönderir. İstemciler birbirleriyle doğrudan iletişim kurmazlar, bunun yerine aracıya bağlanırlar. Her müşteri bir yayıncı, bir abone veya her ikisi olabilir (Khan ve ark., 2021).

MQTT, olaya dayalı bir protokoldür. Periyodik veya devam eden bir veri iletimi yoktur. Bu, iletimi minimumda tutar. Bir istemci yalnızca gönderilecek bilgi olduğunda yayınlar ve bir aracı yalnızca yeni veriler geldiğinde abonelere bilgi gönderir (Khan ve ark., 2021).

2.8.1 MQTT Mesaj Mimarisi

MQTT' nin iletimlerini en aza indirmesinin bir başka yolu da sıkı bir şekilde tanımlanmış, küçük bir mesaj yapısıdır. Her iletinin yalnızca 2 baytlık sabit bir başlığı vardır. İsteğe bağlı bir başlık kullanılabilir ancak mesajın boyutunu artırır. Mesaj yükü sadece 256 MB ile sınırlıdır. Üç farklı Hizmet Kalitesi (QoS) düzeyi, ağ tasarımcılarının veri iletimini en aza indirme ve güvenilirliği en üst düzeye çıkarma arasında seçim yapmasına olanak tanır(Thangavel et al., 2014).

QoS 0 – Minimum miktarda veri iletimi sunar. Bu seviye ile her mesaj bir aboneye bir kez onaylanmadan iletilir. Abonelerin mesajı alıp almadığını bilmenin bir yolu yoktur. Bu yöntem bazen "ateşle ve unut" veya "en fazla bir kez teslimat" denir. Bu düzey, teslimatın tamamlandığını varsaydığından, iletiler, daha sonra yeniden bağlanan, bağlantısı kesilen istemcilere teslim edilmek üzere saklanmaz. (Thangavel et al., 2014).

QoS 1 – Aracı, mesajı teslim etmeye çalışır ve ardından abonedan bir onay yanıtı bekler. Belirtilen süre içerisinde onay alınmazsa, mesaj tekrar gönderilir. Bu yöntemi kullanarak, komisyoncu abonenin onayını zamanında almazsa, abone mesajı birden fazla kez alabilir. Buna bazen "en az bir kez teslimat" denir. (Thangavel et al., 2014).

QoS 2 – İstemci ve aracı, mesajın alındığından ve yalnızca bir kez alındığından emin olmak için dört aşamalı bir el sıkışma kullanır. Buna bazen "tam bir kez teslimat" denir. (Thangavel et al., 2014).

İletişimin güvenilir ancak sınırlı olduğu durumlar için QoS 0 en iyi seçenek olabilir. İletişimin güvenilir değil olduğu ancak bağlantıların sınırlı kaynak olmadığı durumlar için QoS 2 en iyi seçenek olacaktır. QoS 1, her iki dünyanın en iyisi bir tür çözüm sağlar, ancak verileri alan uygulamanın kopyaları nasıl ele alacağını bilmesini gerektirir. (Thangavel et al., 2014).

Hem QoS 1 hem de QoS 2 için, mesajlar çevrimdışı olan ve yerleşik bir kalıcı oturumu olan istemciler için kaydedilir veya kuyruğa alınır. Bu mesajlar, istemci tekrar çevrimiçi olduğunda (uygun QoS düzeyine göre) yeniden gönderilir. (Thangavel et al., 2014).

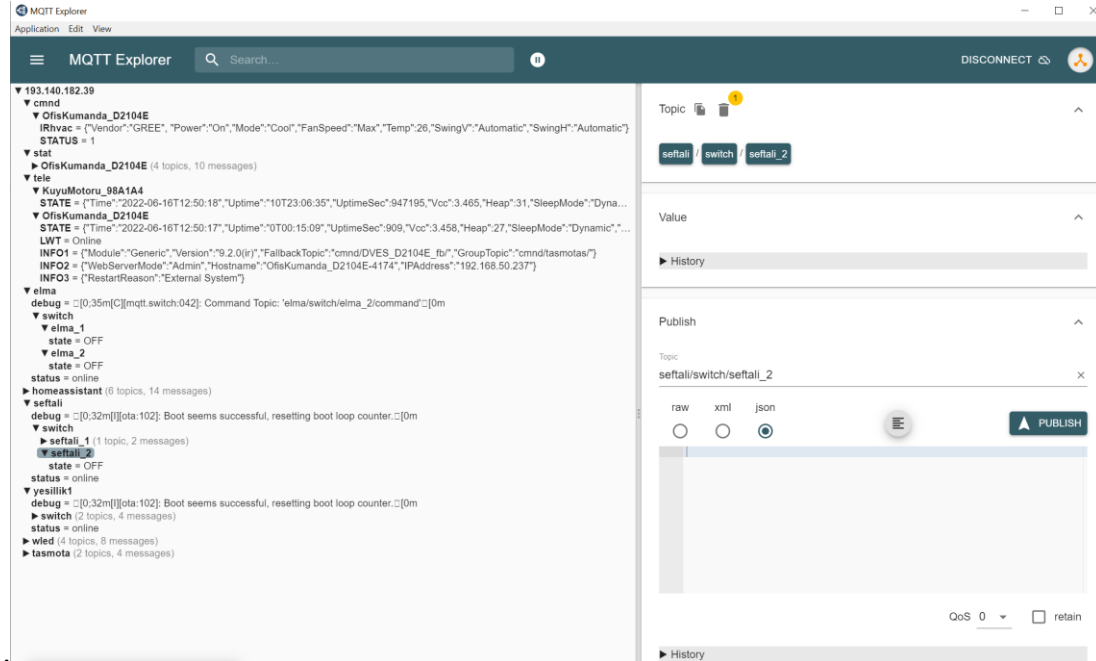
MQTT teknolojisinde, herhangi bir konuda iletinin gönderildiği ve alındığı kategoriye Konu (topic) adı verilmektedir. Konu da mesaj paylaşıma Yayıncı (publisher), paylaşılan mesajları alanlara ise abone (subscriber) denilmektedir(Gücük, 2019).

MQTT teknolojisi, birçok yapıdan meydana gelmektedir. Bunlar:

- Network connection (Ağ bağlantısı): MQTT tarafından kullanılan temel aktarım protokolü tarafından sağlanan bir yapı. İstemciyi sunucuya bağlar. Her iki yönde de sıralı, kayıpsız bir bayt akışı göndermek için araçlar sağlamakla görevlidir.
- Application Message (Uygulama Mesajı) : Uygulama için ağ üzerinde MQTT protokolü tarafından taşınan verileri içermektedir. Uygulama Mesajları MQTT tarafından taşındığında, ilişkili bir Hizmet Kalitesine (Quality of Service - QoS) ve konu adına sahiptir.
- Client (İstemci): MQTT kullanan bir program veya cihaz olarak tanımlanabilir. Bir İstemci her zaman sunucu ile ağ bağlantısı kurar. İstemci, diğer istemcilerin konularına abone olabilir veya diğer istemcilere mesaj gönderebilir. İstemci, almak istemediği mesajlar için aboneliğini sonlandırabilir veya diğer istemcilere mesaj göndermeyi iptal edebilir.
- Server (Sunucu): Sunucu, uygulama mesajları yayınlayan istemciler ile abonelik yapan istemciler arasında aracı görevi gören bir program veya cihaz olabilmektedir. İstemciler tarafında gönderilen mesajları ve istemcilerden gelen ağa bağlantı isteğini kabul eder. İstemcilerden gelen tüm taleplere cevap verebilir. İstemciler arasında oluşan abonelik mesajlarını iletebilir.
- Subscriber (Abone): Bir Abonelik, bir Konu Filtresi ve bir azami Hizmet Kalitesi (QoS) içerir. Abonelik, tek bir oturum ile ilişkilendirilir. Bir oturum birden fazla abonelik içerebilir. Bir oturumdaki her aboneliğin farklı bir konu filtresi vardır.

- Topic (Konu Adı): Sunucu tarafından bilinen aboneliklerle eşleşen bir uygulama mesajına eklenen etiket. Sunucu, eşleşen bir aboneliği olan her istemciye uygulama mesajının bir kopyasını gönderir.
- Topic Filter (Konu Filtresi): Bir veya daha fazla konuya olan ilgiyi belirtmek için bir Abonelikte yer alan bir ifadedir. Bir konu filtresi joker karakterler içerebilir.
- Session (Oturum): İstemci ve sunucu arasında durum bilgisi olan bir etkileşim. Bazı oturumlar yalnızca ağ bağlantısı kadar sürer, diğerleri bir istemci ile sunucu arasında ardışık birden çok ağ Bağlantısını kapsayabilir.(Gücük, 2019)

Şekil 2.19’da SSS sisteminde kullanılan MQTT Explorer haberleşme penceresi görülmektedir. MQTT Explorer penceresi aracılığı ile aynı ağ içerisinde yer alan ve kablosuz iletişim ağı içerisinde yer alan selenoid valflerin kontrolü gerçekleştirilmektedir. Burada selenoid valfler birer Client (İstemci) olarak görev alırlar ve sunucu üzerinde gelen emirlere uygun olarak valflerin kontrolünü gerçekleştirirler.

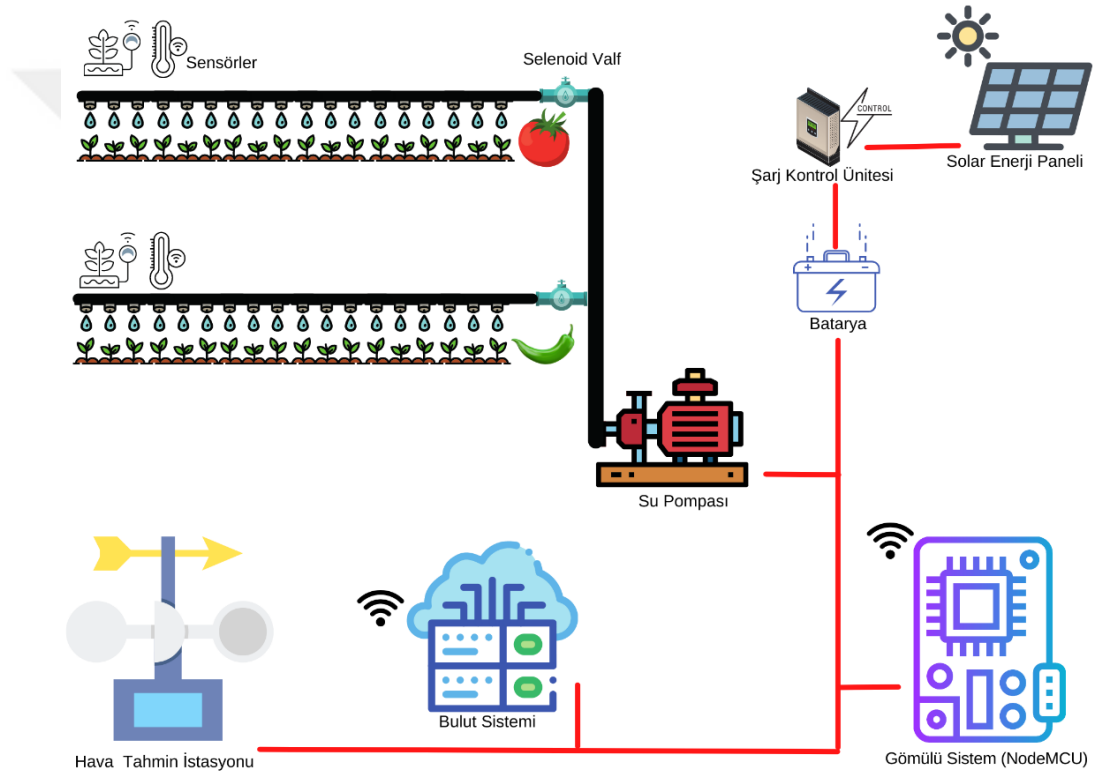


Şekil 2.19. MQTT Explorer haberleşme penceresi

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Sistem Tasarımı

Bu bölüm Seçici Sulama Sisteminin (SSS) tasarım ve uygulama adımlarına genel bir bakış sunar.



Şekil 3.1. Seçici sulama sistemi (SSS) genel tasarımı

Sistemin ana kontrol merkezi Wi-Fi özelliğine sahip ve kablosuz iletişim kurabilmektedir. (Şekil-3.2). Sistemde su miktarları selenoid valfler aracılığı ile kontrol edilmektedir. Sisteme elde edilene veriler nesnelerin interneti (IoT) MQTT üzerinde bulut sistemde toplanmaktadır. FAO sulama suyu verileri, toprak nem sensörlünde gelen verileri ile birlikte makine öğrenmesi için regresyon modelleri uygulandı . Domates ve biber için ayrı ayrı sulama suyu miktarları belirlendi. Belirlenen su miktarları dikkate alınarak damla sulama sisteminin ne kadar süre çalışacağı belirlendi. Bu doğrultuda elde edilen süre bağlı olarak sistemde ki

selenoid valflere MQTT protokolü aracılığı Aç/Kapa bilgisi gönderilerek otomatik sulama işlemi gerçekleştirildi.

3.2. Çalışma Alanı

Bu çalışma, Kayaören / Turhal/Tokat 40.346849, 36.124953 koordinatlarında arazisinde üstü açık 500 m² 'lik alanda Nisan – Mayıs 2022 tarihleri arasında yapılmıştır. (Şekil 3.1)



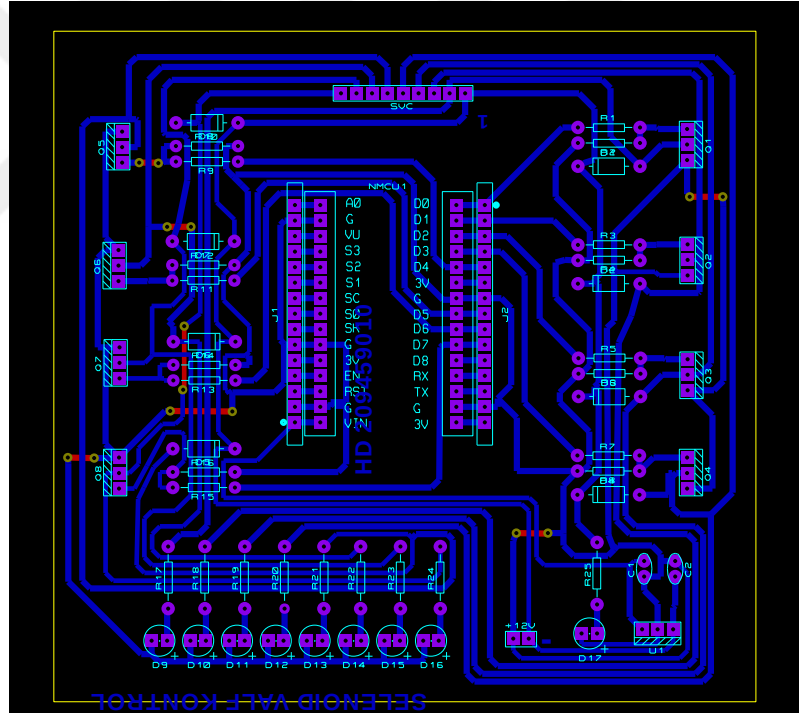
Şekil 3.2. Uygulama sahası

Deniz seviyesinde yüksekliği 493 metredir. Karadeniz ve İç Anadolu Arasında bir geçiş bölgesi olması sebebiyle ılıman bir iklim yapısına sahiptir. Yıllık yağış ortalaması 433,3 mm'dir. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri 12,9 °C 'dir. Bu alanın seçilmesinin nedeni, amaçlanan çalışmanın açıkça anlaşılmasına yardımcı olan ve geliştirilen akıllı sulama sisteminin bir parçası olarak önerilen, ana fikirleri yakalayan bir prototip geliştirildi. Çalışmada bölgesel meteorolojik verilerin toplanması ve sulama su miktarlarının belirlenmesi amacıyla FAO CROPWAT tarımsal sulama programı, FAO CLIMWAT bölgesel iklim veri programı kullanılmıştır.

3.3. Gömülü Sistemin Tasarımı

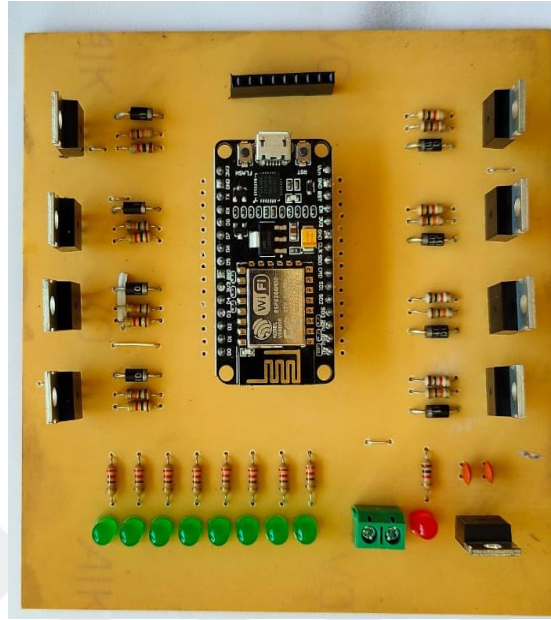
Sistemin merkezi kontrol noktası olarak tasarlanmıştır. Gömülü sistemin kontrol merkezi kablosuz haberleşme özelliğine sahip NodeMCU kontrol biriminden güç almaktadır. Sistemde 8 ayrı çıkış bulunmaktadır. Bu çıkışlar kendilerine bağlı olan selenoid valfleri

kontrol edeceklerdir. Selenoid valfleri sürmek için devre çıkışlarında IRFZ44 N kanal mosfetler kullanılmıştır. Sistemdeki çıkışları kontrol edebilmek için her bir çıkış Mosfet' ine LED bağlanmıştır. Ayrıca selenoid valflerde meydana gelebilecek ters bir akıma karşı Mosfet çıkışlarına 1N4001 diyot bağlanarak koruma oluşturulmuştur. Sistemin ana beslemesi 12V DC gerilimdir. Sistemde 7805 regülatörü ile 12V DC gerilimden 5V DC gerilim elde edilecek NodeMCU kontrol biriminin güç beslemesi sağlanmıştır. Sistem Proteus 8.1 programında yer alan ISIS elektrik-elektronik simülasyon programında tasarlanmıştır. ISIS ortamında tasarlanan devre daha sonra ARES ortamına aktarılmış ve devrenin baskı devre çizimleri gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3. Wi-Fi destekli gömülü sistem baskı devre tasarımı

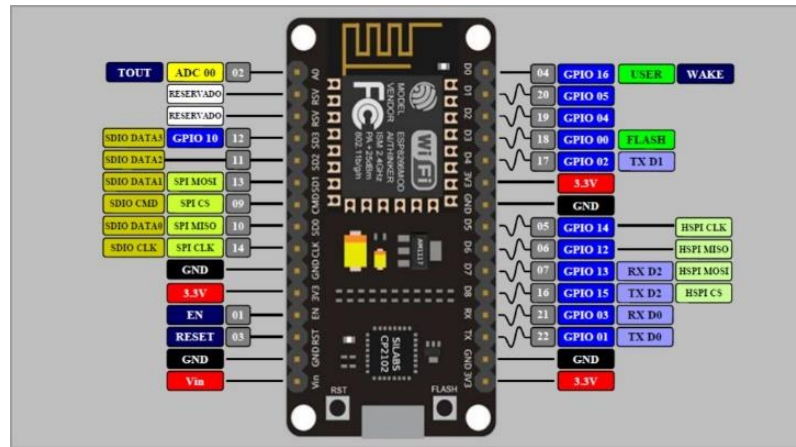
Baskı yapılacak yüzey, 11,6 cmx11,6 cm olacak şekilde tek yüzey bakır plaketten oluşmaktadır. Baskı devre çıkartma yöntemleri uygulanarak Ares ortamında hazırlanan devre bakır plaket üstüne aktarılmıştır. Şekil 3.4' de görüldüğü gibi devrenin merkezinde IoT elemanı olan NodeMCU yer almaktadır. Bulut sistemden gelen verilere göre çıkışlarında yer alan Mosfetlerin kontrol edilmesi işlemini yürütmektedir.



Şekil 3.4. Wi-Fi destekli gömülü sisteme devre uygulaması (üst görünüm)

3.4. Yazılım Geliştirme Kartı (NodeMCU)

WiFi özelliğiyle kolay iletişim özelliğine sahiptir. Programlanabilir ve ucuz maliyeti ile özellikle IoT projelerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Dijital I/O, Analog I/O, PWM çıkışları ve Wi-Fi haberleşme desteği sunmaktadır. NodeMCU denetleyicisine ait pin yapısı Şekil 3.5 'de görülmektedir.(Taştan, 2019)



Şekil 3.5. NodeMCU geliştirme kartı

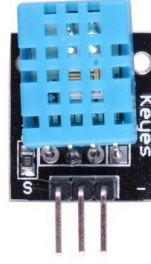
NodeMCU gömülü Wi-Fi modüle sahip özel bir IoT denetleyicisidir. 32 bitlik 160 MHz' de çalışan LX106 mikro denetleyicisi içerir. NodeMCU' yu programlayabilmek için C ve C++ temelli yazılım dilleri kullanılacaktır. Tablo 1'de ise denetleyiciye ait teknik özellikler görülmektedir.(Taştan, 2019)

Tablo 3.1. NodeMCU geliştirme kartı özellikleri

Özellikler	Değer
MCU	32 bit Tensilica L106 İşlemci Frekansı 80/160 MHz
Input/Output	13xDIO
ADC Pin	1x10 bit (1V)
Çalışma Gerilimi	3.0/3.6V
Çalışma Akımı	12-200 mA
Program Hafızası	4MB
Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n
Sleep Mode Akım	<10uA
Standby Mode Akım	<10mA

3.5. Sıcaklık ve Nem Sensörü

DHT11 nem ve sıcaklık sensörü, düzenlenmiş dijital sinyal çıkışına sahip bir sıcaklık ve nem sensörü yapısına sahiptir. Kendine özgü dijital sinyal toplama tekniğini ile sıcaklık ve nem algılama teknolojisini kullanarak, yüksek güvenilirlik ve uzun vadeli kararlılık sağlar. Bu sensör, dirençli tipte bir nem ölçüm bileşeni ve bir NTC sıcaklık ölçüm bileşeni içerir ve 8 bitlik bir mikro denetleyiciye bağlanır. Tablo 3.2' de DHT11 nem ve sıcaklık sensörüne ait teknik veriler yer almaktadır.(*DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörünün Arduino Ile Kullanımı | Arduino Türkiye*, n.d.)



Şekil 3.6. Sıcaklık ve Nem Sensörü

Tablo 3.2. DHT11 Teknik Verileri (<https://www.electroschematics.com/>)

Değişkenler		Minimum		Maximum
NEM				
Çözünürlük		1%RH	1%RH	1%RH
Tekrarlanabilirlik			8 Bit	
Doğruluk	25 °C		± 1%RH	
	0-50 °C		± 4%RH	
Değiştirilebilirlik	Tam değiştirilebilirlik			
Ölçüm Aralığı	0 °C	30%RH		90%RH
	25 °C	20%RH		90%RH
	50 °C	20%RH		80%RH
Tepki Zamanı (Sn)	1/e(63%)25 °C , 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Histeresis			± 1%RH	
Uzun Zamanlı Kararlılık	Karakteristik		± 1%RH/yıl	
SICAKLIK				
Çözünürlük		1 °C	1 °C	1 °C
Tekrarlanabilirlik		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Doğruluk		± 1 °C	± 1 °C	± 2 °C
Ölçüm Aralığı		0 °C		50 °C
Tepki Zamanı (Sn)	1/e(63%)	6 S		30 S

3.6. Kapasitif Toprak Nem Sensörü

Kapasitif toprak nem sensörü (Şekil 3.9), diğer nem sensörlerinden farklı olarak direnç değeri algılamak yerine Kapasitif algılama ile topraktaki nem miktarını ölçebilmektedir. Kapasitif Toprak Nemi Sensörü Modülü, toprağın su içeriğini belirlemek için kapasitanstaki değişiklikleri ölçerek toprak nemi miktarını belirler. Bu, otomatik bir bitki sulama sisteminde veya bir bitkinin sulanması gerektiğinde bir tür uyarı sinyali vermek için kullanılabilir.

(*Kapasitif Toprak Nem Sensörü - Higrometre Uygun Fiyatıyla Satın Al - Direnc.Net®*, n.d.)

Kapasitif toprak sensörüne ait teknik veriler Tablo 3.3 yer almaktadır.



Şekil 3.7. Kapasitif Toprak Nem Sensörü

Tablo 3.3. Kapasitif Toprak Sensörü teknik özellikleri

Teknik Özellikleri
3 pinli sensör ara yüzünü destekler
Analog çıkış
Çalışma Voltajı: DC 3.3-5.5V
Çıkış Voltajı: DC 0-3.0V
Ara yüz: PH2.0-3P
Boyut: 99x16mm/3.9x0. 63"

3.7. Selenoid Valf

Selenoid Valf; su, hava, yağ vb. gaz ve sıvıları kontrol etmek için kullanılan elektromanyetik vanalardır. Selenoid valfin içerisinde bir bobin sargısı mevcuttur. Bu sargıya elektrik akımı uygulandığında bobin elektromıknatıs özelliği gösterir. Valfin içerisinde bulunan metal piston elektromıknatısın etkisi ile konum değiştirir. Bu tarz valfler iki konumludur. Normalde Açık Kontaklı Valfler; normalde sıvı akışına müsaade etmez ancak bobine elektrik akımı uygulandığında valf konum değiştirir ve sıvının geçişine izin verir. Normalde Kapalı Kontak

Valfler; normalde sulama suyunun akışına izin verirler ancak bobine elektriksel güç uygulandığında valf konum değiştirir ve sıvı akışını durdurur. Sistemde 220V AC gerilimde çalışan selenoid valfler kullanılmıştır. (www.ayvaz.com, 03.10.2021)



Şekil 3.8. Selenoid valfin damla sulama sistemine montajı

3.8.Damla Sulama Sistemi

Seçici Sulama Sistemi (SSS) için damla sulama sistemi kullanıldı. Damla sulamada temel yapı, bitkide nem eksikliğinden kaynaklanan su eksikliğini azaltmadan az miktarda ki sulama suyunun bitki köklerinin geliştiği noktaya vermektir. Sulama sisteminde 25 mm ana boru ve 50 cm aralıklı delikli 16mm’lik damla sulama boruları kullanılmıştır (Şekil 3.10).



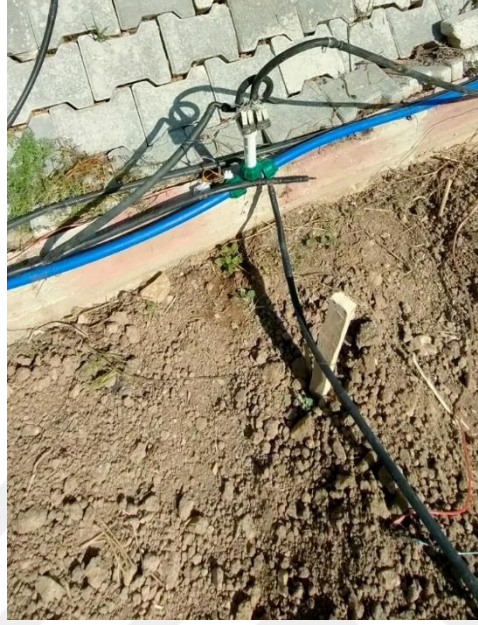
Şekil 3.9. Damla sulama boru uygulaması

Tez çalışmasının yapıldığı alanda domates ve biber için 4' er sıra dikim yeri kullanıldı. Her sırada 12'şer adet domates ve biber fideleri bulunmaktadır (Şekil 3.11). Damla sulama için sulama kaynağı bahçe içerisinde yer alan ve 50 m³ sulama suyu depolama kapasitesine sahip olan havuzdan karşılandı. Havuz için su, yer altı kuyusundan drenaj pompası ile çekilmektedir. Drenaj pompasının enerjisi Fotovoltaik sistem ile elde edilen elektrik ile sağlandı.



Şekil 3.10. Çalışma alanına damla sulama sisteminin kurulması

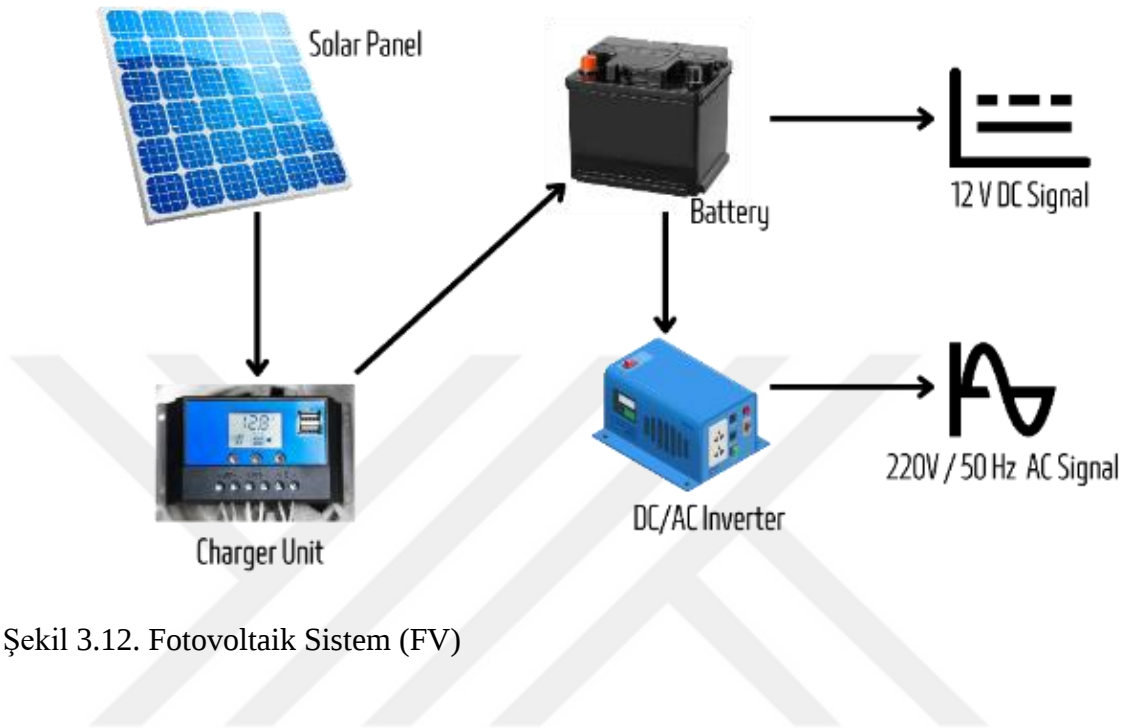
Bitkiye özgü sulama kontrolü için damla sulama boruları domates ve biber için ayrı ayrı döşendi ve domates ve biber ait 25 mm ana borulara selenoid valf kontrol bağlantıları yapıldı (Şekil 3.12).



Şekil 3.11. Selenoid Valflerin damla sulama sistemine montajı

3.9.Fotovoltaik Sistem

Çalışmamızın enerji ihtiyacı Fotovoltaik (FV) sistemden elde edilecektir. FV enerji kaynağının bağımsız enerji kaynağı olarak her yerde çalışabilmesi, ucuz elektrik sağlaması ve en önemlisi doğanın zarar görmesini engelleyen yenilenebilir enerji kaynağı olması sebebiyle tercih edildi. FV sistemi bir adet 280W gücünde 1200 mm x 540 mm x 2 mm boyutlarında 4 adet solar panelden güç almaktadır. Solar panellerde yarı esnek 36 adet 5BB Yüksek Verimli Poly Hücre bulunmaktadır. FV panellere ait teknik bilgiler Tablo3.4’de yer almaktadır. Solar panelin ürettiği elektrik enerjisi şarj kontrol ünitesi vasıtasıyla bataryayı şarj etmektedir. Batarya 12V DC / 7A özelliklerine sahiptir. Sisteme ek özellik olarak DC/AC İnvertör devresi ile 12V DC gerilim 220V AC gerilime dönüştürülebilen modül eklenmiştir. Sistemin genel çalışma voltajı 12V DC ve 5V DC gerilimdir. Selenoid valflerin çalışma voltajı ise 220V AC gerilimdir. FV sisteme ait çalışma şeması Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Fotovoltaik Sistem (FV)

Tablo 3.4. PV Panelin Özellikleri

Özellikler	Değerler
Panel Boyutları	1200 mm x 540 mm x 2 mm
PM (Verdiği Max. Güç)	280 W
VMP (Max. Güçte Verdiği Voltaj)	16,2V
IMP (Max. Güçte Verdiği Akım)	5,5 A
VOC (Boş Yük Gerilimi)	18V
ISC (Solar Hücre Kısa Devre Akımı)	6,31 A

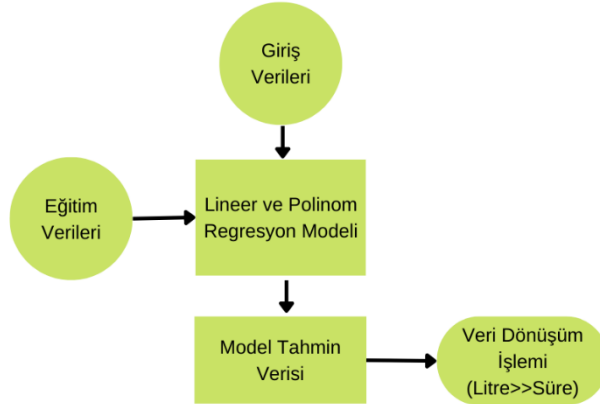


Şekil 3.13. Uygulama alanında kurulu olan güneş panelleri

3.10. Makine Öğrenme Algoritması

Makine öğrenmesi, toprak nem verilerine bağlı olarak bitkiye özgü sulama sürelerinin tahmin edilmesine dayanmaktadır. Sulama sürelerini hesaplanabilmesi için FAO CROPWAT programının oluşturmuş olduğu sulama su miktar verileri baz alınmıştır.

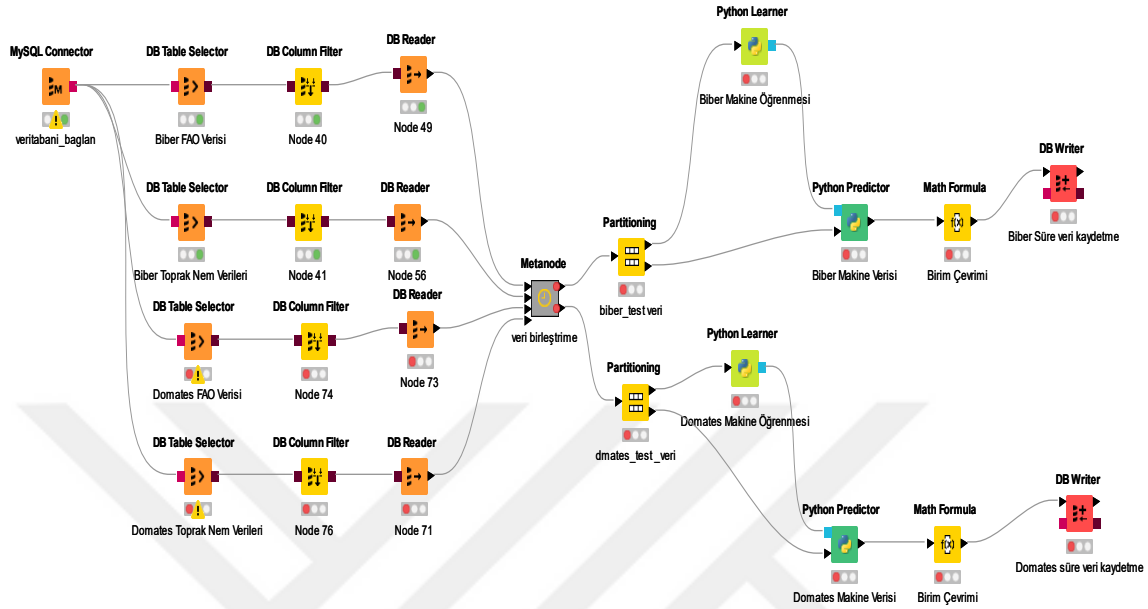
SSS sisteminde domates ve biber bitkileri için ayrı ayrı sulama süresi oluşturulacaktır. Bunun için bir makine öğrenme algoritması oluşturulmuştur (Şekil 3.14). Makine öğrenmesi için iki farklı veri seti kullanılmıştır. Birinci veri seti FAO tarafında geliştirilen GROPWAT programının domates ve biber bitkiler için oluşturmuş olduğu sulama su miktarı verisidir. İkinci veri seti ise uygulama alanında domates ve biber için ayrı ayrı konumlandırılmış toprak nem sensör verisidir.



Şekil 3.14. Makine Öğrenme Süreci

Makine öğrenmesinde en önemli amaç eğitim verilerine dayalı olarak daha önce bilinmeyen verilerin doğru bir şekilde üretilmesini sağlayacak algoritmaların oluşturulmasıdır. Makine öğrenmesi, eğitim verisi (deneyim) ve test verisi (öğrenme) olmak üzere iki farklı veri grubu ile otomatik yeni verilerin üretilmesini sağlamaktadır. Bu doğrultuda FAO CROPWAT ve toprak nem verileri KNIME programı aracılığı ön işleme tabi tutulmuştur. Bu işlemler, verilerin sıralanması, eksik verilerin tespiti, sütun ve satır filtrelemelerinden meydana gelmektedir. FAO CROPWAT programı ve toprak nem sensörlerinin düzenlenmiş veri kümeleri kullanılarak veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti içerisinde hem domates hem de biber için ayrı ayrı 250 adet veri bulunmaktadır.

Python programı aracılığı makine öğrenmesi tahmin modelleri olarak Lineer Regresyon ve Polinom Regresyon modelleri kullanılmıştır. Her iki makine öğrenmesi modelinde süreç iki veri arasındaki ilişkiye bağlı olarak yeni veriler üretilmesidir. Elde edilen verilerin %30' u eğitim verisi olarak kullanılırken %70' lik veri ise test verisi olarak kullanılmıştır. Python programının ilk test uygulamaları Google tarafında geliştirilen ve bulut sistem üzerinde çalışan Google Colaboratory (Colab) programı ile yapılmıştır. Daha sonra makine öğrenme algoritması KNIME programı içerisinde yer alan Python modülüne aktarılmıştır. Şekil 3.15'de KNIME programı akışı görünmektedir.



Şekil 3.15. KNIME programı akış diyagramı

FAO CROPWAT, sulama ya da yağış ile toprağa etki eden su miktarını milimetre (mm) şeklinde vermektedir. Makine öğrenim algoritmasında FAO verilerini baz aldığı için üretmiş olduğu yeni verilerde mm/gün şeklinde olmaktadır. Burada yapılması gereken işlem mm/gün cinsinden olan sulama su verisini ilk önce litre/gün verisine çevrilmesi gerekmektedir. SSS sisteminde damla sulama valfler aracılığı ile kontrol ediliyor. Bu nedenle litre verisinin de dakika/gün verisine dönüştürülmesi gerekmektedir. Aşağıdaki işlemler sırasıyla KNIME matematik modülün içinde uygulanacaktır. Elde edilen zaman değeri ile valflerin aç/kapa süreleri hesaplanabilecektir.

Su miktarının mm/gün' den dakika/gün' e dönüşümün matematiksel işlemleri;

1 mm = 0.001 metre.

Gerekli su hacmini (X litre) hesaplayalım;

Hacim=Uzunluk x genişlik x Yükseklik.

Hacim = 1 metre x1metre x 0,001metre = 0,001 metre³

Metreküpü litreye çevirelim;

1 metreküp = 1000 litre

0.001 metreküp = 1 litre.

Böylece 1 mm ise yükseklik elde etmek için 1 litre suya ihtiyaç duyarız.

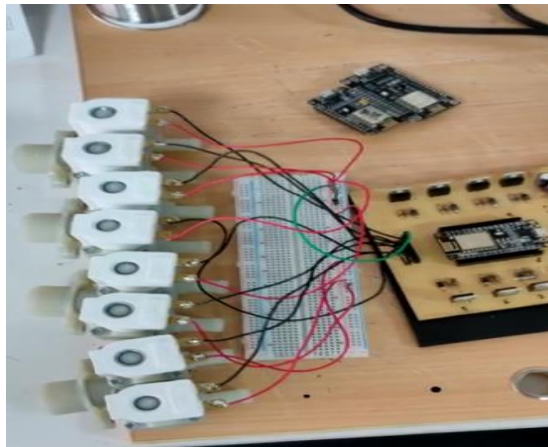
Damla sulama borumuz 16mm borulardan meydana gelmektedir. Damla sulama sistemimizin sulama su miktarı 2 litre/saattir. Bu veriler ışığında makine öğrenme algoritmasında örneğin domates bitkisi için tahmin edilen su miktarı 3,4 mm/gün yani 3,4 lt/gün' dür. Bu verinin bizim damla sulama sistemimize 3,4 lt/gün için sulama süresi 102 dakika/gün şeklinde olacaktır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

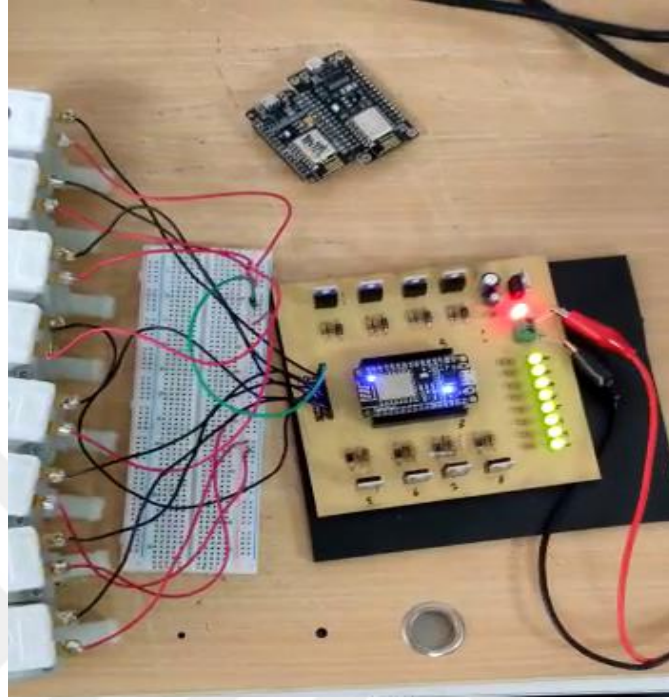
Seçici Sulama Sistemi (SSS) ile bitkiye özgü yapılan sulamaya ait sonuçlar değerlendirilmiştir. SSS sisteminde kullanılan gömülü sistem kontrol kartının laboratuvar analizleri yapılmış ve alınana sonuçlar değerlendirilmiştir. SSS sisteminde akıllı sulama için geliştirilen makine öğrenmesi verileri analiz edilmiş ve sonuçlar grafiklerle birlikte yorumlanmıştır. Dünya Tarım Örgütü (FAO) tarafında geliştirilen CROPWAT programının domates ve biber bitkisi için önermiş olduğu sulama su miktarı ile SSS sisteminin domates ve biber için oluşturduğu sulama suyu miktarları karşılaştırılmıştır. Çalışma boyunca toprak nem sensörlerinden gelen veriler izlenmiş ve yorumlanmıştır.

4.1. Elektronik Kartın Test Edilmesi

Yapılan çalışma, FAO verileri ve toprak nem sensör ağıdan elde edilen bilgilerin makine öğrenmesi yoluyla yorumlanarak sulama suyunun ideal ölçüde kullanılması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın ilk çıktısı olarak SSS sisteminin kontrol merkezi olan gömülü sistemin tasarımı gerçekleştirilmiş ve valf bağlantıları yapılmıştır. (Şekil 4.1) Çalışmanın bu aşamasında laboratuvar ortamında gömülü sistemin çalışması test edilmiştir. Bu çalışmada sadece devrenin ve valflerin çalışma voltaj ve akımları test edilmiştir. (Şekil 4.2) Devre elemanlarında ve özellikle sürücü MOSFET entegrelerinde ısınma tespit edilmemiştir.



Şekil 4.1. Gömülü sistemin valf bağlantıları



Şekil 4.2. Devrenin test edilmesi

Devrenin çalışma voltajı 12V DC gerilimdir. Bu voltaj değerinde selenoid valfin çalışması ile ortaya çıkan Akım 0.97 A (970mA) olarak ölçülmüştür (Şekil 4.3). Sistemin için düşünülen 280W'lık Fotovoltaik güneş pilleri ve 2 x 12V 7A' lik bataryaların yeterli olacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.3. Devrenin çalışma akım ve gerilim değerleri

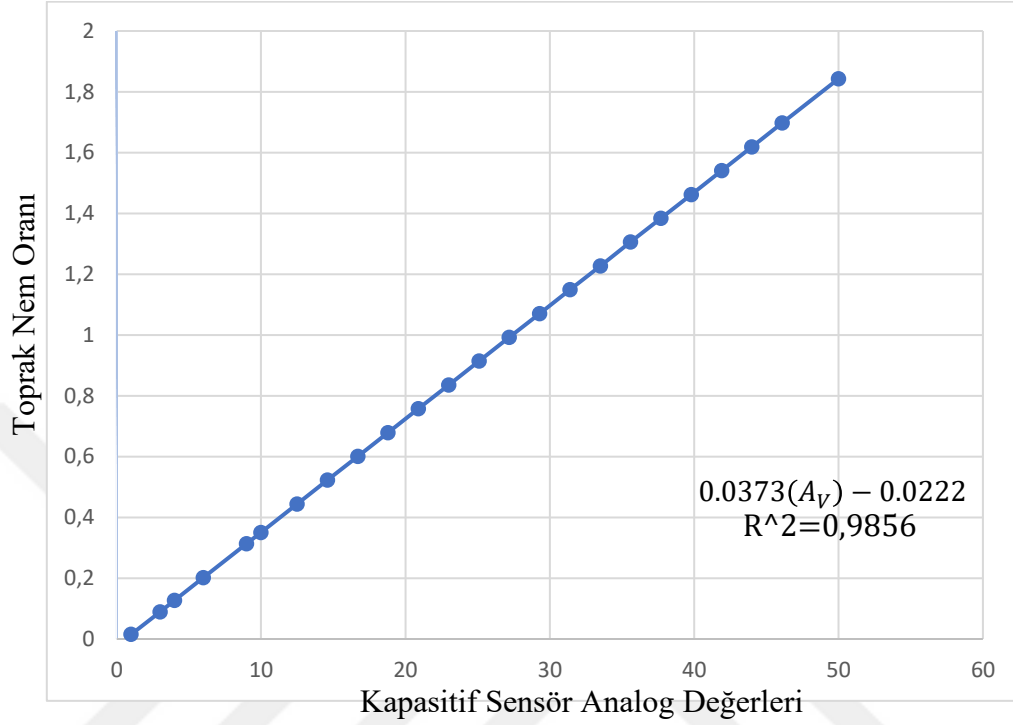
Selenoid Valflerin içinde bulunan contaların tam olarak açılabilmesi ve sıvının akması için minimum 0.02 Mpa (3 psi) bir akış debisine ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Yapılan testlerde selenoid valflerin açılma süresi: ≤ 0.15 sn kapanma süresi: ≤ 0.3 sn olarak gözlemlenmiştir.

4.2. Toprak Nem Sensörleri Ölçümleri

Kapasitif toprak nem sensörü için öncelikli olarak kalibrasyon ayarlamaları yapıldı. Kapasitif sensör modülüne bağlı dahili bir üzerinde voltaj regülatörü bulunmaktadır. Bu sayede nem sensörü 3.3V ile 5V arasında çalışmaktadır. Kapasitif nem sensörün için kalibrasyon ayarlaması Arduino devresi kuruldu ve Ek-3'te yer alan yazılım kullanılarak kalibrasyon ayarlamaları yapılmıştır.



Şekil 4.4. Kapasitif toprak nem sensörü kalibrasyon ayarının yapılması



Şekil 4.5. Toprak nem değerleri ve kapasitif toprak sensör arasındaki ilişki

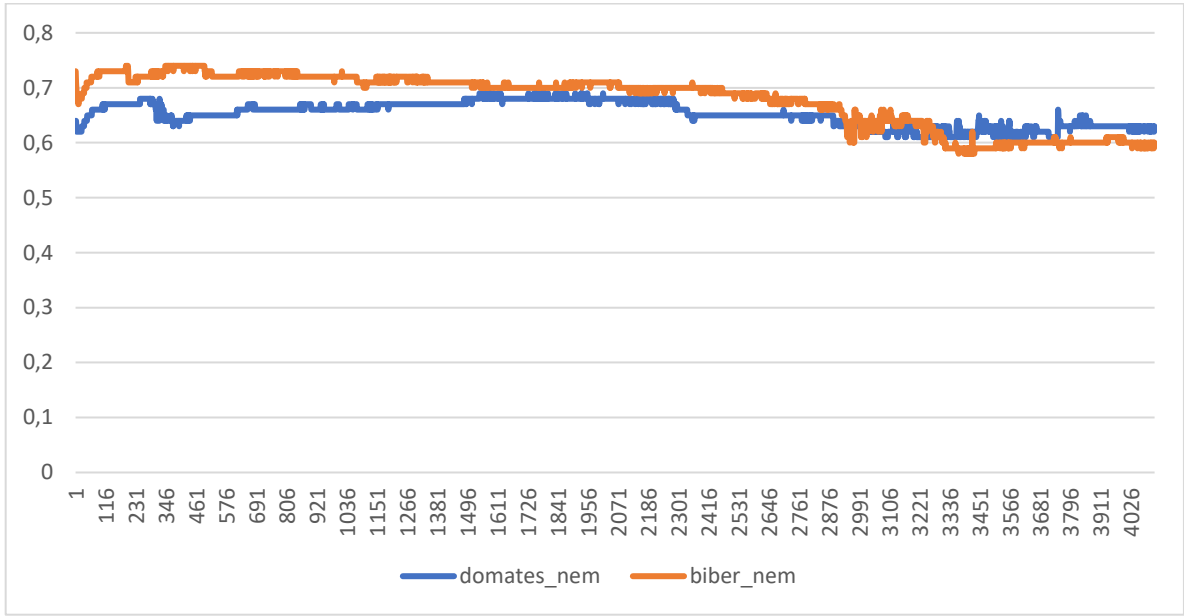
Yapılan kalibrasyon ölçümleri ve hesaplamaları sonucunda toprak nem oranı ile Kapasitif sensör analog değerleri arasında doğrusal korelasyon görülmüştür. Elde edilen grafiğe göre matematiksel formül düzenlenmiş toprak nem oranı ile Kapasitif sensör analog değeri arasında bir bağlantı elde edilmiştir. Bu matematiksel bağlantı eşitlik 4.1’ de gösterilmiştir.(Demirbaş, 2021)

$$S_k = 0.0373(A_V) - 0.0222 \quad (4.1)$$

S_k : Toprak Kalibrasyon Değeri

A_V : Kapasitif Sensör tarafında ölçülen analog değer

Laboratuvar ortamında kalibrasyon işlemine tabi tutulan kapasitif toprak nem sensörleri daha sonra uygulama alanına yerleştirildi. Domates ve biber bitkisi için ayrı ayrı kapasitif toprak nem sensörleri yerleştirilmiştir. Sensörlerden gelen veriler ESP01 Wi-Fi modülü aracılığı ile bulut sisteme aktarılmıştır. Sensörlerden gelen veriler 30 saniye aralıklarla ölçülmüştür. Her iki sensöre ait veriler Şekil 4.6’da ki grafikte görülmektedir.



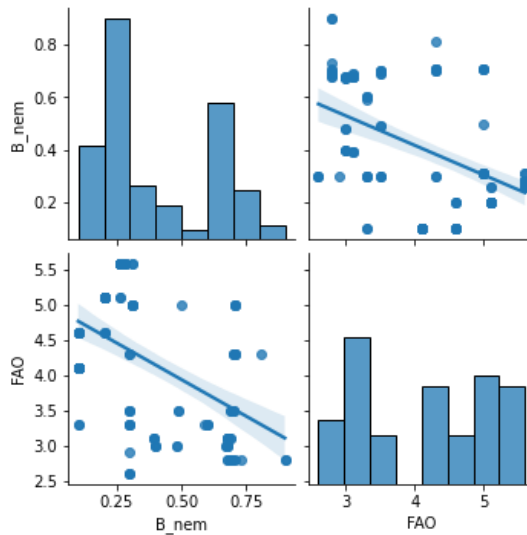
Şekil 4.6. Domates ve bitkisine ait toprak nem değerleri

Şekil 4.6 ‘da ki grafikte görüldüğü gibi her iki sensöre ait veriler birbirine yakın değerler izlemektedirler. İdealde her iki sensör de de aynı değerlerin okunması beklenmekteydi. Aradaki ufak farklılıkların sebebi olarak sensörlerin toprak içindeki konumları, toprak öz direnci ve tuzluluk gibi değerler nedeniyle oluşmuş olabilir. İki sensör arasındaki farkın çok büyük olmaması sebebiyle mevcut veriler varsayılan olarak kabul edildi. KNIME programı aracılığı ile 4000’den fazla toprak nem verileri gün içerisindeki ortalama değerleri alınarak yeniden düzenlenmiştir. Her bitki için 125 adet toprak nem verisi makine öğrenmesi için kullanılmıştır.

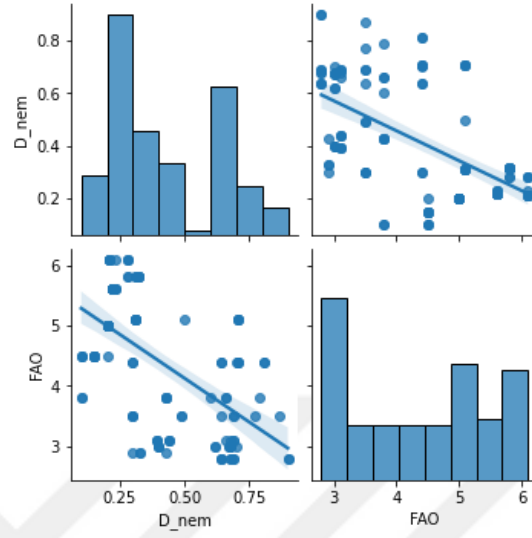
4.3. Bitki Bazlı Su Tüketim Değerlerinin Hesaplanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Bitkilerin su gereksinimleri toprak cinsi, iklim ve ürün çeşidine göre değişir. FAO tarafında geliştirilen CROPWAT 8.0 modeli, birçok girdi parametresinin dikkate alınması ve FAO 56 Penman-Monteith yöntemini kullanması nedeniyle sulama planlaması için bir araçtır. SSS sistemimde makine öğrenmesi temelinde FAO CROPWAT sulama verilerini yanında gerçek toprak nem verilerini de kullanarak bitkiye özgü yeni bir sulama planlaması oluşturmuştur. CROPWAT programı tarafında domates ve biber bitkisi için oluşturulama sulama verileri ile toprak nem sensörlerinden gelen veriler Python programında makine öğrenmesine tabi tutuldu. Domates ve biber için makine öğrenmesiyle elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’ de görülen grafiklerde biber ve domates için CROPWAT programının oluşturduğu sulama verileri ile toprak nem verileri Python programında makine öğrenme modeli olan lineer modeline tabi tutulmuştur. Verilerin %30’ u eğitim verisi olarak kullanılırken %70’ lik veri ise test verisi olarak kullanılmıştır. Grafikte görüldüğü gibi CROPWAT ile toprak nem verileri arasında ters korelasyon olduğu görülmektedir. Bu bize toprak nem miktarı arttıkça sulama suyu miktarının azalacağını göstermektedir.

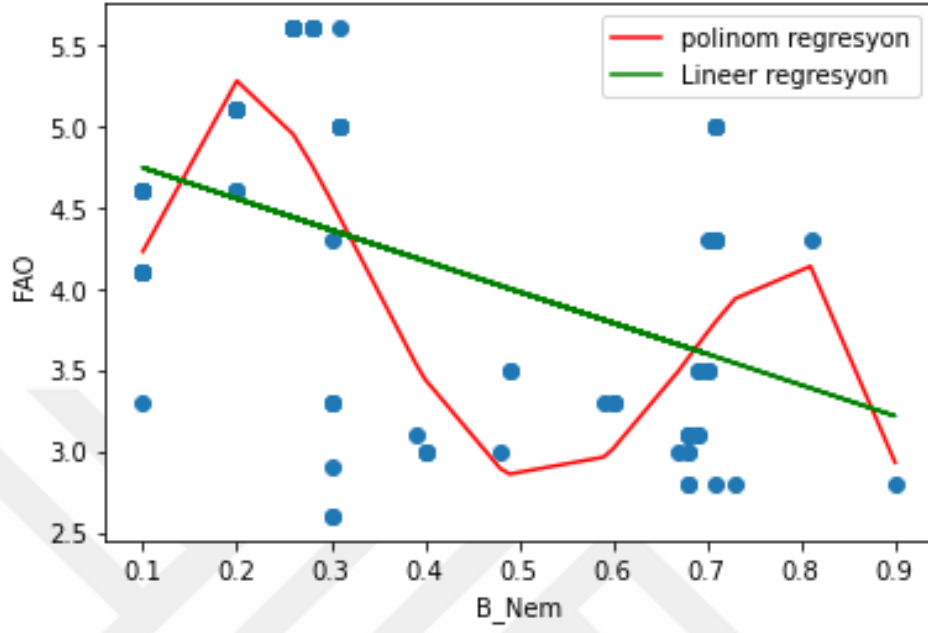


Şekil 4.7. Biber için FAO CROPWAT programı tarafında oluşturulan sulama verileri ve biber toprak nem verilerinin Python programı Lineer regresyon model grafiği

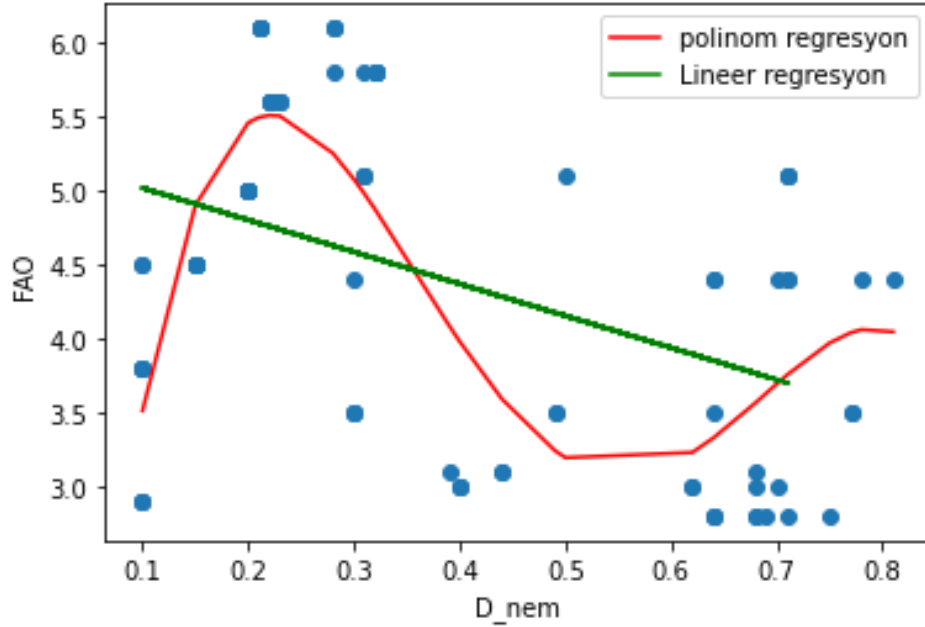


Şekil 4.8. Domates için FAO CROPWAT programı tarafında oluşturulan sulama verileri ve domates toprak nem verilerinin Python programı Lineer regresyon model grafiği

Şekil 4.9 ve 4.10’ da yer alan grafiklere bakıldığında biber ve domates için oluşturulan veriler ışığında makine öğrenmesinde kullanılan Lineer ve Polinom regresyon modellemesi bir arada görülmektedir. Lineer regresyon modellemesinde FAO ve toprak nem verileri arasında ters korelasyon olduğunu biliyoruz. Aynı zamanda Polinom regresyon modeli ile de uyumlu olduğu görülmektedir. Şimdi bu iki model kullanılarak FAO CROPWAT sulama verilerini toprak nem veriline bağlı olarak sulama suyu miktarı tahmin edilmiştir.



Şekil 4.9. Biber için FAO CROPWAT programı tarafında oluşturulan sulama verileri ve biber toprak nem verilerinin Python programı regresyon model grafiği

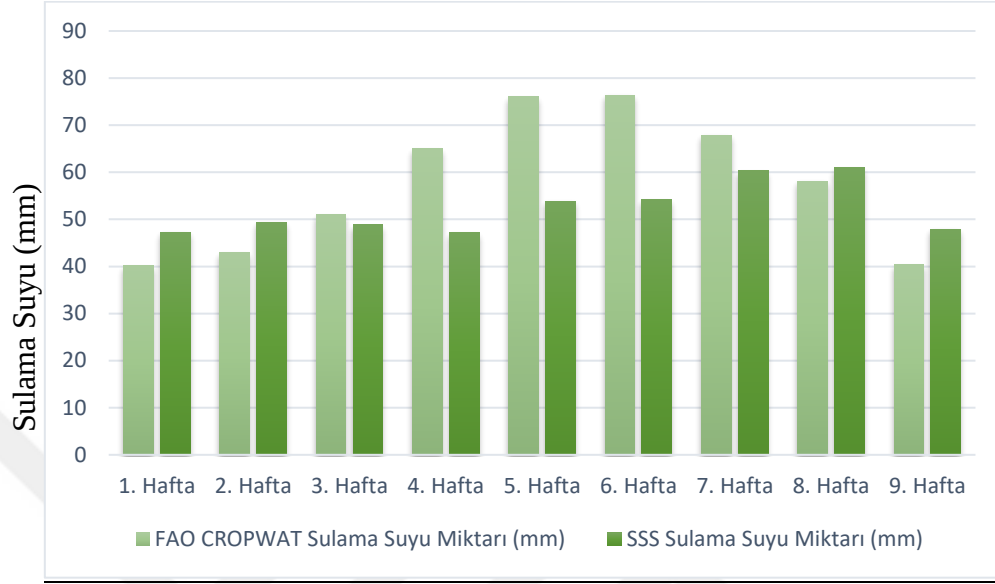


Şekil 4.10. Biber için FAO CROPWAT programı tarafında oluşturulan sulama verileri ve biber toprak nem verilerinin Python programı regresyon model grafiği

Nisan ayının ilk haftası itibariyle 9 haftalık bir süre boyunca biber ve domates ekimi yapılan alanda SSS sistemi uygulaması gerçekleştirildi. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de biber ve domatesin haftalık su tüketim değerleri karşılaştırılmıştır. Tablolar de FAO CORPWAT programı tarafında öneriler su miktarı ile makine öğrenmesi sonucu SSS sistemi tarafında gerçekleştirilen sulama miktarları görülmektedir. İlk haftalarda SSS sisteminin su tüketim değerleri FAO değerlerine göre fazladır. CROWPWAT programı Nisan ayı içerisinde aylık ortalama 53 mm/ay tahmin edilirken gerçekte oluşan yağış miktarı Turhal Meteoroloji İstasyon verilerine göre ortalama 35,1 mm/ ay gerçekleşmiştir. Toprak nem verilerinin düşük olması sebebiyle SSS sistemi ilk haftalarda sulama su miktarı yüksek olmuştur. Nisan ayının son haftası ve mayıs ayını ilk haftası yağış miktarındaki artış toprak nem değerlerini artırmış ve SSS sistemin sulama su miktarı azaltmıştır.

Tablo 4.1. Biber için haftalık sulama suyu verilerinin karşılaştırılması

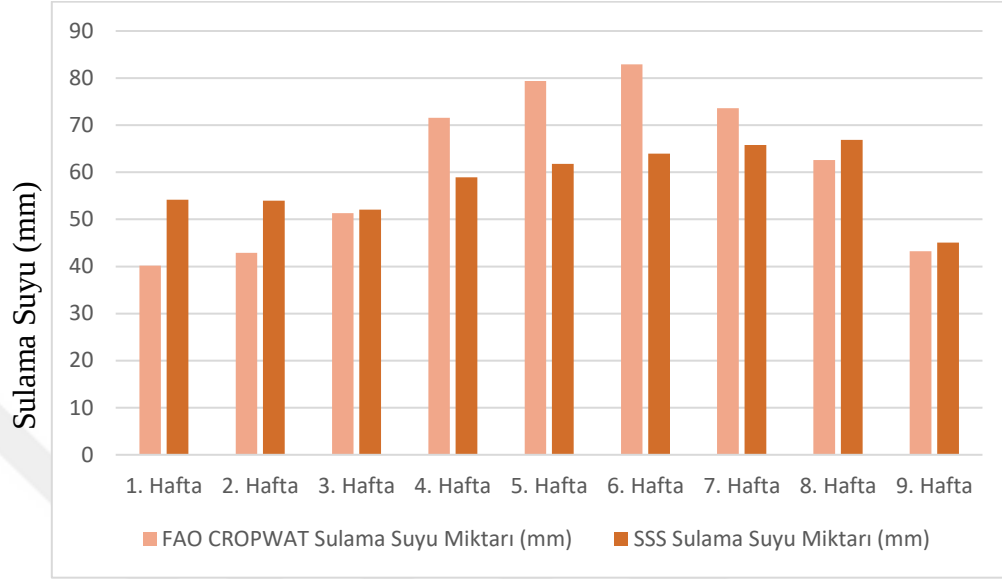
HAFTALAR	FAO CROPWAT SULAMA SUYU MİKTARI (MM)	SSS SULAMA SUYU MİKTARI (MM)
1. HAFTA	40,2	47,3
2. HAFTA	42,9	49,4
3. HAFTA	51	48,91
4. HAFTA	65,10	47,18
5. HAFTA	76	53,9
6. HAFTA	76,40	54,18
7. HAFTA	67,9	60,42
8. HAFTA	58,10	60,96
9. HAFTA	40,40	47,9



Şekil 4.11. Biber için haftalık sulama suyu verilerinin karşılaştırılması

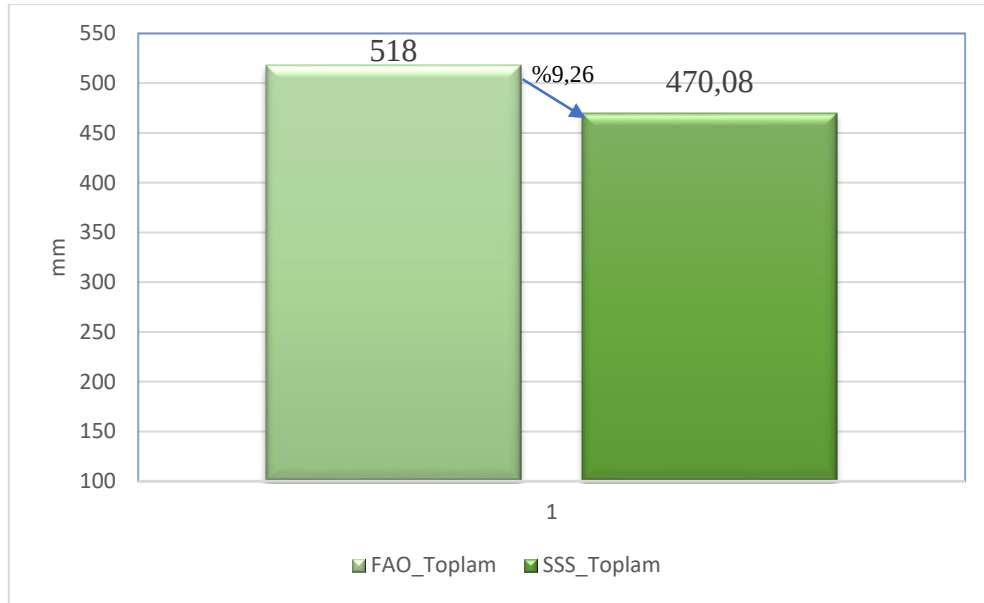
Tablo 4.2. Domates için haftalık sulama suyu verilerinin karşılaştırılması

HAFTALAR	FAO CROPWAT SULAMA SUYU MİKTARI (MM)	SSS SULAMA SUYU MİKTARI (MM)
1. HAFTA	40,2	54,17
2. HAFTA	42,9	53,94
3. HAFTA	51,3	52,07
4. HAFTA	71,6	58,95
5. HAFTA	79,4	61,77
6. HAFTA	82,9	63,94
7. HAFTA	73,6	65,76
8. HAFTA	62,6	66,86
9. HAFTA	43,2	45,04



Şekil 4.12. Domates için haftalık sulama suyu verilerinin karşılaştırılması

Biber bitkisi için 9 haftalık süreç sonunda oluşan toplam sulama suyu miktarları şekil 4.13'te görülmektedir. CROPWAT programının 9 haftalık süreç için önermiş olduğu sulama su miktarı 518 mm iken SSS sisteminin gerçekleştirmiş olduğu sulama suyu miktarı 470,08 mm' dir. Toplamda %9,26' lık bir su tasarrufu sağlanmıştır.

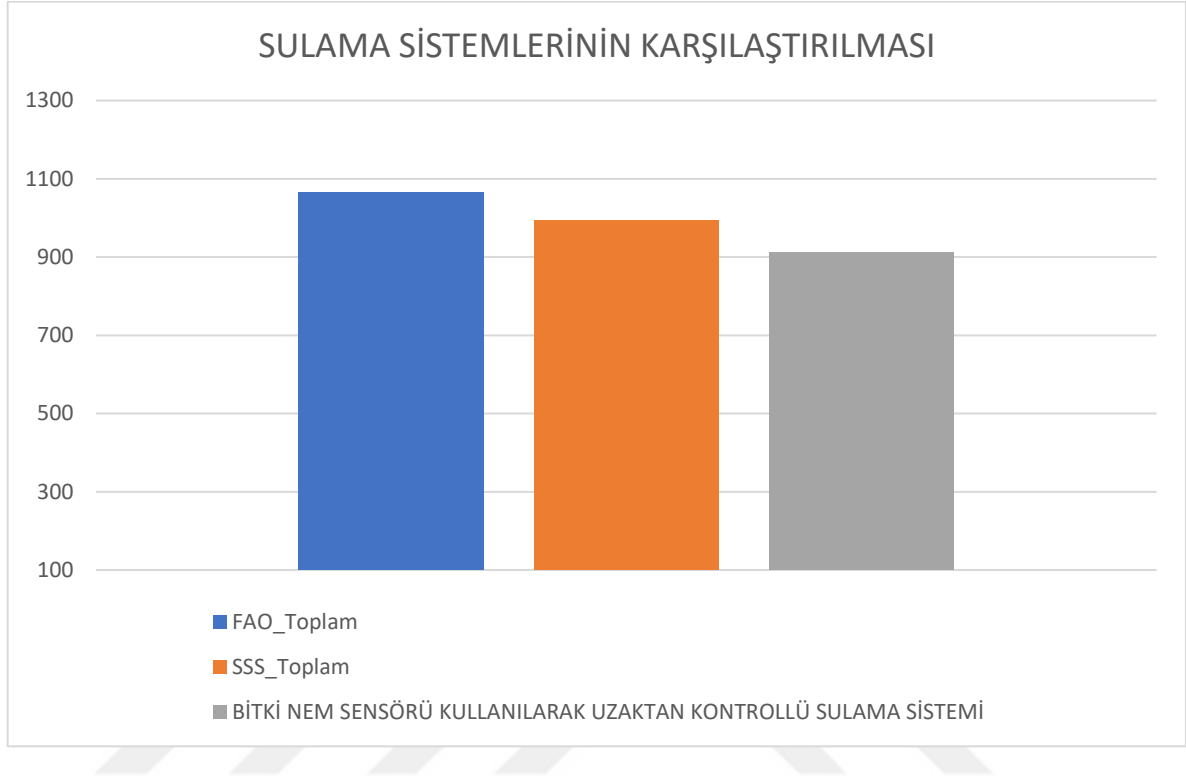


Şekil 4.13. Biber için toplam sulama suyu miktarlarının karşılaştırılması

Domates bitkisi için 9 haftalık süreç sonunda oluşan toplam sulama suyu miktarları şekil 4.14’ de görülmektedir. CROPWAT programının 9 haftalık süreç için önermiş olduğu sulama su miktarı 547,7 mm iken SSS sisteminin gerçekleştirmiş olduğu sulama suyu miktarı 522,49 mm’dir. Toplamda %4,46’lık bir su tasarrufu sağlanmıştır.



Şekil 4.14. Domates için toplam sulama suyu miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 4.15 Sulama sistemlerinin karşılaştırılması

2018 yılında Altunbaş tarafından yapılan bir çalışmada bitki yaprağı üzerine yerleştirilen bir sensör ile akıllı sulama sistemi gerçekleştirilmiştir (Altunbaş, 2018). Bu sulama sisteminde bitki için harcanan toplam su miktarı FAO verisi ile karşılaştırıldığında Altunbaş'ın sistemi %14,37 su tasarrufu sağlarken Seçici Sulama Sistemi %6,863'tir. Ancak SSS sistemi hem makine öğrenmesi, hem de FAO tarafında üretilen verileri kullanması açısından hem daha tutarlı hem de daha uygulanabilir bir sistem olarak düzenlenmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, başlıca bitkiye özgü sulama seçimi, damla sulama, IoT, yenilenebilir enerji ve makine öğrenmesi olmak üzere beş özellik uygulanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen bulgular ile birlikte en ideal sulama programı yapabilen, sulama işleminde kullanılan su kaynağının yönetimini sağlayan, kullanılan insan gücünü en aza indiren, gerekli ölçüm maliyetleri ve bununla birlikte sulama için harcanan zamandan tasarruf sağlayan bitkiye özgü seçici sulama sistemi modellemesi yapılmıştır. Tasarlanan seçici sulama sisteminde bitkilere özgü karar verme süreci için makine öğrenme modelleri üzerinde çalışılmıştır. Ancak tarımsal verilerin lineer olmayan karakteristiğe sahiptir. Bu nedenle tarımsal sulama da makine öğrenmesi için matematiksel bir algoritmanın oluşturulması çok zorlu bir süreç olarak gerçekleşti. Makine öğrenmesi sürecinin daha basit ama etkili kılmak için iki ana veri üzerinde çalışıldı. Bunlardan biri Dünya Tarım Örgütü tarafından geliştirilen CROPWAT 8.0 programında ki sulama suyu verileri bir diğeri ise toprak nem sensör verisidir. Toprak nem verileri dikkate alınarak CROPWAT programı tarafından önerilen sulama su miktarları makine öğrenmesine tabi tutuldu. Bu iki veri ışığında makine öğrenmesi tarafında toprak nem verisine göre bitkilere özgü sulama su miktarı tahmini gerçekleştirilmiştir.

SSS sistemi uygulama süresi yaptığı sulama su miktarları kayıt altına alınmıştır. CROPWAT programı tarafında önerilen sulama miktarı ile SSS sisteminin makine öğrenmesi yoluyla yapmış olduğu sulama verileri karşılaştırılmıştır. Toplam sulama suyu miktarlarına bakıldığında biber için %9,26 ve domates için ise %4,46 oranında su tasarrufu sağlanmıştır.

Sistem IoT destekli bir yapıya sahip olması nedeniyle genişletilebilir ve ek modüller eklenebilir. Sulama suyu algoritmaları geliştirilirken daha fazla sensörden faydalanılarak daha net ve kesin sulama su miktarları belirlenebilir. Aynı zaman daha ileri düzeyde makine öğrenme modelleri test edilerek ideal bir sulama suyu programı oluşturulabilir. Akıllı sulama sistemlerine entegre akıllı sıvı gübreleme sistemleri üzerine çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Abba, S., Namkusong, J. W., Lee, J. A., & Crespo, M. L. (2019). Design and performance evaluation of a low-cost autonomous sensor interface for a smart iot-based irrigation monitoring and control system. *Sensors (Switzerland)*, 19(17).
<https://doi.org/10.3390/s19173643>
- Al-Ali, A. R., Nabulsi, A. Al, Mukhopadhyay, S., Awal, M. S., Fernandes, S., & Ailabouni, K. (2019). IoT-solar energy powered smart farm irrigation system. *Journal of Electronic Science and Technology*, 17(4), 100017.
<https://doi.org/10.1016/J.JNLEST.2020.100017>
- Atalay, M., & Çelik, E. (2017). BüyükVeriAnalizinde Yapay Zekâ VeMakineÖğrenmesi Uygulamaları - Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Big Data Analysis. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 155–172.
<https://doi.org/10.20875/makusobed.309727>
- Benyezza, H., Bouhedda, M., & Rebouh, S. (2021). Zoning irrigation smart system based on fuzzy control technology and IoT for water and energy saving. *Journal of Cleaner Production*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127001>
- Berthold, M. R., Cebron, N., Dill, F., Di Fatta, G., Gabriel, T. R., Georg, F., Meinel, T., Ohl, P., Sieb, C., & Wiswedel, B. (2009). KNIME - the Konstanz information miner. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 58–61. <https://doi.org/10.1145/1656274.1656280>
- Beyazgül, M., Tahmiscioğlu, M. S., Sönmez, B., & Özer, M. N. (2017). *Türkiye’de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri* (p. 600).
- Cagri Serdaroglu, K., Onel, C., & Baydere, S. (2020). IoT based smart plant irrigation system with enhanced learning. *2020 IEEE Computing, Communications and IoT Applications, ComComAp 2020*.
<https://doi.org/10.1109/ComComAp51192.2020.9398892>
- Cetin, O. (2022). *Bitki Katsayılarının (Kc) Yerel İklim Verileri Kullanılarak (FAO - 56 ’*

dan) Uyarlanması * Öner Çetin Dicle Üniversitesi , Ziraat Fakültesi , Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü , Diyarbakır. January 2013.

<https://doi.org/10.13140/2.1.4673.6164>

Chavan, P. C. H., & Karande, M. P. V. (2014). Wireless Monitoring of Soil Moisture, Temperature & Humidity Using Zigbee in Agriculture. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 11(10), 493–497.

<https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v11p296>

Demirbaş, H. (2021). *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü / Makina Mühendisliği Anabilim Dalı / Güneş Güneş Enerjili Otomatik Bitki Sulama Sistemi / Yüksek Lisans Tezi.*

DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörünün Arduino ile Kullanımı | Arduino Türkiye. (n.d.).

<https://www.arduino-media.com/arduino-ile-dht11-sicaklik-ve-nem-sensoru-kullanimi/#:~:text=Kütüphaneyi indirdikten sonra%2C dosya üzerinde,nem sensörünü arduino ile>

Dietz, C., & Berthold, M. R. (2016). KNIME for open-source bioimage analysis: A tutorial. *Advances in Anatomy Embryology and Cell Biology*, 219, 179–197.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-28549-8_7/COVER/

Domínguez-Niño, J. M., Oliver-Manera, J., Girona, J., & Casadesús, J. (2020). Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 228(November), 105880. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105880>

El Naqa, I., & Murphy, M. J. (2015). What Is Machine Learning? *Machine Learning in Radiation Oncology*, 3–11. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3_1

Ercan, Ş., Öztep, R., Güler, D., & Ssaner, G. (2019). Tarım 4.0 ve Türkiye’de Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi.*

<https://doi.org/10.24181/tarekoder.650762>

Ersin, Ç. (2015). *Arduino Mikrodenetleyici ve Güneş Enerjisi ile Çalışan Otomatik Bitki*

Sulama Sistemi.

Genel Kullanım Selenoid Valf | Ayvaz Seleoid Vanalar | Vana | Nedir, fiyatları, çeşitleri.

(n.d.). <https://www.ayvaz.com/urunler/296-Genel-Kullanim-Selenoid-Valf.html>

Gökrem, L., & Bozoklu, M. (2016). Nesnelerin İnterneti: Yapılan Çalışmalar ve Ülkemizdeki Mevcut Durum. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 13, 47–68. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gbad/issue/29709/319647>

González Perea, R., Camacho Poyato, E., Montesinos, P., & Rodríguez Díaz, J. A. (2019). Prediction of irrigation event occurrence at farm level using optimal decision trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157(December 2018), 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.043>

Gücük, M. (2019). *Hassas Tarım Uygulamalarında Nesnelerin İnternet Teknolojilerinin Kullanımı Yüksek Lisans Tezi.*

Happila, T., Kumar, U. S., Mohanbabu, A., Dhivya Bharathi, E., Dhivya, S., & Keerthika, K. (2021). A Design of Agricultural Greenhouse Monitoring System using Iot. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(10), 2059–2065.

Kanburoğlu Cebi, U., Özer, S., Altıntaş, S., Yurtseven, E., & Öztürk, O. (2018). Farklı Sulama Suyu Kalitesi ve Su Düzeylerinin Serada Yetiştirilen Domates Bitkisinin Verim ve Su Kullanım Etkinliği Üzerine Etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22, 33–46. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.299023>

Kapasitif Toprak Nem Sensörü - Higrometre Uygun Fiyatıyla Satın Al - Direnc.net®. (n.d.).

Karaman, S. (2014). Tokat İli Toprak ve Su Kaynaklarının Tarımsal Açından Değerlendirilmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2006(1), 37–44.

Kartal, S., Bozkurt Çolak, Y., Gönen, E., & Özfidaner, M. (2019). Tarsus Bölgesinde Patlıcan Bitkisinin Sulama Programının CROPWAT 8.0 Programı Kullanarak

Oluşturulması. *Türk Tarım ve Doęa Bilimleri Dergisi*, 332–342.

<https://doi.org/10.30910/TURKJANS.557129>

KAYA, M. (2019). Ağrı’Nin Kalkınması İçin Akıllı Tarım (Tarım 4.0 Önerisi. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, 75, 130–156.

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/abuhssbd/issue/51780/673507>

Kaya, S. (2010). *Büyüme-Derece-Günlere Dayalı Bitki Katsayıları Kullanılarak Erzurum Koşullarında Patatesin Sulama Planlaması Irrigation Scheduling Of Potato Using Growing-Degree-Days-Based Crop Coefficients Under Erzurum Conditions*. 3(2), 11–16.

Khan, M. A., Khan, M. A., Jan, S. U., Ahmad, J., Jamal, S. S., Shah, A. A., Pitropakis, N., & Buchanan, W. J. (2021). A Deep Learning-Based Intrusion Detection System for MQTT Enabled IoT. *Sensors 2021*, Vol. 21, Page 7016, 21(21), 7016.

<https://doi.org/10.3390/S21217016>

Kırnak, İ. T. H. (2011). *Yarı Kurak İklim Bölgelerinde Bitki Su Tüketiminin Tahmininde Kullanılabilecek Ampirik Modeller*. 8(1), 57–66.

Köksal, E. S. (2018). Sulama Suyu Yönetiminde Yeni Geliştirilen AGROS Bilgisayar Yazılımının Kullanılma Olanakları. *SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 457–467.

Kumar, A., Surendra, A., Mohan, H., Muthu Valliappan, K., & Kirthika, N. (2018). Internet of things based smart irrigation using regression algorithm. *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies, ICICICT 2017, 2018-Janua*, 1652–1657.

<https://doi.org/10.1109/ICICICT1.2017.8342819>

On Birinci Kalkınma Planı 2019-2023. (n.d.). Retrieved June 15, 2022, from

<https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf>

Özdemir, A., Nursaçan, M. N. N., & Nursaçan, İ. C. (2018). 2014-2018 Yılları Arasında Nesneleri İnterneti (İot) Üzerine Bir Literatür Taraması. *Bandırma Onyedİ Eylöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 1–22.

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/banusad/issue/41748/485233>

- Poonia, A., Ghosh, S., Ghosh, A., Nath, S. B., Ghosh, S. K., & Buyya, R. (2021). CONFRONT: Cloud-fog-dew based monitoring framework for COVID-19 management. *Internet of Things (Netherlands)*, 16(May), 100459.
<https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100459>
- Ritzema, H. P. (1994). Evaporation from Open Water: The Penman Method. *Drainage Principles and Applications*, 1 963.
- Rong, S., & Bao-Wen, Z. (2018). The research of regression model in machine learning field. *MATEC Web of Conferences*, 176, 01033.
<https://doi.org/10.1051/MATECCONF/201817601033>
- Rose, N., Sankaranarayanan, S., Pande, S. K., & Das, D. (2020). Application of FAO-CROPWAT software for modelling irrigation schedule of rice in Rwanda. *Rwanda Journal of Agricultural Sciences*, 1(1), 7–13.
<https://www.ajol.info/index.php/rjeas/article/view/193251>
- Sai Prasanth, P. V. V., Veera Prasad, G., & Kiran Babu, M. (2019). Automatic irrigation system using arduino uno. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(5), 457–459.
- Şenol, R. (2012). Tarımsal sulama ve güneş enerjisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(3), 519–526.
<https://doi.org/10.17341/gummfd.73755>
- Sirisha, V., & Sahitya, G. (2021). Smart irrigation system for the reinforcement of Precision agriculture using prediction algorithm: SVR based smart irrigation. *Proceedings of the 6th International Conference on Inventive Computation Technologies, ICICT 2021*, 1059–1066.
<https://doi.org/10.1109/ICICT50816.2021.9358524>
- Soni, D., & Makwana, A. (2017). *A Survey On Mqtt: A Protocol Of Internet Of Things(Iot) MP-Index View project Analysis and Survey on String Matching Algorithms for*

Ontology Matching View project A Survey On Mqtt: A Protocol Of Internet Of Things (IOT). <https://www.researchgate.net/publication/316018571>

Soulis, K. X., Elmaloglou, S., & Dercas, N. (2015). Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. *Agricultural Water Management*, 148, 258–268.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.015>

Tahm, S. (2010). *Fao penman monteith yönteminin türkiye’de sulama projelerinde uygulanmasına geçiş projesi.* 1–8.

Taneja, K., & Bhatia, S. (2017). Automatic irrigation system using Arduino UNO. *Proceedings of the 2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2017, 2018-January*, 132–135.
<https://doi.org/10.1109/ICCONS.2017.8250693>

Taş, O., & KİANİ, F. (2021). Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Kablosuz Algılayıcı Ağların Güvenliğine Yapılan Saldırıların Tespit Edilmesi ve Önlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 24(1), 219–235. <https://doi.org/10.2339/POLITEKNIK.627825>

Taştan, M. (2019). Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Sulama ve Uzaktan İzleme Sistemi. *European Journal of Science and Technology*, 15, 229–236.
<https://doi.org/10.31590/ejosat.525149>

Thangavel, D., Ma, X., Valera, A., Tan, H. X., & Tan, C. K. Y. (2014). Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware. *IEEE ISSNIP 2014 - 2014 IEEE 9th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, Conference Proceedings.*
<https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2014.6827678>

UNFPA Türkiye | UNFPA State of World Population Report 2020. (n.d.). Retrieved June 10, 2022, from <https://turkiye.unfpa.org/tr/node/49859>

Verrelst, J., Muñoz, J., Alonso, L., Delegido, J., Rivera, J. P., Camps-Valls, G., & Moreno, J. (2012). Machine learning regression algorithms for biophysical parameter retrieval:

Opportunities for Sentinel-2 and -3. *Remote Sensing of Environment*, 118, 127–139.
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2011.11.002>

Warr, W. A. (2012). Scientific workflow systems: Pipeline Pilot and KNIME. *Journal of Computer-Aided Molecular Design* 26:7, 26(7), 801–804.
<https://doi.org/10.1007/S10822-012-9577-7>



EKLER

EK-1. Domates Bitkisi Regresyon Modeli Python Programı

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd
from google.colab import files
uploaded = files.upload()

<IPython.core.display.HTML object>

Saving doomates.csv to doomates.csv

datas=pd.read_csv("doomates.csv")
datas.head()

datas_df = datas[['domates_nem','FAO_D']]

# Sutunlari yeniden isimlendirelim.
datas_df.columns = ['D_nem', 'FAO']

import seaborn as sns
sns.pairplot(datas_df, kind="reg")

<seaborn.axisgrid.PairGrid at 0x7f7d4e44a090>

datas_df.shape

(125, 2)

datas_df.fillna(method='ffill',inplace=True)
datas_df.isnull().sum()

/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/pandas/core/frame.py:5182:
SettingWithCopyWarning:
A value is trying to be set on a copy of a slice from a DataFrame

See the caveats in the documentation: https://pandas.pydata.org/pa
ndas-docs/stable/user_guide/indexing.html#returning-a-view-versus-
a-copy
    downcast=downcast,
```

```
D_nem    0
FAO      0
dtype: int64
```

```
#x sütun Domates nem y sütunu FAO Cropwat verileri
```

```
x=np.array(datas_df["D_nem"]).reshape(-1,1)
```

```
y=np.array(datas_df["FAO"]).reshape(-1,1)
```

```
#test ve uygulama verilerinin oluşturulması
```

```
from sklearn.model_selection import train_test_split
```

```
x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(x, y, test_size=0.30)
```

```
#doğrusal regresyon uygulaması
```

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression
```

```
dogrusal_reg=LinearRegression()
```

```
dogrusal_reg.fit(x_train, y_train)
```

```
LinearRegression()
```

```
y_pred = dogrusal_reg.predict(x_test)
```

```
dogruluk_puani=dogrusal_reg.score(x_test, y_test)
```

```
print("Doğrusal regresyon modeli doğruluk puanı:" + "{:.1%}" .format(dogruluk_puani))
```

Doğrusal regresyon modeli doğruluk puanı:22.7%

```
#doğrusal regresyon model grafiği
```

```
plt.scatter (x_test, y_test, color='r')
```

```
plt.plot (x_test, y_test, color='b')
```

```
[<matplotlib.lines.Line2D at 0x7f7d49ff8890>]
```

```
#veri seti üzerinden 4 derece polinom uygulaması
```

```
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
```

```
poli_reg = PolynomialFeatures(degree = 4)
```

```
transform_poli = poli_reg.fit_transform(x_train)
```

```
dogrusal_reg2 = LinearRegression()
```

```
dogrusal_reg2.fit(transform_poli, y_train)
```

```
poli_tahmin = dogrusal_reg2.predict(transform_poli)
```

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error,r2_score
```

```

rmse = np.sqrt(mean_squared_error(y_train, poli_tahmin))
r2 = r2_score(y_train, poli_tahmin)
print("test verisi için karesel ortalama hata:" + "{:.2}".format(rmse))
print("test verisi için R2 Skoru:" + "{:.2}".format(r2))

#lineer regresyon görselleştirme
plt.scatter(x_train,y_train)

import operator
sort_axis = operator.itemgetter(0)
sorted_zip = sorted(zip(x_train, poli_tahmin), key=sorted)
x_train, poli_tahmin = zip(*sorted_zip)
plt.plot(x_train, poli_tahmin, color='r' , label='polinom regresyon'
)
plt.plot(x_test, y_pred, color='g' , label='Lineer regresyon')
plt.xlabel('D_nem')
plt.ylabel('FAO')
plt.legend()
plt.show()

dogrusal_reg.predict([[0.35]])

array([[4.47719849]])

dogrusal_reg2.predict(poli_reg.fit_transform([[0.8]]))

array([[4.47582519]])

```

EK-2. Biber Bitkisi Regresyon Modeli Python Programı

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd
from google.colab import files
uploaded = files.upload()

<IPython.core.display.HTML object>

Saving bibersb.csv to bibersb.csv

datas=pd.read_csv("bibersb.csv")
datas.head()

datas_df = datas[['biber_nem', 'FAO_B']]

# Sutunları yeniden isimlendirelim.
datas_df.columns = ['B_nem', 'FAO']

import seaborn as sns
sns.pairplot(datas_df, kind="reg")

<seaborn.axisgrid.PairGrid at 0x7fd6ff48b590>

datas_df.shape

(125, 2)

datas_df.fillna(method='ffill', inplace=True)
datas_df.isnull().sum()

/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/pandas/core/frame.py:5182:
SettingWithCopyWarning:
A value is trying to be set on a copy of a slice from a DataFrame

See the caveats in the documentation: https://pandas.pydata.org/pa
ndas-docs/stable/user_guide/indexing.html#returning-a-view-versus-
a-copy
    downcast=downcast,
```

B_nem	0
FAO	0

dtype: int64

```

#x sütun biber nem y sütunu FAO Cropwat verileri
x=np.array(datas_df["B_nem"]).reshape(-1,1)
y=np.array(datas_df["FAO"]).reshape(-1,1)

#test ve uygulama verilerinin oluşturulması
from sklearn.model_selection import train_test_split
x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(x, y, test_size=0.30)

#doğrusal regresyon uygulaması
from sklearn.linear_model import LinearRegression
dogrusal_reg=LinearRegression()
dogrusal_reg.fit(x_train, y_train)

LinearRegression()

y_pred = dogrusal_reg.predict(x_test)
dogruluk_puani=dogrusal_reg.score(x_test, y_test)
print("Doğrusal regresyon modeli doğruluk puanı:" + "{:.1%}" .format(dogruluk_puani))

Doğrusal regresyon modeli doğruluk puanı:-9.4%

#doğrusal regresyon model grafiği
plt.scatter (x_test, y_test, color='r')
plt.plot (x_test, y_test, color='b')

[<matplotlib.lines.Line2D at 0x7fd6eccd5a90>]

#veri seti üzerinden 4 derece polinom uygulaması
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
poli_reg = PolynomialFeatures(degree = 4)
transform_poli = poli_reg.fit_transform(x_train)

dogrusal_reg2 = LinearRegression()
dogrusal_reg2.fit(transform_poli, y_train)
poli_tahmin = dogrusal_reg2.predict(transform_poli)

from sklearn.metrics import mean_squared_error,r2_score
rmse = np.sqrt(mean_squared_error(y_train, poli_tahmin))
r2 = r2_score(y_train, poli_tahmin)
print("test verisi için karesel ortalama hata:" + "{:.2%}".format(rmse))

```

```

se))
print("test verisi için R2 Skoru:" + "{:.2}".format(r2))

#lineer regresyon görselleştirme
plt.scatter(x_train,y_train)

import operator
sort_axis = operator.itemgetter(0)
sorted_zip = sorted(zip(x_train,poli_tahmin),key=sorted)
x_train, poli_tahmin = zip(*sorted_zip)
plt.plot(x_train,poli_tahmin,color='r' , label='polinom regresyon'
)
plt.plot(x_test,y_pred, color = 'g' , label='Lineer regresyon')
plt.xlabel('B_Nem')
plt.ylabel('FAO')
plt.legend()
plt.show()

dogrusal_reg.predict([[0.34]])
array([[4.31550116]])

dogrusal_reg2.predict(poli_reg.fit_transform([[0.73]]))
array([[3.71633496]])

```