

TOPRAKSIZ TARIM SİSTEMİ

Ahmet Hakan ÖZGÜVEN

LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

OCAK 2023

ANKARA

Ahmet Hakan ÖZGÜVEN tarafından hazırlanan “**TOPRAKSIZ TARIM SİSTEMİ**”
adlı bu tezin Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa BURUNKAYATez Danışmanı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği
Bölümünde Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erdal IRMAK

Prof. Dr. Murat YÜCEL

Doç. Dr. Ali SAYGIN

Doç. Dr. Ayşe DEMİRHAN

Tarih: 12/01/2023

Bu tez, G.Ü. Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği’nce onanmıştır.

Prof. Dr. Ercan Nurcan YILMAZ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanı

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum bilgi ve dokümanları akademik kurallar etik çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmamda özgün verilerim dışında kalan ve tezde yararlanılan eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu ve başka bir yerde sunmadığımı

Beyan ederim.

Ahmet Hakan ÖZGÜVEN

18.01.2016

TOPRAKSIZ TARIM SİSTEMİ

(Lisans Tezi)

Ahmet Hakan ÖZGÜVEN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ**

Ocak 2023

ÖZET

Bu çalışmada, günümüzde oldukça önemli olan açlık ve kuraklık sorununa çözüm olabilecek topraksız tarım sistemlerinin kaplı alanlarda çalışmasını otomatik hale getirebilecek bir sistem tasarlanmıştır. Yapılan çalışmanın tam anlamıyla işlevsel olabilmesi için kapalı alana 2 metre uzunluğunda NFT kanal topraksız tarım sistemi kurulup 7 adet Marul bitkisinin gelişimi incelenmiştir. IoT kavramının gerekliliklerini taşıyan bu sistem tasarımı, bir topraksız tarım sistemi besin çözeltisinin TDS değerini, EC değerini, su sıcaklığını, hava sıcaklığını ve su seviyesi yüksekliğini Bulut tabanlı Firebase veritabanına aktarırken aynı zamanda internetten verilecek komutlara göre yapay ısklandırma ve devirdaim pompasının kontrolünü gerçekleştirebilecektir.

Bilim Kodu :

Anahtar Kelimeler: Topraksız Tarım, Hidroponik, NFT, EC, pH, IoT, Firebase

Sayfa Adedi : 52

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa BURUNKAYA

SOILLESS AGRICULTURE SYSTEM

(Thesis)

Ahmet Hakan ÖZGÜVEN

GAZİ UNIVERSITY

FACULTY OF TECHNOLOGY

January 2023

ABSTRACT

In this study, a system was designed to automate the operation of soilless agriculture systems in covered areas, which can be a solution to the hunger and drought problem, which is very important today. In order for the study to be fully functional, a 2-meter long NFT channel soilless agriculture system was installed in the indoor area and the development of 7 Lettuce plants was examined. This system design, which carries the requirements of the IoT concept, will be able to transfer the TDS value, EC value, water temperature, air temperature and water level height of a hydroponic farming system nutrient solution to the Cloud-based Firebase database, while at the same time controlling the artificial lighting and circulation pump according to the commands to be given from the internet.

Science Code :

Keywords : Soilless Agriculture, Hydroponics, NFT, EC, pH, IoT, Firebase

Page Number : 52

Supervisor : Assc. Prof. Dr. Mustafa BURUNKAYA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, gerek mesleki gerekse insanı tecrübeleriyle bana yol gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mustafa BURUNKAYA' ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca eğitim hayatım boyunca maddi manevi beni destekleyen aileme teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1 Hidroponik Tarımda Sistem Çeşitleri	5
2.1.1 Fitol (Wick) Sistemi	5
2.1.2 Derin Su Kültürü (Deep Water Culture) Sistemi	5
2.1.3 Su Basma ve Tahliye (Ebb & Flood and Drain) Sistemi	6
2.1.4 Damlama (Drip) Sistemi	6
2.1.5 Sisleme (Aeroponics) Tekniğı	7
2.1.5 Besin Filmi Tekniğı (Nutrient Film Technique)	7
2.1.5 Akuaponik (Bitki-Balık) Sistemi	7
2.2 Topraksız Tarım Yetiştiriciliğinde Yapay Işıklandırmanın Etkisi	8
2.3 Hava Sıcaklığının Marulun Büyümesi Üzerindeki Etkileri	11
2.4 Kök Sıcaklığının Marulun Büyümesi Üzerindeki Etkileri	12
2.5 Çözünmüş Madde Miktarının Ölçülerek Kontrol Edilmesi	13
2.5.1 EC (Electrical Conductivity) Ölçümünün Topraksız Tarımdaki Rolü ..	14
2.5.1.1 EC ve TDS Kavramlarının Açıklanması	17
2.5.2 PH Ölçümünün Topraksız Tarımdaki Rolü	19
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1 NFT (Besin Filmi Tekniğı) Kanal Sisteminin Oluşturulması	20
3.1.1 Besin Çözeltili Haznesi	21
3.1.2 Devirdaim Dalgıç Pompa	21
3.1.3 LED Btki Yetiştirme Işığı	23
3.1.4 Referans TDS Metre	24

3.1.5	Referans pH Metre.....	25
3.1.6	Besin Çözeltileri	26
3.1.7	pH Arttırıcı ve Düşürücü.....	27
3.2	Kontrol ve İzleme Sistemi Tasarımı	28
3.2.1	Arduino Uno R3 Devresi	30
3.2.2	ESP 8266 NodeMCU Devresi.....	34
4.	MARULLARIN SİSTEME AKTARILMASI	43
5.	SONUÇ	47
	KAYNAKLAR.....	48
	ÖZGEÇMİŞ.....	52

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.2 Yapay Işık Özelliklerine Göre Alınan En İyi Sonuçlar.....	10
Tablo 2.3 Hava Sıcaklığına Göre Alınan En İyi Sonuçlar	12
Tablo 2.4 Kök Sıcaklığına Göre Alınan En İyi Sonuçlar	13
Tablo 2.4 Kök Sıcaklığına Göre Alınan En İyi Sonuçlar	13
Tablo 2.5 Salata, marul ve diğer yeşillikleri yetiştiren farklı yetiştiriciliklerin kullandığı besin solüsyonlarındaki elementlerin konsantrasyon aralıkları	14
Tablo 2.5.1 EC Değerine Göre Alınan En İyi Sonuçlar	17
Tablo 4 Yapılan Ölçümlerin Tablosu	46

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.2 Kontrol ve İzleme Sistemi Şeması	28

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1.1 Fitil (Wick) Sistemi	5
Resim 2.1.2 Derin Su Kültürü (Deep Water Culture) Sistemi	5
Resim 2.1.3 Su Basma ve Tahliye (Ebb & Flood and Drain) Sistemi.....	6
Resim 2.1.4 Damlama (Drip) Sistemi	6
Resim 2.1.5 Sisleme (Aeroponics) Tekniği	7
Resim 2.1.6 Besin Filmi Tekniği (Nutrient Film Technique)	7
Resim 2.1.7 Aquaponic Sistem	8
Resim 3.1.1 NFT Kanal	20
Resim 3.1.2 Rekor ve Tıpa Bağlantısı	20
Resim 3.1.3 Kanal Üzerine Deliklerin Açılması	20
Resim 3.1.4 Delikli File Saksıların Yerleştirilmesi	20
Resim 3.1.1.1 Besin Çözeltilisinin Birikeceği Kova	21
Resim 3.1.2.1 Unistar Marka Dalgıç Su Pompası	22
Resim 3.1.2.2 0-12 VDC Ayarlı Güç Kaynağı.....	23
Resim 3.1.3.1 LED Yapay Işık Kaynağı.....	23
Resim 3.1.4.1 Referans TDS Metre	24
Resim 3.1.5.1 Referans pH Metre	25
Resim 3.1.6.1 Topraksız Tarım Besin Çözeltilisi Kiti	26
Resim 3.1.7.1 pH Yükseltme ve Düşürme Kiti	27
Resim 3.2.1 IoT Kontrol Sistemi.....	29
Resim 3.2.2 Sistemin Delikli Pertinaks Üzerine Lehimlenmesi	29
Resim 3.2.1.1 Arduino Uno R3 Geliştirme Kartı	30
Resim 3.2.1.2 Arduino'dan ESP'ye Veri Aktarımı	31
Resim 3.2.1.3 ESP'den Gelen Verilerin Parse Fonksiyonu ile Parçalara Bölünmesi	31
Resim 3.2.1.4 Epoch Time Verisi'nin String Olarak Tarih ve Saate Dönüştürülmesi	32
Resim 3.2.1.5 Rölelerin Kontrol Edilmesi	32
Resim 3.2.1.6 Timer Interrupt Ayarları	32
Resim 3.2.1.7 Timer Interrupt Fonksiyonu'nun İçeriği	33
Resim 3.2.1.8 Su Seviyesi Fonksiyonu	34

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.2.2.1 ESP8266 NodeMCU-E12 Geliştirme Kartı	35
Resim 3.2.2.2 ESP8266 NodeMCU İçin Tanımlanmış Kütüphaneler	35
Resim 3.2.2.3 WiFi ve Firebase Server Tanımlamaları	36
Resim 3.2.2.4 NodeMCU void setup()	36
Resim 3.2.2.5 DS18B20 Parazit Modu Bağlantısı	37
Resim 3.2.2.6 DS18B20 Normal Bağlantı	37
Resim 3.2.2.7 DS18B20'den Sıcaklık Verisinin Okunduğu Fonksiyon	37
Resim 3.2.2.8 Keystudio TDS Meter V1.0 Bağlantı Şeması	38
Resim 3.2.2.9 TDS Sensörü'nün Tanımlamaları	39
Resim 3.2.2.10 Medyan Fonksiyonu	39
Resim 3.2.2.11 TDS Metre Fonksiyonu	40
Resim 3.2.2.12 UTC ve NTP Server Tanımlamaları	40
Resim 3.2.2.13 Epoch Time Verisinin Tarih ve Saate Dönüştürülmesi	41
Resim 3.2.2.14 Verilerin Firebase'ye Aktarılması	41
Resim 3.2.2.15 Firebase Database Arayüzü	42
Resim 3.2.2.16 TDS Verilerinin Kaydedildiği Database	42
Resim 3.2.2.17 Kaydedilen Verilerin JSON Formatında İndirilmesi	43
Resim 3.2.2.18 Firebase'den Pompa ve Led Kontrolü	43
Resim 3.2.2.19 Arduino'dan Alınan Röle Bilgilerinin Firebase'ye Yollanması	43
Resim 4.1 NFT Kanal Sistemi Montajı	44
Resim 4.2 Marulların NFT Kanala Yerleştirilmesi	44
Resim 4.3 NFT Kanal Sistemi ve Kontrol Devresi	45
Resim 4.4 5 Ocak 2023 Tarihinde Marulların Durumu	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklama
cm	Santimetre
EC	Elektriksel İletkenlik
g	Gram
kg	Kilogram
l	Litre
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
°C	Santigrat derece
PPM	Milyonda bir birim
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
H ₃ PO ₄	Fosforik asit
HCl	Hidrojen klorür
HNO ₃	Nitrik asit
HPO ₄ -2	Hidrojenfosfat
KOH	Potasyum hidroksit
NaOH	Sodyum hidroksit
NFT	Besleyici film tekniği
LED	Light Emitting Diode
PAR	Photosentetic Active Radiation
TDS	Total Dissolved Solids
pH	Potential Hydrogen
PVC	Poli Vinil Klorür
VDC	Volt Direct Current
VAC	Volt Alternative Current
ADC	Analog Digital Converter
IoT	Internet of Things
NTP	Network Time Protocol

1. GİRİŞ

Tarımsal üretim, yüzyıllardır çiftçiler tarafından geleneksel yöntemlerle yapılmaktadır. Ancak son yıllarda artan nüfus, azalan tarım arazileri, kullanılabilir su kaynaklarında azalma, elverişsiz hava koşulları, artan lojistik maliyetler, şehir merkezlerine yakın olan arazilerin yüksek maliyetleri, besin güvenliği, gıda erişilebilirliği, aracılık ve depolama maliyetleri gibi küresel zorluklar nedeniyle geleneksel tarıma alternatif olarak akıllı tarım, yani tamamen kapalı mekanlarda topraksız tarım sistemleri gündeme gelmiştir [1,2,3]. Bu sistemlerde, her bitki için uygun şartların sağlanması gerekmektedir. Bu şartlar arasında ısıtma, soğutma, hava nemi, aydınlanma şiddeti ve süresi, havalandırma, O₂ ve CO₂ kontrolü, sulama süresi ve miktarı, pH ve EC, gübre türü ve miktarı gibi bilgiler yer almaktadır. Bu sayede, sürdürülebilir tarım teknikleriyle yüksek verimli üretim sağlanabilir [4].

Günümüz teknolojisi sayesinde, kapalı alanlarda topraksız tarım sistemleriyle bitkilerin kontrollü şartlarda yetiştirilmesi mümkün hâle gelmiştir. Bu sistemlerde, yazılım sistemleriyle bitkilere uygulanacak koşullar belirlenir ve bu koşulların kontrolü otomatik olarak yapılır. Bu sayede, dışsal koşulların verim ve üretim üzerindeki sınırlandırıcı etkileri en düşük seviyeye indirilebilir ve toprağa bağımlılık ortadan kaldırılabilir. Bu sayede, insan beslenmesi için yeterli ve kaliteli üretim yapılması mümkün olur. Bu yöntem aynı zamanda çevre açısından da daha sürdürülebilir bir tarım tekniğidir, çünkü toprak kullanılmadığından toprağın bozulması ve kirlenmesi riski üretimi etkilememektedir.

1930'lu yıllarda laboratuvar dışında ilk topraksız bitki yetiştiriciliği ABD'de hidroponik sistem içinde domates yetiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışmayı yapan araştırmacı bu tekniği Yunanca su (hydro) ve çalışma (ponos) anlamına gelen iki kelimeden oluşan hidroponik olarak adlandırmıştır. 1940'lı yıllarda topraksız yetiştiriciliğin dünyadaki ilk uygulaması, II. Dünya Savaşı'nda Pasifik Okyanusu'ndaki adalarda konuşlanan askerlerine taze sebze temin edebilmek amacıyla su ve çakıl kültürü ile sebze yetiştiren Amerikan ordusu tarafından gerçekleştirilmiştir. 1965'te İngiltere'de akan su kültürü (NFT: Besleyici film tekniği) geliştirilmiştir. 2000'li yıllara gelindiğinde topraksız tarım Akdeniz Havzası'nda da önem kazanmıştır [43].

Verimsiz toprakların yerine kullanılması amacıyla, Amerika, Çin ve Japonya gibi ülkeler, topraksız tarım denemelerine uzayda başlamıştır. Bu denemelerde, düşük kütle çekimi, farklı toprak yapısı, yapay ışıklandırma ve kısıtlı alanlarda bitki yetiştiriciliği yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak, NASA tarafından öncülük edilen hidroponik üretim tekniği dünya genelinde yaygın bir kullanım alanına ulaşmıştır. Uzayda veya başka bir gezegende (özellikle ay ve Mars) uzun süre kalınmasını sağlamak amacıyla yürütülen döngüsel bitki üretim projesi olan 'Mars Lunar Greenhouse', kapalı bir tüp içerisinde besin üretimi yapılırken, aynı zamanda oksijen üretilir ve karbondioksitin bitkiler tarafından kullanılarak bertaraf edilir. Bu proje ayrıca su ve atık geri dönüşümü için de tasarlanmıştır [5]. Bu gibi çalışmaların esinlenici etkisiyle, Amerika, Hollanda, Japonya, Singapur, İngiltere ve İsviçre gibi ülkelerde kurulan kapalı bitkisel üretim çiftlikleri, çevreye duyarlı tesislerin kurulması ve işletilmesi, bölgesel tüketici taleplerine cevap verecek üretim yapılması, üretim miktarının artırılması ve toplumun kontrollü, güvenli, besleyici ve lezzetli yiyeceklerle beslenmesi amacıyla kurulmuştur [3].

Günümüzde dünya nüfusu 7,3 milyar iken, 2050 yılına kadar bu rakamın 9,1 milyara ulaşması beklenmektedir. Bugün Dünya nüfusunun %49'u kentsel alanlarda yaşarken, 2050 yılında bu oranın %70'in üzerine çıkması beklenmektedir [6]. Bu artış nüfusun gıda talebini de artıracak ve doğal kaynakların daha yoğun kullanılmasına neden olacaktır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün verilerine göre, 2016 yılında dünya ülkelerinde kişi başına düşen ekilebilir tarım alanı 0,210 hektar iken, 2050 yılında bu rakamın 0,181 hektara düşeceği tahmin edilmektedir [7]. Bu nedenle, insanlar artan gıda ihtiyacını karşılamaya yönelik yeni arayışlara girmek zorundadır ve bunlardan biri de kapalı bitkisel üretim sistemleridir. Bu sistemler, topraksız tarım yöntemlerine dayalı olarak kapalı mekanlarda bitkilerin yetiştirilmesine olanak sağlar ve böylece verimsiz toprakların yerine kullanılarak üretim miktarının artırılmasına çözüm sağlanmış olur.

Kapalı bitkisel üretim sistemleri, doğal koşulların yerine yapay koşulların kullanılması sayesinde, bitkilerin büyüme koşullarını kontrol etme imkanı sunmaktadır. Bu sistemlerde, bitkilerin güneş ışığı, su, hava koşulları, toprak ve besinler gibi ihtiyaç duydukları öğeler yapay olarak sağlanmaktadır. Bu sayede, bitkilerin büyüme hızı ve

verimliliği artırılabilir, ayrıca bitkilerin yetiştirilmesi için gereken alan azaltılabilir. Kapalı bitkisel üretim sistemleri, konteynırlarda, boş binalarda ve değerlendirilebilecek boş alanların kullanılması gibi farklı yerlerde de kurulabilir. Bu sayede, tarımsal üretimi artırmak isteyen araştırmacılar ve üreticiler, mevcut alanları verimli bir şekilde kullanarak, taze ürünler yetiştirebilirler. Ancak, bu sistemlerin kuruluş ve işletme maliyetleri yüksek olabilir ve bu nedenle, bu tür üretim sistemlerinin yaygınlaşmasının önünde bazı engeller bulunabilir.

Kapalı bitkisel üretim sistemlerinin çok fazla avantajının olmasına rağmen, tüm bitkilerde kullanımı mümkün değildir. Özellikle boyutlarının büyüklüğünden dolayı meyve ağaçlarında ve kullanılan topraksız tarım tekniğine uygun olmaması nedeni ile patates, havuç, pancar gibi toprak altı organları tüketilen bitkilerde şimdilik kullanılamamaktadır. Günümüzde marul, roka, maydanoz, ıspanak, soğan gibi yeşil sebze türleri yetiştirilmesinde bu sistemler yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca domates, biber, salatalık, kabak, lahana, nane, fasulye gibi birçok ürün de topraksız tarım sistemi ile verimli şekilde yetiştirilebilmektedir.

Çilek gibi küçük bitki yapısına sahip meyvelerde bu sistem kullanılabilir görünse de tozlaşma, çilek meyvesi oluşumu için oldukça önemli bir yere sahiptir. Doğada meyve ağaçları ve bitkileri tozlaştıran en önemli canlı türler arılar ve böceklerdir. Ancak, bazı durumlarda bu canlıların yetersiz olması veya meyve üretim tesislerinde doğal tozlaşma sistemlerinin yerine getirilememesi nedeniyle, bilim insanları alternatif tozlaştırma yöntemleri aramaktadırlar. Bunlardan biri de mini tozlaşma dronlarının kullanılmasıdır. Bu dronlar, meyve ağaçları ve bitkileri tozlatmak için tasarlanmış ve özel bir şekilde programlanmış robotlardır. Bilim insanları, bu dronların tasarımını ve çalışma prensiplerini geliştirmeye devam etmektedirler. Ancak, bu dronların kullanımının yaygınlaşması için halen bazı teknik ve ekonomik zorlukların çözülmesi gerekmektedir [8,9,10].

Topraksız tarım, bitkilerin hidroponik (su-çözelti) ve katı ortam (agregat-substrat) kültürleri gibi tekniklerle yetiştirilmesine dayanır. Bu tekniklerde, toprağın olmaması ve suyun az miktarda kullanılması prensibine dayanır. Hidroponik kültürde, bitkiler ihtiyaç duydukları besinleri mineraller içeren bir besin çözeltisinden alırlar. Bu çözelti, filtre edilerek bitkinin açıkta bulunan köklerine alttan uygulanır veya püskürtülerek

doğrudan verilir. Bu besleme tekniği sayesinde hiçbir atık çözeltisi oluşmaz. Katı ortam kültüründe ise, bitkiler zenginleştirilmiş organik (torf, kokopit, saman, mantar kompostu gibi) ve inorganik (kayayünü, strafor, kum, çakıl, perlit gibi) ortamlarda yetiştirilir ve bu ortamlarda kökler gelişir. Suyu karıştırılmış bir besin eriyiği damlama sulama yoluyla bitkiye verilir [10].

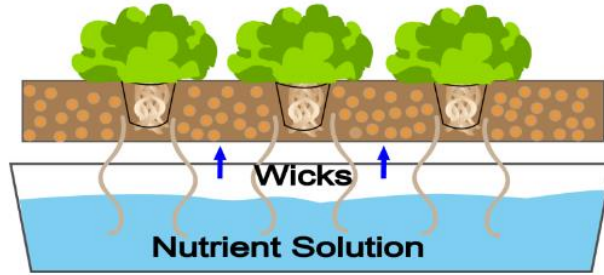
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Hidroponik Tarımda Sistem Çeşitleri

Hidroponik Tarımın birçok çeşidi bulunmaktadır. Bu çeşitler aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif sistemlerde bir pompa aracılığı ile besin maddeleri bitki köküne iletilirken, pasif sistemlerde ise sadece bitki kökü yetiştirilir.

2.1.1 Fitol (Wick) Sistemi

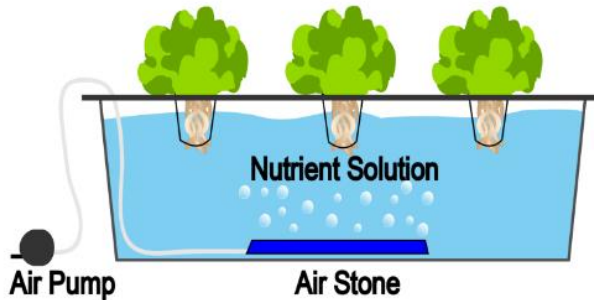
Fitil sistemi bitkilere su ve besin maddelerini direkt olarak verir. Bu sistemde, bitkiler fitiller üzerinde yetiştirilir ve fitiller bitkilerin köklerine doğrudan besin maddelerini iletmektedir. Fitil sistemi, hidroponik tarıma yeni başlayanlar için oldukça kolay ve maliyeti düşük bir yöntemdir. Ayrıca, fitil sistemi pasif sistemler arasında değerlendirilir, çünkü su ve besin maddelerini pompalama veya başka bir mekanik sisteme ihtiyaç duyulmaksızın bitkilere iletir.



Resim 2.1.1 Fitil (Wick) Sistemi

2.1.2 Derin Su Kültürü (Deep Water Culture) Sistemi

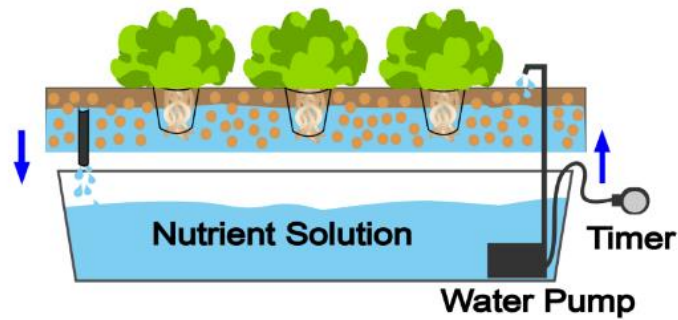
Derin Su kültürü sisteminde kökler bir besin çözeltisi aracılığı ile doyurulurken aynı zamanda da bir oksijen yardımı ile köklerin boğulması engellenmektedir. Derin Su Kültürü gündüz sıcaklığının yüksek olduğu, gecelerin ise daha soğuk olduğu ortamlar için daha uygundur. Yüksek hacimde suyun getirmiş olduğu tamponlama kapasitesi aracılığı ile suyun soğuması yavaşlayıp daha az enerji harcanmış olur.



Resim 2.1.2 Derin Su Kültürü (Deep Water Culture) Sistemi

2.1.3 Su Basma ve Tahliye (Ebb & Flood and Drain) Sistemi

Su basma ve tahliye sisteminde bitkinin ihtiyaç duyduğu sıvılar pompa yardımı ile bitki köklerine ulaştırılır. Devamında kalan su ve besinler hazneye aktarılarak tahliye edilmiş olur. Sistemin adı da buradan gelmektedir. Zamanlayıcı yardımı ile besin maddeleri zamanında köklere iletilir. Sistemin düzgün çalışabilmesi için öncelikle oksijenin yeterli miktarda olması gerekmektedir. Taşıma borusu da tahliye borusundan daha geniş olmalıdır. Böylelikle süreklilik ve devamlılık sağlanmış olur.

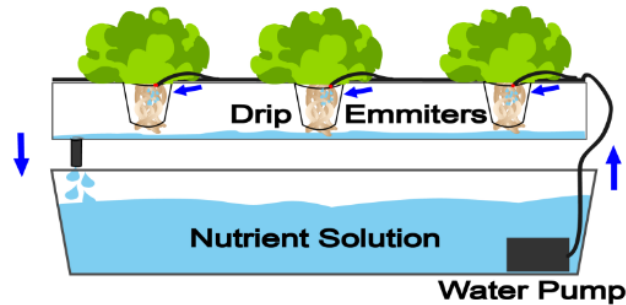


Resim 2.1.3 Su Basma ve Tahliye (Ebb & Flood and Drain) Sistemi

2.1.4 Damlatma (Drip) Sistemi

Damlatma sistemi günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Aktif Hidroponik Sistemler arasında yer almaktadır. Bitki köklerine bir zamanlayıcı yardımı ile besin maddeleri iletilir. Yetiştirme alanında bulunan besin maddeleri de tahliye yardımı ile hazneye geri aktarılır.

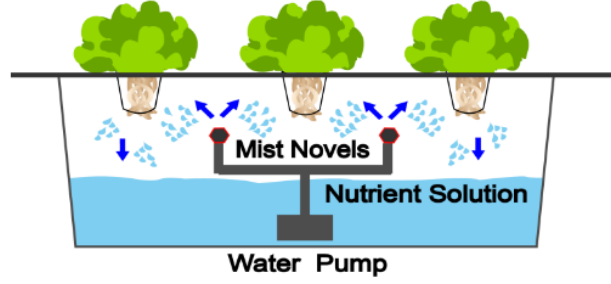
Damla sistemler dolaşımı veya dolaşımsız sistemler olabilir. Dolaşımsız sistemler, bitkiye tutarlı bir oranda yeterli besin sağlamak için yavaşça damlar. Dolaşımli sistemler ise aşağıdaki görüntüdeki gibi fazla besinlerin rezervuara geri akmasıyla daha sık damlar.



Resim 2.1.4 Damlatma (Drip) Sistemi

2.1.5 Sisleme (Aeroponics) Tekniği

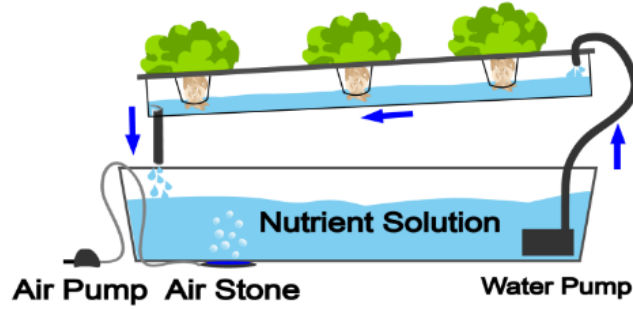
Sisleme tekniği, uygulaması kolay olmasa bile mantık olarak basittir. Bitkiler havada asılı kalır ve bitkinin kök sistemine besin solüsyonu püskürtülür. Besin solüsyonu, sis nozulları ile donatılmış borulara pompalanır. Basınç arttıkça buğulanmalar bitkinin köklerine püskürtür ve çözelti rezervuara geri düşer. Çözelti parçacık boyutu ne kadar küçük olursa, bitki kökleri tarafından emilim o kadar hızlı olur.



Resim 2.1.5 Sisleme (Aeroponics) Tekniği

2.1.6 Besin Filmi Tekniği (Nutrient Film Technique)

Besin Filmi Tekniğinde (NFT) bitkilerin bir olukta yer alması ve devridaim yapan su akışının bulunduğu sistemlerdir. Hafif eğimli olduğu için bu eğimde bitkilerin besleneceği çözeltiler akıtılır. Köklerin birçoğu su dışında yer alacağı için kökler rahatlıkla hava alır ve köklerde yaşanabilecek olan problemler azalır. Açıkta kalan kökler de ışıktan korunup nemli tutulmalıdır. Bu çalışma da Besin Filmi Tekniği kullanılarak yapılmıştır [12].

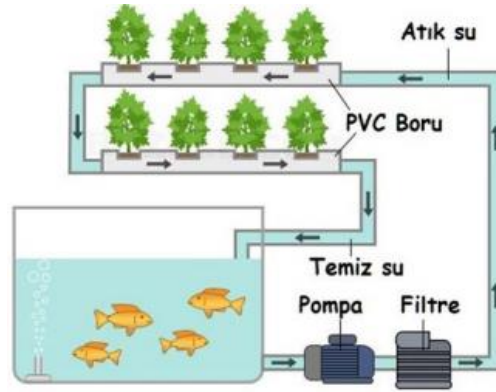


Resim 2.1.6 Besin Filmi Tekniği (Nutrient Film Technique)

2.1.7 Akuaponik (Bitki-Balık) Sistemi

Akuaponik sistemlerde sağlıklı balık yetiştirmede temiz suya ihtiyaç vardır. Ancak yetiştiricilik faaliyetleri sırasında oluşan atık ürünler sudaki kirlilik riskini arttırabilmektedir. Karasal ortamlarda yarı kapalı ya da kapalı devre sistemlerde balık yetiştiriciliğinde balıkların metabolik aktiviteleri sonucu ortaya çıkan atık ürünlerin

doğal ortama direk karışımını önlemek ya da azaltmak için akuaponik adı verilen balık-bitkisel ürün entegre sistemleri kullanılmaktadır. Akuaponik sistem ile hidroponik tarımı birleştirir. Sistemde kullanılan su, bitki ve balık tankları arasında döngü halindedir. Balık atıkları bitkiler için doğal gübre işlevi görürken, bitkiler ve yararlı bakteriler ortamdaki amonyağı ve diğer azotlu bileşikler sudan uzaklaştırır. Böylece su, balıklar için temiz hale getirilir. Akuaponik sistemde bitkiler, balık atıklarını yararlı bakteriler yardımıyla besine dönüştürürken, aynı zamanda suyu biyolojik olarak arıtmaktadır [39].



Resim 2.1.7 Aquaponic Sistem

2.2 Topraksız Tarım Yetiştiriciliğinde Yapay Işıklandırmanın Etkisi

Bitkilerin gelişimi ışık tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir. Işık, bitkinin çimlenmesinden hasat dönemine kadar olan sürede, vejetatif ve generatif organ oluşumu, fotosentez olayı, topraktan besin elementlerinin alınması ve yaprağı yenen bitkilerde nitrat birikimi gibi birçok faktör üzerinde etkilidir. Ayrıca, ışık yoğunluğu ve dalga boyu gibi faktörler de bitki büyüme özellikleri, boğum uzunluk farkları, bitki boyu, dallanma düzeni, yaprak boyutları ve biokütle gibi parametreler üzerinde etkili olmaktadır [13].

Serada yetiştirme süresi boyunca, bulutluluk, hava kirliliği, sis, yağış biçim ve yağış rejimleri, yüksek oransal nem, sera örtüsünün kirliliği, çatı eğimi dolayısıyla oluşan yansıma, örtünün cinsi ve ışınlamı absorbe edilmesi gibi pek çok sera dışı faktör, Fotosentetik Aktif Işık (PAR) miktarının ve dalga boyunun değişmesine neden olmaktadır. İç mekan yetiştiriciliğinde ise oda içerisine giren düşük miktarda ışınlamı enerjisinin bitkinin yaprak bölgesine ulaşamaması sonucu bitki gelişimi olumsuz etkilenmektedir [14,15].

Işık, iç mekan yetiştiriciliğinde bitki büyümesini ve gelişimini etkileyen başlıca

çevresel etkidir. Karasal güneş ışığı, elektromanyetik tayf'ın neredeyse yarısını görünür ışığın oluşturduğu; ultraviyole (UV), görünür ışık ve kızılötesi radyasyondan oluşur. UV radyasyonu 100-400 nm dalga boyuna sahiptir, görünür ışık 400-700 nm dalga boyuna sahiptir ve kızılötesi radyasyon 700-1000 nm dalga boyuna sahiptir. Karasal güneş ışığının geniş bir yelpazesi olmasına rağmen, bitkiler fotosentez üretmek için yalnızca görünür ışığın spektrumunu kullanabilir ve bu dar spektrum fotosentetik olarak aktif radyasyon (PAR) olarak kabul edilir. Bitkilerin aldıkları güneş radyasyonunun kalitesi ve miktarı, fotosentetik aktivitelerine çok bağlıdır. Kırmızı (650-700 nm) ve mavi (420-460 nm) için klorofil A ve B gibi farklı pigmentler, farklı ışık spektrumunun yakalanmasından veya emilmesinden sorumludur. Görünür ışık spektrumundaki bitki fotoreseptörleri ve pigmentleri tarafından algılanan dalga boyunun 500-600 nm olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, özellikle kapalı ve gölgeli bir ortamda iç mekan sistemlerinde mahsul üretimini desteklemek için ek aydınlatma gerekmektedir [16].

Gelişen teknoloji ile LED ışık kaynakları, yüksek basınçlı sodyum ışıkları (HPS) veya floresan lambalar gibi geleneksel aydınlatma kaynaklarına göre daha fazla araştırma yapılan ve tercih edilen bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. LED'lerin avantajları, aydınlatma spektrumlarını mahsullerin ihtiyaç duyduğu belirli dalga boylarına göre optimize etmeyi, elektriğin foton enerjisine dönüştürülmesinde kaybedilen enerjiyi azaltmayı, minimum termal emisyonu ve daha uzun ömürlü olmaları olarak sıralanabilir. Normal güneş ışığında yetişen bitkilere kıyasla bitki büyümesini hızlandırmak için çeşitli renkli LED'lerin kullanımını araştırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Literatürde, tarımsal üretim için mevcut LED tabanlı yapay ışıklarda kırmızı ve mavi ışık kullanılmaktadır çünkü bu spektrumlar yaprak fotosentezini verimli bir şekilde uyarır. Yaprak sayısının en çok ve yaprak alanının en büyük olduğu fideler, %20 mavi ile birlikte %80 oranında kırmızı ışığın verildiği deneme sonuçlarında saptanmıştır [17].

Lin ve ark. (2013), geçmiş çalışmalarında kırmızı (R) ve mavi (B) led ışıklarının karışımının bitki büyüme ve gelişmesi üzerine ışık kaynağının etkili olduğunu ve yapay gelişim ortamlarında ışık spektrumu, yoğunluğu ve süreleri yetiştiriciler tarafından kolaylıkla kontrol edildiğinin kanıtlandığını ifade etmektedirler. Araştırmacılar, marul

yapraklarında çözüner klorofil, karotenoid, proteinler ve şekerler, nitrat birikimi ve bitkisel biyokütle üzerinde ışığın 3 farklı değerinin etkisini araştırmışlardır. Bitkileri su kültüründe (ekimden 15 gün sonra) 20 günlük yetiştirme odaları içerisinde kırmızı mavi led ve beyaz led ve bir florasan lamba altında 24/20 0C de 16 saatlik ışıklandırma periyodu, % 75 nem değeri, 900 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ CO₂ seviyesi ve 210 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık akışı yoğunluğu ile yetiştirmişler. Araştırmalarının sonucunda ilave ışık özelliği RBW led ışıkları altında gelişen marul bitkilerinin gelişim ve besin değerini artırmak için kullanılabilir olduğunu kanıtlamışlardır [18].

Chen ve ark. (2014), aydınlatma süresi ve aydınlatmanın marul bitkisinin gelişimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, bitkisel üretim için kırmızı- mavi led ve beyaz florasan ışıklarını karşılaştırmışlardır. Her bir ışık altında 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık şiddetli 4 ışıklandırma zamanı (12 s, 16 s, 20 s ve 24 s) uygulayarak marul bitkisinin gelişimini sağlamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda kontrol şartlarında marul bitkisi gelişimi için marul yetiştiriciliğinde en uygun ışıklandırmanın 24 saatlik kırmızı-mavi led aydınlatmasının olduğunu ispatlamışlardır [19].

Shaw (2018) yaptığı deneyde, hidroponik marulun büyümesi ve LED ışıklarının renk sıcaklığı arasındaki korelasyonu belirlemeyi amaçlamıştır. Deneyde, beyaz LED ışıklara maruz bırakılan 252 Butterhead marul fidesini çeşitli sıcaklıklarda yetiştirildi. Büyüme, boy, yaprak sayısı, ıslak kütle ve kuru kütle gibi dört değişkenle ölçüldü ve 28 günde hasat edildi. Sonuçlar, 3.000K ve 6.000K koşullarında yetiştirilen bitkiler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu gösterdi; 6.000K ışık altında yetiştirilen bitkiler için büyümede %232 artış kaydedildi [20].

Tablo 2.2 Yapay Işık Özelliklerine Göre Alınan En İyi Sonuçlar

	Işık Türü	Işıklandırma Periyodu(saat)	Işığın Sıcaklığı(K)	Fotosentetik Aktif Radyasyon
Lin ve ark. (2013)	RBW Led	16 saat aydınlık 8 saat karanlık	-	210 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Chen ve ark. (2014)	RB Led	24 saat aydınlık	-	600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Shaw (2018)	Beyaz Led	-	6000 Kelvin	-

2.3 Hava Sıcaklığının Marulun Büyümesi Üzerindeki Etkileri

Optimum altı veya üstü hava sıcaklığı, çeşitli bitki türlerinde genellikle hücre altı düzeyde bozulmaya ve nihayetinde fizyolojik bozukluklara yol açar. Yüksek hava sıcaklıklarının bitki fotosentetik ve thylakoid membranları üzerinde zararlı etkilere yol açabileceğini bildirilmiştir. Sıcaklık aynı zamanda bitki büyümesini doğrudan etkileyen rubisko ve diğer karbon metabolizması enzimlerini de etkiler [21].

Ortam sıcaklığı 21.1 °C'yi aştığında, baş marulun cıvatalanmaya başladığını veya hızlı bir boğum arası uzamanın ardından çiçeklenmenin başladığını bildirmiştir. Cıvatalama, mahsul hasat edilmeden önce, tohum ve üremek için doğal bir girişimde, tarımsal ve bahçecilik mahsullerinde çiçekli bir sapın (veya sapların) üretilmesidir. Bu çiçekli gövdeler genellikle mevcut yaprak taşıyan gövdelerin güçlü uzantılarıdır ve bunları üretmek için bir bitki, kaynakları yapraklar veya kökler gibi yenilebilir kısımları üretmekten saptırır, bu da tat ve doku değişikliklerine, solmaya ve genel olarak düşük kaliteye neden olur [22].

Gent (2016), 21 °C'den yüksek ortam sıcaklığında yetiştirilen marulun sap uzamasını, kabarık başları ve acılığı desteklediğini bildirdi. Bir serada (10°C/20°C) iki farklı hava sıcaklığı uygulamasıyla doğal güneş ışığı altında hidroponik marul yetiştirdi. 20 °C sıcaklığındaki bitkide hem nispi büyüme oranı hem de taze ağırlık, soğuk muameleden daha yüksekti, fakat 10°C sıcaklıkta kuru madde içeriği daha yüksekti. Şeker, malik asit ve potasyum, soğuk sıcaklıkta, ılık sıcaklıkta olduğundan önemli ölçüde daha yüksekti. Bununla birlikte, ılık işlem altında nitrat konsantrasyonu, soğuk sıcaklıkla karşılaştırıldığında %40 daha yüksekti. Bu sonuçlar, sıcaklığın marulların bileşimini ve besin alımını değiştirdiğini göstermiştir [23].

Jackson ve ark. (1999), kıvrıkcık yapraklı salatalarda optimal bitki gelişimi için gündüz 23 °C ve gece 7 °C sıcaklıkların ideal olduğunu belirtirlerken, sıcaklığın 0 °C „ye yaklaştığında genç bitkilerde zararlanma olmadığını ancak bitki gelişiminin yavaşladığını ve 0 °C ve altındaki sıcaklıklarda dış yaprakların zarar gördüğünü belirtmektedirler. Tek yıllık serin iklim sebzesi olan marulun optimum sıcaklık isteği 15-18 °C dir. Marul yaz aylarında yüksek sıcaklığa bağlı olarak hızlı bir şekilde çiçeklenme gösterirken, 0 °C altındaki düşük sıcaklıklara kısa süre dayanabilmektedir.

Düşük sıcaklığa dayanıklı olduğu dönem, bitkilerin 6-10 yapraklı olduğu devredir. Kışlık çeşitler düşük sıcaklığa, 0 °C ile -5 °C arasında 5-10 gün, -10 °C'de 1-3 gün dayanmaktadır [24]. Bu sebeplerle, marul yetiştiriciliği ülkemizde ılıman yörelerde sonbahar, kış veya erken ilkbahar döneminde yapılmaktadır.

Tablo 2.3 Hava Sıcaklığına Göre Alınan En İyi Sonuçlar

	Gündüz Hava Sıcaklığı	Gece Hava Sıcaklığı
Gent (2018)	20 °C	20 °C
Jackson ve ark. (1999)	23 °C	7°C
Thompson ve ark. (1998)	24 °C	24 °C

2.4 Kök Sıcaklığının Marulun Büyümesi Üzerindeki Etkileri

Birçok araştırmacı, kök sıcaklığının çeşitli bitki türlerinin büyümesi ve verimi üzerindeki etkileri hakkında rapor vermiştir. Malcolm ve ark. (2008), 5 °C, 12 °C ve 19 °C 'lik kök sıcaklığının 6 hafta boyunca ekilen ve büyütülen farklı Prunus türlerinin anaçlarının fizyolojik tepkilerini analiz ettiler. Kök sıcaklığının artmasıyla, bitki yaprakları daha hızlı gelişti ve 19 °C 'lik kök sıcaklığı'nda daha büyük boyutta daha fazla yaprak üretildi [25].

Maaswinkel ve Welles (1987), bir sera denemesinde, Iceberg marul yetiştirme dönemi boyunca kök sıcaklığını 14 °C'de tutarak daha az açık baş oluştuğunu bildirdi [26].

Jensen (1985), hidroponik sistemde yetiştirilen bazı Butterhead marul çeşitlerinin, cıvatalama veya tohum sapı oluşumunun, kök sıcaklığının 20 °C'nin altına düştüğünde azaldığını bildirdi. 15 °C'de büyütülen bitkiler, çok sayıda yanal kök ve düzgün dağılmış yoğun kök tüyleri ile 'demet tepeli' bir kök sistemi oluşturdu. Buna karşılık, 20 °C'de büyütülen bitkiler, tek biçimli olmayan ince kök tüyleriyle 'silindirik' bir kök sistemi oluşturdu [27].

Marul için, mineral besin alımının kök sıcaklığı ile pozitif bir ilişkisi vardır, ancak optimum sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklar, mineral besin alımını düzenleyen enzimlerin aktivitesini etkisiz hale getirebilir. Hava ve kök sıcaklığının marul üzerindeki birleşik etkilerini belirlemek için marul üzerinde , Thompson ve arkadaşları (1998) tarafından deney yapılmıştır. Yazarlar, tek bir ışık kaynağı olarak soğuk beyaz flüoresan lambalar kullandılar ve yüzen bir hidroponik sisteme marul diktiler. Maksimum kuru kütle, 24/24 °C (hava/gölet) uygulamasında üretildi ve kafa boyutu ve kök yapısı, 24 °C kök sıcaklığında en iyi durumdaydı [28].

Tablo 2.4 Kök Sıcaklığına Göre Alınan En İyi Sonuçlar

	Kök Sıcaklığı
Malcolm ve ark. (2008)	19 °C
Maaswinkel ve Welles (1987)	14 °C
Jensen (1985)	15 °C
Thompson ve ark. (1998)	24 °C

2.5 Çözülmüş Madde Miktarının Ölçülerek Kontrol Edilmesi

Hem toprakta hem de hidroponik sistemlerde sebze üretiminin temel prensiplerinden biri bitkinin ihtiyaç duyduğu tüm besin maddelerini sağlamaktır. Bitkilerin büyümesi ve üretimi için toplam on altı element olmak üzere çeşitli kimyasal elementler gereklidir. Bu elementler; karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen, fosfor, potasyum, kükürt, kalsiyum, magnezyum, manganez, demir, çinko, bor, bakır, molibden ve klor'dur. Yukarıda bahsedilen elementler arasında kökenlerine göre bir ayrım vardır. Organik bileşenler başlıca ; Karbon, Hidrojen ve Oksijen' den oluşur. Mineraller ise iki çeşide ayrılır. Makro besinler, N, P, K, Ca, Mg, S eriyiklerini barındırırken mikro besinler, Mn, Fe, B, Zn, Cu, Mo, Ni, Cl olarak sıralanır [29].

Makro ve mikro besinler arasındaki bu ayrım, bitkinin kendi döngüsü için ihtiyaç duyduğu her besinin miktarını dikkate alarak belirlenmiştir. Bitkilerin bünyelerinde ağırlıklarının yaklaşık %90-95'i kadar C, H, O bulunur. Ancak bu organik elementler

bol miktarda bulunan hava ve sudan geldikleri için herhangi bir eksiklik yaşanmaz. Bu nedenle besin solüsyonunu oluşturacak olan mineral elementlere daha fazla önem verilmelidir. Topraksız bitkilerde emilim, genellikle tuzluluk, oksijenlenme, sıcaklık, pH ve besin çözeltisinin iletkenliği, ışık yoğunluğu, fotoperiyot ve hava nemi gibi çevresel faktörlerden çok etkilenen, köklerin yakınındaki çözeltideki besin konsantrasyonuyla orantılıdır (Furlani ve ark, 1999). Makro ve mikro besinlerin her birinin bitki içinde en az bir işlevi vardır ve bunların fazlalığı veya eksikliği, karakteristik eksiklik veya toksisite semptomlarına yol açar [30].

Besinler, marulun kalitesinde ve verimliliğinde önemli bir rol oynar. Bu nedenle, besin maddelerinin dengeli bir şekilde uygulanması, ürünün kalitesinin belirlenmesinde hayati önem taşımaktadır. Marul mahsulleri, diğer kültürlerle karşılaştırıldığında nispeten az miktarda besin emer. Bununla birlikte, özellikle hasat döngüsünün son aşamasında, besin maddelerine olan talep artar [31].

Tablo 2.5 Salata, marul ve diğer yeşillikleri yetiştiren farklı yetiştiriciliklerin kullandığı besin solüsyonlarındaki elementlerin konsantrasyon aralıkları (Morgan 2002b) [41]

Elementler	Konsantrasyon aralığı mg l ⁻¹ , ppm
<i>Makro Elementler</i>	
Azot (N)	100-200
Fosfor (P)	15-90
Potasyum (K)	80-350
Kalsiyum (Ca)	122-220
Magnezyum(Mg)	26-96
<i>Mikro Elementler</i>	
Bor (B)	0.14-1.5
Bakır (Cu)	0.07-0.1
Demir(Fe)	4-10
Mangan (Mn)	0.5-1.0
Molibden (Mo)	0.05-0.06
Çinko (Zn)	0.5-2.5

2.5.1 EC (Electrical Conductivity) Ölçümünün Topraksız Tarımdaki Rolü

Elektriksel iletkenlik, toplam iyon içeriği ile orantılıdır, bu nedenle EC'deki bir azalmaya, kökler tarafından absorpsiyon için mevcut toplam iyon miktarındaki orantılı bir düşüş eşlik eder. Bununla birlikte, farklı tuzlar farklı elektriksel iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle, her formülasyon için EC ve toplam çözünmüş iyonlarla ilgili doğrusal bir fonksiyon olacaktır [32].

Topraksız mahsuller için beslenme tavsiyeleri, EC seviyelerine ve besin çözeltisinin asitliğine veya bazlığına (pH) dayalı olarak verilmektedir. EC değeri, sadece besin

maddelerini değil çözeltideki toplam iyon konsantrasyonunu gösterir. Bununla birlikte, EC seviyeleri ucuz ekipmanla hızlı bir şekilde ölçülebilir, bu da yetiştiricilerin besin tedariklerini yönetmelerini kolaylaştırır. Bitkiler besinleri kullandıkça EC seviyeleri azalır veya çözeltiden su buharlaştıkça EC seviyeleri artar. İstenen bir EC seviyesini korumak için, üretim periyodu boyunca sabit bir EC seviyesini korumak için solüsyon periyodik olarak gübre karışımlarının eklenmesi veya su ile seyreltme ile ayarlanır. Uygun EC yönetimi ile besin çözeltisine ne kadar besin maddesi eklendiğinden bağımsız olarak, pH seviyesi çözeltideki makro ve mikro besinlerin çözünmesini etkiler (De Rijck ve Schrevens, 1999; Whipker ve ark, 2001). Çözelti pH ayarlamaları, çözeltiye asit veya baz eriyikleri eklenerek gerçekleştirilir EC ve pH yönetimi bu nedenle bir hidroponik sistemde başarılı besin yönetimi için anahtardır [32,33].

Yüzde tuz konsantrasyonu (elektriksel kondaktivite) ile besin çözeltisi sıcaklığı arasında bir ilişki vardır. Sıcaklığın her 1°C yükselmesi yüzde tuz konsantrasyonunun % 2 artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla sıcaklıktaki her bir 1°C'lik artışla bitkinin besin elementlerinden yararlanma oranı da o derecede artmaktadır. Bundan dolayı da çözelti sıcaklığının özellikle ortam sıcaklığının yüksek olduğu dönemlerde hava sıcaklığının altına düşürülmemesi gerekmektedir [42].

Farklı EC değerlerinin etkilerini incelemek için (Hadis Hosseini ve ark, 2021) hidroponik ebb & flow tekniği ile 20 ± 1 °C ortam sıcaklığında, %50–60 nem ve 450 ppm CO₂ konsantrasyonu ile 6.0 pH düzeyinde, 16:8 saat (gündüz/gece) ışık periyodu şartlarında (2, 1.2, 0.9, 0.7 ve 0.5 mS/cm EC değerlerinde) fesleğen ve marul yetiştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda; yaprakların ve köklerin taze ağırlığı, yaprak sayısı, yaprak alanı, klorofil ve yaprakların azot konsantrasyonu 1.2 µS/cm EC değerinde en iyi olduğu gözlenmiştir. Bitki büyüdükçe 1.8 mS/cm EC değerine doğru yükseltmenin bitki boyutunu artırdığı gözlemlenmiştir [34].

NASA'nın yaptığı çalışmalar sırasında kontrol şartları şöyleydi; ışık döngüleri sırasında karbondioksit (CO₂) 1000 veya 1200 ppm'de (0.10 veya 0.12 kPa) kontrol edilirken, karanlık döngüler sırasında bitki solunumundan CO₂ birikmesine izin verildi. Sabah lambalar yandığında, CO₂ konsantrasyonları hızlı bir şekilde kontrollü enjeksiyonların

başladığı bir ayar noktasına indi. Oksijen (O₂) konsantrasyonlarının %21 ila %23 (21-23 kPa) arasında hafifçe değişmesine izin verildi, ancak bakım faaliyetleri için kapıların açılması nedeniyle tipik olarak %21 (21,0 kPa) civarında kaldı. Tüm çalışmalar için bağıl nem seviyeleri %65-75 civarında tutuldu. Tüm bitkiler, modifiye edilmiş ½ mukavemetli bir Hoagland / Arnon solüsyonu ile devridaim yapan bir besleyici film tekniği (NFT) kullanılarak hidroponik olarak büyütüldü. Besin çözeltisinin elektriksel iletkenliği, konsantre stok çözeltilerin eklenmesiyle 1.2 dS m⁻¹ olarak kontrol edildi. Çözelti pH'ı, otomatik 0.4 M nitrik asit ilaveleri kullanılarak 5.8'e kontrol edildi. Aydınlatma, ürüne bağlı olarak yüksek basınçlı sodyum (HPS) veya metal halojenür (MH) lambalar veya ikisinin karışımları kullanılarak kısılabılır 96 adet 400 W lamba ile sağlandı. Hava, yaklaşık 400 m³ min⁻¹ veya dakikada yaklaşık üç ila dört hacim değişimi sağlayan iki adet 40-kW fan ile sürekli olarak yeniden dolaştırıldı. Bitki örtüsü seviyesindeki hava hızları 0,2 ile 1,5 m s⁻¹ arasında değişmiştir. Işık, sabit ışık (24 saat) veya 20 saat aydınlık / 4 saat karanlık fotoperiyodu olarak HPS lambalarla sağlandı. 20 saat aydınlık/4 saat karanlık fotoperiyodu kullanan çalışmalar için, sıcaklıklar ışıktaki 20°C ve karanlıkta 16°C'de tutuldu. Bitkiler, başları yeşil rengini kaybettiğinde (77-86 gün) fizyolojik olgunlukta hasat edildi. Marul (*Lactuca sativa* L.) Waldmann's Green tohumları, soya fasulyesi, buğday ve domatese benzer naylon fitiller kullanılarak çimlendirildi. Fide oluşumunu teşvik etmek için tepsiler 3 gün boyunca beyaz yarı saydam örtülerle kaplandı. Bitkiler ekimden 9 gün sonra tepsi başına altıya (19.2 bitki m⁻²) seyreltilti. Bitkiler, 16 saat aydınlık / 8 saat karanlık fotoperiyodu ile HPS veya MH lambaları altında büyütüldü. Kanopi seviyesi PAR, 280 ila 335 µmol m⁻²d⁻¹ aralığındaydı ve sıcaklıklar 23°C'de sabit tutuldu. Bitkiler ekimden 28 veya 30 gün sonra hasat edilmiştir [40].

Tablo 2.5.1 EC Değerine Göre Alınan En İyi Sonuçlar

	Ortam Sıcaklığı	Nem	CO2 Konsantrasyonu	Işık Periyodu	pH Değeri	EC Değeri
Hosseini ve ark. (2021)	20 ± 1 °C	% 50–60	450 ppm	16 Saat aydınlık 8 saat karanlık	6.0	1.2 µS/cm
NASA (2020)	23°C	% 65-75	1000-1200 ppm	16 Saat aydınlık 8 saat karanlık	5.8	1.2 dS m-1

2.5.1.1 EC ve TDS Kavramlarının Açıklanması

EC, Türkçe adı ile elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme kapasitesini ölçmekte kullanılır. Saf su (içinde başka hiçbir madde bulunmayan H₂O) elektrik akımını iletmez ve iyi bir elektrik yalıtım malzemesi olarak bilinmektedir. Başka maddeleri suyun içerisinde çözdürdüğümüzde ise, su iyi bir elektrik yalıtım malzemesi olmaktan çıkmakta ve elektriksel iletkenlik kazanmaktadır [35,37].

Suyun içinde çözünen moleküllerden birçoğu yapıları itibariyle tuzdur. Kimyada, pozitif yüklü katyonlar ve negatif yüklü anyonlardan oluşan iyonik bileşimlere tuz adı verilir. Çözünmüş oldukları solüsyon içerisinde, bu katyon ve anyon iyonlar birbirlerini bertaraf eder; böylece solüsyon elektriksel olarak nötr kalır. Bir su solüsyonu içerisinde bulunan küçük miktardaki iyon bile, bu solüsyonun elektriksel iletkenliğe sahip olmasını sağlar. Solüsyonun tuz konsantrasyonu yükseldikçe, solüsyon elektriği daha iyi iletir. Bu nedenle bir solüsyonun EC değeri, bu solüsyonun tuzluluk miktarının iyi bir göstergesidir [35,37].

Bir solüsyonun EC değeri toplam tuzluluk miktarının iyi bir göstergesi olsa da, solüsyon içerisindeki iyon karışımı (pozitif veya negatif yüklü yükler) hakkında herhangi bir bilgi vermemektedir. Örneğin, bu yolla solüsyonumuzun içinde potasyum tuzu mu yoksa sofr tuzu mu olduğunu öğrenemeyiz. Daha derine inmek gerekirse, gübre olarak kabul edilen maddelerin tümü bir solüsyonun EC değerini etkilemez. Örneğin, muhtemelen en önemli bitki besinlerinden biri olan üre, EC'yi etkilemez [35,37].

Yetiştiriciler besin solüsyonlarının EC değerini ölçmek için EC ölçer cihazları kullanmaktadır. Bu cihazlar EC'yi, mS/cm (milisiemens/santimetre) veya $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mikrosiemens/santimetre) cinsinden ölçmektedir. 1 mS/cm, 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye karşılık gelmektedir [35,37].

TDS, diğer adıyla toplam çözünmüş katılar; bir sıvı içerisinde moleküler, iyonize veya mikro-tanecik formunda bulunan tüm inorganik ve organik maddelerin toplamını ölçmekte kullanılır. Çözünmüş olarak kabul edilmeleri için, katıların iki mikrometrelik bir filtreye sığacak kadar küçük olmaları gerekmektedir [36,37].

TDS ölçer cihazları aslında birer EC ölçer cihazıdır. Bir TDS ölçer cihazı; solüsyon içerisindeki çözünmüş tuzların EC değerini ölçmekte ve buna ek olarak bir dönüştürme faktörü kullanarak PPM (milyon başına düşen parça) cinsinden ölçüm yapmaktadır. TDS ölçer cihazının çalışma prensibi, EC ve TDS arasındaki ilişkiyi açıklayan basit bir denklemle açıklanabilir: $\text{TDS (mg/L)} = k_e \times 1000 \times \text{EC } (\mu\text{S}/\text{cm})$

Bu denklemde, TDS miligram bölü litre cinsinden belirlenmekte, EC ise 25°C'lik bir sıcaklık değerinde, santimetre başına mikrosiemens cinsinden belirlenmektedir. Dönüştürme faktörü 'ke' genellikle 0.55 ve 0.8 arasında değişmektedir ve her tuz cinsi için farklı bir değere sahip olmaktadır. Solüsyonunuzun içerisinde bir tuz karışımı varsa, denklemde bu karışıma göre ortalaması alınmış dönüştürme faktörünün kullanılması gereklidir [36,37].

TDS ölçer gibi ölçüm yapan EC ölçer cihazları, kullanılmakta olan cihaza göre değişkenlik göstermekle birlikte, genellikle 0.5 veya 0.7'lik bir dönüştürme faktörü kullanmaktadır. Solüsyonun özel değerini göz ardı ederek önceden sabitlemiş bu dönüştürme faktörünü kullanması nedeniyle, neredeyse tüm TDS ölçer cihazları, tam isabetle ölçüm yapamamaktadır [36,37].

TDS ölçer cihazlarının PPM okumalarını başka bir yetiştiriciyle kıyaslarken, aynı düzeltme faktörüne sahip cihazlar kullanıldığından emin olunmalıdır. Aynı zamanda ölçüm sıcaklıkları da karşılaştırılmalıdır; çünkü besin solüsyonunun sıcaklığı, eğer cihazda sıcaklık kompanzasyonu özelliği var ise EC okumasının değişmesine sebep olacaktır. Daha yüksek sıcaklık genellikle daha yüksek bir EC değeri verecektir [36,37].

2.5.2 PH Ölçümünün Topraksız Tarımdaki Rolü

Topraksız tarımda, en önemli hususlardan biri, bitkinin yetişeceği ortamın hidrojen iyonu konsantrasyonunun (pH), yani asitlik derecesinin uygun değerler arasında tutulmasıdır. Bu teknikte, bitkilerin en uygun büyüme koşullarını sağlamak için pH değeri önemlidir. pH değeri, bir sıvının asitlik veya bazık olma derecesini gösterir. 7 pH değeri nötrdür ve bitkilerin çoğunlukla hafif asidik (pH 5,8-6,5) ortamda daha iyi geliştiği bilinmektedir. Topraksız tarım için hazırlanan besin çözeltilisinin pH değeri her defasında ölçülmeli ve gerekirse asit ilave edilerek uygun değere getirilmelidir. Ayrıca, yetiştirme ortamının pH değerinin 6,5-7,5 arasında olması bitki besin maddelerini daha iyi emme koşullarını sağlar. Mikro besin elementlerinden Mo (molibden) hariç tümü pH 5,5-7,0 arasında rahatlıkla alınır. Ancak, pH değeri çok düşük veya çok yüksek olursa, bazı mikro besin elementleri zararlı hâle gelebilir. Örneğin, pH 5,0 altında Alüminyum (Al), Demir (Fe) ve Mangan (Mn) daha fazla çözünerek serbest hâle geçer ve bitki için zararlı hâle gelebilir. Aynı şekilde, pH 7,5 üzerinde olan Alüminyum bitki için zehirlidir. Büyüme ortamının pH değeri aynı zamanda toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini de etkiler. Örneğin, organik azotu (NH₄ ve NO₃) çeviren bakteriler optimum pH koşullarında daha iyi çalışır [38]. PH' ın ayarlanmasında; genellikle yükseltmek için %5'lik KOH, düşürmek için de H₂SO₄, HNO₃, H₃PO₄ ve HCl kullanılmaktadır [42].

3. MATERYAL VE METOT

3.1 NFT (Besin Filmi Tekniği) Kanal Sisteminin Oluşturulması

NFT kanal sistemi, 70 mm çapında 1 metre giriş 1 metre geliş olmak üzere toplam 2 metre uzunluğundaki PVC borularla oluşturulmuştur. Ara bağlantılarda 2 adet L dirsek boru kullanılmıştır. Kanalın su seviyesini istenen yükseklikte ayarlayabilmek için kanal uçlarına 70 mm çapında dönebilen PVC tıparlar yerleştirilmiştir. Bu tıparlara 10 mm çapında delikler açılıp hortum bağlayabilmek için rekor parçaları takılmıştır. Tüm bağlantı kısımları contalı ve su kaçırmayacak şekilde seçilip monte edilmiştir.



Resim 3.1.1 NFT Kanal



Resim 3.1.2 Rekor ve Tıpa Bağlantısı

5.5 cm uzunluğunda ve 5 cm çapındaki delikli file saksıların yerleştirileceği delikleri açmak için 6 cm çapında delici matkap ucu (pan) kullanıldı. Delikler kanal üzerine 17 – 20 cm aralıklarla açıldı. Bu aralık, olgunlaşan marulların çapı düşünülerek birbirlerinin büyümelerini engellememeleri için 20 cm olmasına karar verildi.



Resim 3.1.3 Kanal zerine Deliklerin Açılması



Resim 3.1.4 Delikli File Saksıların Yerleştirilmesi

3.1.1 Besin Çözeltisi Haznesi

Oluşturulan kanal sisteminin içinde çevrilen besin çözeltisinin tekrar boşalabilmesi için 20 Litre hacminde kova kullanılmıştır. Kanal sisteminin çapı 70 mm ve delikli saksının uzunluğu 50 mm olduğundan kanal sistemi içerisinde 20 mm yüksekliğinde su birikmesi beklenmektedir. Bu biriken su, kovanın içindeki çözelti miktarının yüksekliğini azaltmaktadır ve kovanın içerisinde yeterli besin çözeltisinin kalmadığı zaman pompa boşta çalışmakta ve zarar görmektedir. Bu sebeple yapılan denemelerde besin solüsyonu hacminin 14 – 16 Litre olması gerektiğine karar verilmiştir.



Resim 3.1.1.1 Besin Çözeltisinin Birikeceği Kova

3.1.2 Devirdaim Dalgıç Pompa

Besin çözeltisinin devirdaimini sağlamak için öncelikle 220 VAC gerilim ile çalışan Unistar marka dalgıç pompa seçildi. Pompa; 12 W gücünde, saatte 700 Litre su basma kapasitesinde ve suyu 80 cm yüksekliğe çıkarabilecek güçtedir. Bu pompa dakikada 11.6 Litre su çevirebilme kapasitesine sahiptir. Topraksız tarım için bu su çevrim hızı oldukça yüksektir. Önerilen hız ise dakikada 1-2 Litre aralığındadır. Bu sebeple bu pompanın sisteme uygun olmadığına karar verilmiştir.

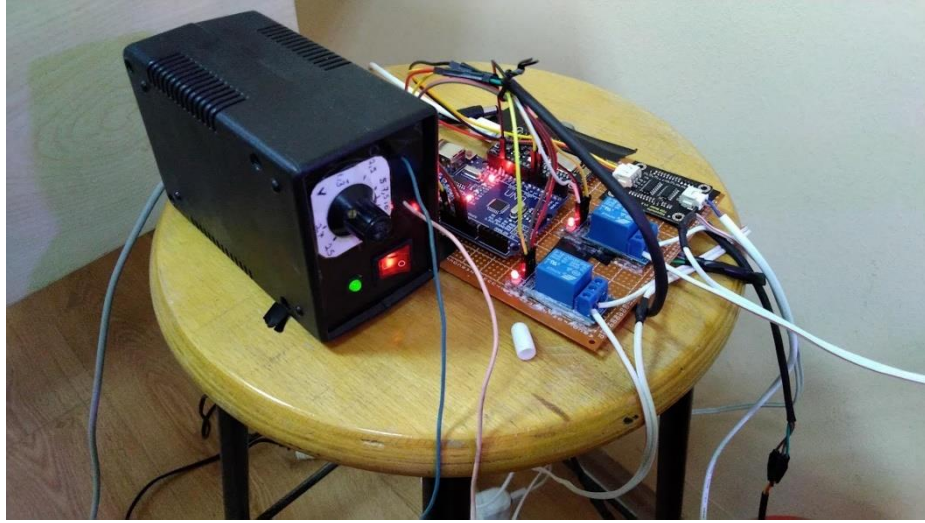


Resim 3.1.2.1 Unistar Marka Dalgıç Su Pompası

Daha düşük kapasiteli 12 VDC gerilim ile çalışan başka bir pompa sisteme entegre edilmiştir. Bu pompa Johnson marka; 0-12 VDC gerilim aralığında hızı ayarlanabilen, dakikada 2 Litre su çevrimi yapabilme kapasitesine sahip dalgıç pompadır. Pompanın devir hızın ve bu sayede su çevrim hızını ayarlayabilmek için 0-12VDC ayarlı güç kaynağı kullanılmıştır.

Sistemde su çevrimi, 5 dakika boyunca kanala marulun kök seviyesini kaplayacak miktarda su doldurulması ve 10 dakika boyunca da kanalı boşaltmak suretiyle köklerin oksijen alabilmelerini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Bu yöntem NFT ve EBB Flood & Drain metotlarının bir karışımı olacak şekilde çalışmaktadır. NFT kanal sisteminde 0.5 mm yüksekliğinde ince bir besin filmi şeklinde sürekli bir su akışı olurken, EBB Flood and Drain sisteminde bitki kökleri tamamen su içinde kalacak şekilde bir süre sisteme su basılırken köklerin toprakta gelişmesine benzer şekilde bir süre de oksijen alabilmeleri amaçlanmaktadır.

5 dakika boyunca çalıştığında kanalı, delikli saksıların alt kısmına kadar besin solüsyonu ile doldurabilmek için ayarlı güç kaynağı 7 VDC seviyesinde gerilim verecek şekilde ayarlanmıştır. Bu gerilim seviyesinde dalgıç pompa dakikada 1.2 Litre su basma kapasitesinde çalışmaktadır.



Resim 3.1.2.2 0-12 VDC Ayarlı Güç Kaynağı

3.1.3 LED Bitki Yetiştirme Işığı

Yapılan kaynak araştırmaları sonucunda Kıvrıcık Marul bitkisinin yapay ışıklandırma ihtiyaçları belirlenmiştir. En optimum düzeyde 6000 K sıcaklığında LED ile birlikte 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PAR değerinde kırmızı ve mavi LED ışıklar kullanılmalıdır.

Bu şartlara yakın olacak şekilde 3000 Kelvin sıcaklığında %65 kırmızı %35 mavi LED'lerden oluşan, 220 VAC gerilim düzeyinde çalışan Rohs marka bitki geliştirme ışığı kullanılmıştır. 52 kırmızı 28 mavi SMD 2835 tipi LED'den oluşan bu ışık E27 duyu ile şebeke akımından çalışabilmektedir. 15 Watt gücündeki bu ışık kaynağı 120 derece geniş açı ile 1 metrekarelik bir sisteme yeterli ışık verebilmektedir. A+++ enerji tasarrufu özelliğine sahip olan ışık kaynağı çok düşük güç tüketimine sahiptir.



Resim 3.1.3.1 LED Yapay Işık Kaynağı

3.1.4 Referans TDS Metre

Besin çözültisi ayarlanırken suya eklenen besin maddelerinin suda oluşturduğu tuzluluk oranını ölçmeye yarar. Bunun için suyun elektriksel iletkenlik yani EC değerini hesaplayarak bitkiye gerekli olan besin çözeltisini ayarlayabilmemizi sağlar.

Referans TDS ölçer olarak KNMASTER markasının TS-300 kalem tipi TDS metre aleti kullanılmıştır. Bu ölçüm aletinin TDS'den EC' ye dönüştürme katsayısı 0.5'tir. Bu demek oluyor ki ölçüm esansında okunan 1000 PPM TDS değeri, $1000/(0.5 \times 1000)$ işleminden geçerek 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ EC değerine eşittir. PPM değerini EC değerine dönüştürmek için yukarıdaki işlem kullanılmaktadır. Ölçüm aletinin ayrıca sıcaklık ölçme fonksiyonu da vardır. Ölçülen sıcaklığa göre PPM değerinde kompanzasyon yapmaktadır.

TDS Metre'nin Teknik Özellikleri:

- **EC iletkenlik ölçüm aralığı:** 0-19.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- **TDS çözünmüş madde ölçüm aralığı:** 0-9990 PPM
- **Sıcaklık ölçüm aralığı:** 0.1-80.0 derece
- **Hassasiyet:** 1 PPM ; 0,1 $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$
- Dijital Kalibrasyon
- **Hata Payı:** $\pm 2\%$
- **Malzeme:** ABS ve Elektronik Komponent
- **Boyut:** 15.4 x 3 x 1.4cm
- **Marka:** Knmaster



Resim 3.1.4.1 Referans TDS Metre

3.1.5 Referans pH Metre

Besin çözeltilisine eklenen bileşiklerin bitki tarafından emilebilmesi için suyun pH değeri oldukça önemlidir.

Referans pH metre olarak KNMASTER markasının pH-100 kalem tipi pH metresi kullanılmıştır. Ayrıca cihazda sıcaklık kompanzasyonu bulunmaktadır. Cihaz yanında 2 adet referans pH tuzu ile gelmektedir. Bu tuzlardan birisi 200 mL suya dökülüp karıştırıldığında 25 °C’de 4.01 pH değerinde çözelti oluşturmaktadır. Diğer tuz ise 6.86 pH değerinde referans çözeltiyi oluşturmaktadır. Cihazda bulunan potansiyometre döndürülerek bu sıvılar yardımıyla kalibre edilebilmektedir.



Resim 3.1.5.1 Referans pH Metre

pH Metre’nin Teknik Özellikleri:

- Min. / Maks. Ölçüm: 0.0 – 14.0 pH
- Çalışma Sıcaklığı: 0°C – 60°C
- Çözünürlük: 0.1 pH

- Fabrika Çıkışı Kalibrasyonlu (Tek Nokta Manuel Kalibrasyon)
- Ölçüler: 150mm x 29mm x 20mm
- Batarya: 2 adet 1.5V (LR44)

3.1.6 Besin Çözeltileri

Besin çözeltisi olarak Hidroponik Türkiye markasının topraksız tarım besin çözeltisi kiti kullanılmıştır. Bu kit 1 Litre Makro ve 1 Litre Mikro besin solüsyonlarından oluşmaktadır. 1 Litre arıtılmış suya 2 mL makro ve 2 mL mikro besin solüsyonundan eklendiği eklendiğinde 2-2,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Ec değerine çözelti elde edilmiş olur. EC metre ile ölçüm yapılarak istenen besin solüsyonu oluşturulabilmektedir.



Resim 3.1.6.1 Topraksız Tarım Besin Çözeltisi Kiti

3.1.7 pH Arttırıcı ve Düşürücü

Suyun EC seviyesi ayarlandıktan sonra pH değeri de yetiştirilen bitkinin isteğine göre ayarlanmalıdır. Kıvırcık marul yetiştiriciliğinde besin çözeltisinin pH değeri 6-6.5 pH arasında olması gerekmektedir.

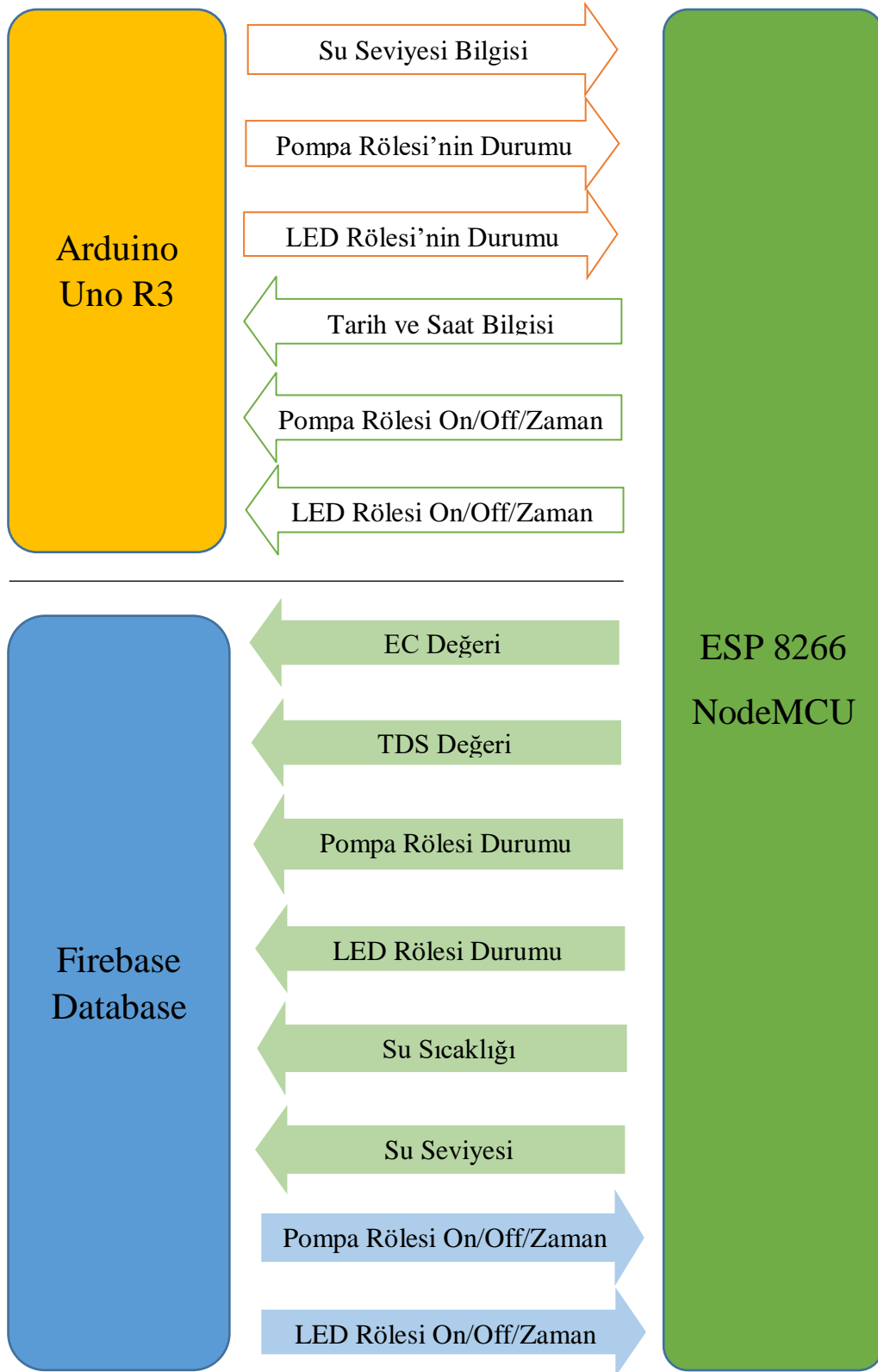
pH yükseltici olarak %20 derişimli Potasyum Hidroksit (KOH) çözeltisi kullanılmaktadır. Potasyum Hidroksit tarımda asidik toprakların pH derecesini dengelemek, alkalik yapmak amacıyla sıkça kullanılır. Ayrıca tarım ilaçlarının yapımında da kullanılır. Bunun yanında tıpta, endüstriyel kimyada da kullanılır.

pH düşürücü olarak %56 derişimli Nitrik Asit (HNO_3) çözeltisi kullanılmaktadır. Halk arasında Kezzap olarak da bilinen bu kuvvetli asit insan derisine yüksek derece hasar verebilmektedir. Kullanılırken gerekli güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir



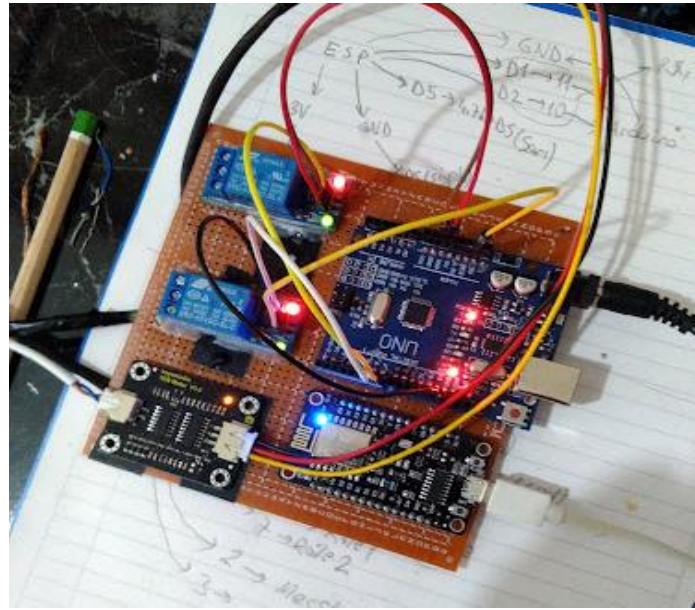
Resim 3.1.7.1 pH Yükseltme ve Düşürme Kiti

3.2 Kontrol ve İzleme Sistemi Tasarımı

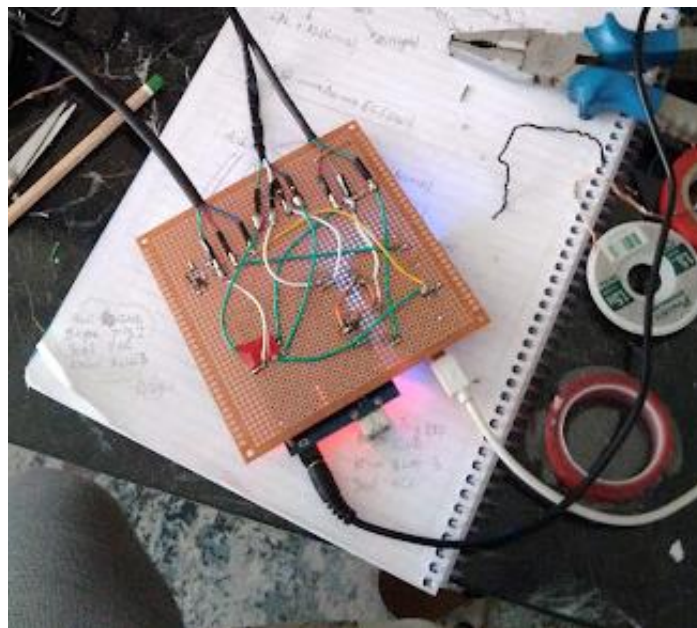


Şekil 3.2 Kontrol ve İzleme Sistemi Şeması

Yapılan topraksız tarım sisteminin izleme ve kontrolünü sağlayabilmek ve sensörlerden okunan verileri kayıt edebilmek için Arduino ve ESP tabanlı IOT bir sistem tasarlandı. Bu sistemde, ESP8266 mikroişlemci sayesinde internete bağlanılarak tarih ve saat değerleri NTP Server'dan alınabilmektedir. Yine internet bağlantısı ile Google'ın bir hizmeti olan Firebase veritabanı üzerine hem saniye başı güncel verilerin kaydedilmesi hem de uzaktan röle kontrollerinin yapılabilmesi sağlanmıştır. Sadece wifi bağlantısına ihtiyaç duyan IOT bir sistem tasarlanmıştır.



Resim 3.2.1 IoT Kontrol Sistemi



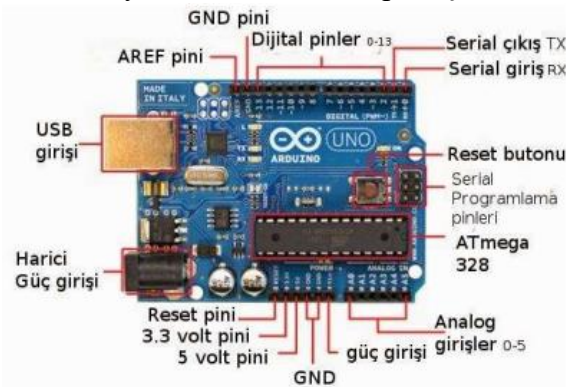
Resim 3.2.2 Sistemin Delikli Pertinaks Üzerine Lehimlenmesi

3.2.1 Arduino Uno R3 Devresi

Mikrodenetleyiciler, içerisinde bellek, giriş-çıkış ve mikro işlemci üniteleri bulunduran entegre hali getirilmiş programlanabilen elemanlardır. Arduino geliştirme kartı, açık kaynak kodlu olarak geliştirilmiş yazılım ve donanım tabanlı bir elektronik platformdur. Arduino Uno 'nun 14 tane dijital giriş / çıkış pini vardır. Bu pinlerin tamamının lojik seviyesi 5V'dur. Her pin maksimum 40mA giriş ve çıkış akımı ile çalışır. Bunlardan 6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. Ayrıca 6 adet analog girişi, bir adet 16 MHz kristal osilatörü, power jakı (2.1mm), ICSP başlığı ve reset butonu bulunmaktadır. Arduino Uno bir mikrodenetleyiciyi desteklemek için gerekli bileşenlerin hepsini içerir. Arduino Uno, üzerinde Atmega328 mikrodenetleyici, güç regülatörü, USB bağlantı gibi bileşenler bulunduran, seri-USB dönüştürücü sayesinde hem seri port üzerinden iletişim kurabilirken hem de programlanabilmektedir. Arduino'da kullanılan dil Arduino'nun temelini oluşturan processing programlama dilidir. Bu dil C++ ve C alt yapısına sahiptir.

Arduino Uno'da normalde bir tane seri port bulunmaktadır fakat SoftwareSerial kütüphanesi kullanılarak bu sayı yazılımsal olarak arttırılabilir. Atmega328 ayrıca I2C ve SPI portları da sağlamaktadır. Arduino IDE içerisinde yer alan Wire kütüphanesi I2C kullanımını, SPI kütüphanesi de SPI haberleşmesini sağlamak için kullanılır.

Harici güç kaynağı olarak 6-20V arası limit değerleri bulunmaktadır. Önerilen harici besleme gerilimi ise 7-12 V arasındır. Bunun sebebi 7V altındaki gerilimin stabil çalışmayıp, 12V üzeri gerilimin de aşırı ısınma sebebi olabilmesidir. Kart üzerinde bulunan regülatör sayesinde 7-12V arası gerilim 5V'a düşürülür ve kart bu şekilde çalışır. Projemizde 220 VAC'yi 12 VDC ve 2 Ampere çeviren adaptör kullanılmıştır.



Resim 3.2.1.1 Arduino Uno R3 Geliştirme Kartı

Arduino için yazılan kodda SoftwareSerial kütüphanesi ESP8266 ile yazılımsal seri haberleşme yapabilmek için kullanılmıştır. Arduinonun 10. pini RX 11. Pini ise TX olarak tanımlanmıştır.

ESP8266'ya veriler su seviyesi, pompa rölesinin durumu ve LED rölesinin durumu olmak üzere 3 tanedir. ESP8266'dan alınan veriler ise Epoch time yani 1970 yılının başını 0 olarak kabul eden ve her saniye artan bir zaman bilgisi, Pompa ve LED rölelerini internet üzerinden kontrol edildiğinde gelen verilerin Arduino'ya aktarılmasını sağlayan toggle verileri olmak üzere toplam 3 tanedir.

Tüm veriler String veri biçimde yollanmıştır ve yollanan verilerin hata kontrolünü sağlamak için Parse fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu fonksiyonda String verinin ardına bir harf eklenerek karşı tarafa gönderilir ve alıcı taraf bu ayırma harflerini bildiğinden verileri parçalara böler. Bu sayede tek seferde birden fazla veri bloğu gönderilip alınabilmektedir ve hatalı veri iletişimi engellenmektedir.

```
Arduino_SoftSerial.print(dataSuSeviye);    Arduino_SoftSerial.print("D");
Arduino_SoftSerial.print(dataRelay1Durum);  Arduino_SoftSerial.print("E");
Arduino_SoftSerial.print(dataRelay2Durum);  Arduino_SoftSerial.print("F");
Arduino_SoftSerial.print("\n");
```

Resim 3.2.1.2 Arduino'dan ESP'ye Veri Aktarımı

```
void Parse_the_Data()
{
    indexOfA =dataIn.indexOf("A");
    indexOfB =dataIn.indexOf("B");
    indexOfC =dataIn.indexOf("C");

    dataTime = dataIn.substring (0, indexOfA);
    dataRelay1Toggle = dataIn.substring (indexOfA+1, indexOfB);
    dataRelay2Toggle = dataIn.substring (indexOfB+1, indexOfC);
}
```

Resim 3.2.1.3 ESP'den Gelen Verilerin Parse Fonksiyonu ile Parçalara Bölünmesi

Deney sırasında kodun takıldığı görülüp devirdaim motorunun çalışmadığı gözlemlenmiştir. Bu durumun önüne geçebilmek için Arduino'nun Watchdog Timer özelliği koda eklenmiştir. Bu özelliğin eklendiği döngü fonksiyonlarında Watchdog timer resetlenmezse Arduino kendini sıfırlayacak ve kod baştan çalışacaktır. Wdt reset süresi 4 saniye olarak ayarlanmıştır yani kod 4 saniye boyunca bir yerde takılıp wdt'yi resetlemezse watchdog timer aktive olarak kodu baştan başlatacaktır.

İnternet olduğu durumda pompa ve led röleleri zaman bilgisini ESP'den aktarılan epoch time zaman bilgisini kullanarak çalışmaktadır. Pompanın 5 dakika çalışıp 10 dakika durması ve led'in saat 6 ve 22 arasında çalışıp geri kalan zamanda durması beklenmektedir.

```
unsigned long intDataTime = strtol(dataTime.c_str(), NULL, 10);
time_t t = intDataTime;

String date_time=String(day(t))+"/"+String(month(t))+"/"+String(year(t))+ " -- "
+String(hour(t))+":"+String(minute(t))+":"+String(second(t));
Serial.println(date_time);
```

Resim 3.2.1.4 Epoch Time Verisi'nin String Olarak Tarih ve Saate Dönüştürülmesi

```
// POMPA RÖLESİ ZAMAN PROGRAMI, 2 DE ZAMAN AYARLI. 0 DA KAPALI 1 DE AÇIK. SU SEVİYESİ
if (yil != 1970 && value1 == 2 ) {
    if ( SuSeviyeFonksiyonu() >= 5.0 ){
        if ( p<4 ) digitalWrite(pompaRelay,LOW);
        else digitalWrite(pompaRelay,HIGH);
    }
    else if(yil != 1970 && SuSeviyeFonksiyonu() < 5.0) digitalWrite(pompaRelay,HIGH);
}
else if (yil != 1970 && value1 == 1) digitalWrite(pompaRelay,LOW);
else if (yil != 1970 && value1 == 0) digitalWrite(pompaRelay,HIGH);
// POMPA RÖLESİ ZAMAN PROGRAMI, 2 DE ZAMAN AYARLI. 0 DA KAPALI 1 DE AÇIK. SU SEVİYESİ

// LED RÖLESİ ZAMAN PROGRAMI, 2 DE ZAMAN AYARLI. 0 DA KAPALI 1 DE AÇIK
if(yil != 1970 && value2 == 2) {
    if (21 >= saat && saat >= 6 ) digitalWrite(ledRelay,LOW);
    else if (6 > saat || saat > 21 ) digitalWrite(ledRelay,HIGH);
}
else if (yil != 1970 && value2 == 1) digitalWrite(ledRelay,LOW);
else if (yil != 1970 && value2 == 0) digitalWrite(ledRelay,HIGH);
//LED RÖLESİ ZAMAN PROGRAMI, 2 DE ZAMAN AYARLI. 0 DA KAPALI 1 DE AÇIK
```

Resim 3.2.1.5 Rölelerin Kontrol Edilmesi

İnternet olmadığı durumlarda ise zaman tespiti yapabilmek için Arduino'nun dahili kesme zamanlayıcısı (timer interrupt) kullanılmaktadır. Bu kesme zamanlayıcısı Arduino kartında bulunan 16 MHz'lik kristal osilatörü kullanarak yüksek hassasiyette zaman sayması yapabilmektedir. Ayrıca void loop() fonksiyonunda delay işlemi uygulansa bile zaman kesmesi fonksiyonu mikroişlemci'nin ayrı bir bölgesinde enerji kesintisi olmadığı takdirde sürekli çalışmaktadır.

```
cli();
TCCR1A = 0;
TCCR1B = 0;
TCNT1 = 0;
OCR1A = 15624;
TCCR1B |= (1 << WGM12);
TCCR1B |= (1 << CS12) | (1 << CS10);
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
sei();
}
```

Resim 3.2.1.6 Timer Interrupt Ayarları

Yukarıda yapılan ayarlar ile koda her saniye kesme işlemi uygulanacak ve kesme fonksiyonu içerisindeki kod çalışacaktır. Bu durumda saniyeleri saymak için 'x' değişkeni, dakikaları saymak için 'd' değişkeni, saatleri saymak için 's' değişkeni ve 15 dakikalık pompa döngüsü için 'p' değişkeni kullanılmaktadır.

```
ISR(TIMER1_COMPA_vect){ //timer1 interrupt'ı 1 saniyede bir tetikleniyor.
x++;
if (x == 60){
    d++;
    x=0;
    p++;
}
if(p==15) p=0;
if (d == 60){
    s++;
    d=0;
if(s == 24){
    s = 0;
}
}
}
unsigned long intDataTime = strtoul(dataTime.c_str(), NULL, 10);
time_t t = intDataTime;
if (String(year(t)) == "1970"){
    if (p<=5){
        digitalWrite(pompaRelay,LOW);
        //pompa ilk başta druyor, if bloğuna girdiğinde çalışıyor.
    }
    else {
        digitalWrite(pompaRelay,HIGH);//çalışan pompa bu bloğa girdiğinde tekrar duruyor.
    }
    if (21>=s && s>=6)digitalWrite(ledRelay,LOW);
    else if (6>s || s>21)digitalWrite(ledRelay,HIGH);
}
}
```

Resim 3.2.1.7 Timer Interrupt Fonksiyonu'nun İçi

Kesme fonksiyonu içinde öncelikle ESP'den gelen epoch time bilgisi String olarak tarih ve saate dönüştürülmüştür. İnternet bağlantısı olmadığında epoch time verisi 1970 yılında kalmaktadır. Bu bilgiyi kullanarak if sorgusu ile internet bağlantısının kesildiği anlaşılmaktadır. Daha sonra timer içinde sayılan daika bilgisi 5 olana kadar pompa rölesi açık pozisyona getirilmektedir. Kalan 10 dakikada pompa rölesi kapatılmaktadır. Saat bilgisi ise 6'dan büyük ve 21'den küçük ise led rölesi açık hale getirilmektedir. Saat 6'dan küçük veya 21'den büyükse led rölesi kapalı hale getirilmektedir.


```

float SuSeviyeFonksiyonu() {
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    sure = pulseIn(echoPin, HIGH);
    // Use 343 metres per second as speed of sound
    mesafe = 25- sure*0.0343/2;
    //su haznesi yüksekliği 25 cm, sensör 2 cm mesafeden sonra sağlıklı ölçüm yapıyor.
    mesafe = max(mesafe, 0); // motor yüksekliği 15 cm
    mesafe = min(mesafe, 30);
    return mesafe;
}

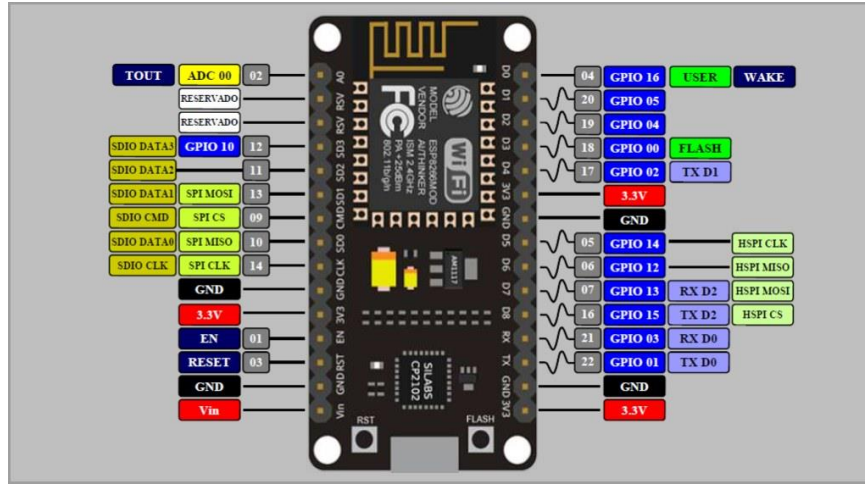
```

Resim 3.2.1.8 Su Seviyesi Fonksiyonu

HC-SR04, 2 cm'den 400 cm'ye kadar 3mm hassasiyetle ölçüm yapabilen ultrasonik mesafe sensörüdür. Giriş pinine uygulanan 10 mikrosaniyelik TTL darbesi ve engelden çarpan ses dalgasının tekrar oluşturduğu TTL darbesi arasındaki süreyi ölçerek bu süreyi ses dalgasının hızı ile işleme sokar ve mesafe bilgisini verir. Fonksiyonda değişiklik yapılarak sensörün suya olan uzaklığı yerine su mesafesini elde edebilmek için haznenin yüksekliğinden sensörün okuduğu mesafe çıkarılmaktadır.

3.2.2 ESP 8266 NodeMCU Devresi

NodeMCU üzerinde ESP8266 modülü bulunduran açık kaynak kodlu, ufak boyutlu elektronik geliştirme kartıdır. Ucuz olmasına rağmen çok stabil çalışan bir karttır. Kullanım alanı oldukça geniştir. Üzerinde bulunan ESP8266 Wifi modülü sayesinde internete kolay bir şekilde bağlanabilmekte ve bu özelliği sayesinde uzaktan kontrol ve IOT projelerinde çok fazla kullanılmaktadır. Ayrıca düşük güç tükettiği için, güç tüketimi önemli olan projelerde de çok tercih edilir. Normalde programla dili olarak Script'i kullanmaktadır. Aynı zaman da Arduino IDE üzerinden de programlanabildiği için Arduino ile aynı dilde programlanabilmektedir. NodeMCU aslında ESP8266'yı LUA dili ile programlamak için geliştirilmiş bir firmwarein ismidir. Fakat ayrıca NodeMcu DevKit isminde geliştirme kartları da olduğundan bu şekilde isimlendirilmektedir.



Resim 3.2.2.1 ESP8266 NodeMCU-E12 Geliştirme Kartı

NodeMCU'yu Arduino IDE üzerinden programlamak için ESP8266 Modules kütüphanesinin tanımlanması gerekmektedir. WiFi bağlantısı ile Firebase sunucularına bağlanabilmek için de 'ESP8266WiFi.h' ve 'FirebaseArduino.h' kütüphanelerinin tanımlanması gerekmektedir. NTP (Network Time Protocol) sunucularına bağlanıp anlık zaman bilgisi alabilmek için 'WiFiUdp.h' ve 'NTPClient.h' kütüphanelerinin tanımlanması ve alınan epoch time bilgisini anlamlı tarih ve saate dönüştürmek için 'TimeLib.h' kütüphanesi tanımlanmalıdır. Ayrıca Arduino Uno ile seri haberleşme yapabilmek için 'SoftwareSerial.h' kütüphanesi tanımlanmalıdır. DS18B20 sıcaklık sensöründen veri okuyabilmek için de 'OneWire.h' ve 'DallasTemperature.h' kütüphaneleri tanımlanmalıdır.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <FirebaseArduino.h>
#include <TimeLib.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <NTPClient.h>
#include <OneWire.h> // OneWire kütüphane dosyası çağrıldı
#include <DallasTemperature.h> // DallasTemperature kütüphane dosyası çağrıldı
```

Resim 3.2.2.2 ESP8266 NodeMCU İçin Tanımlanmış Kütüphaneler

ESP8266'yı wifi ile internete bağlamak ve Firebase Server'a bağlanabilmek için kodun başında gerekli değişkenler tanımlanmalıdır. Bunlar WiFi SSID yani bağlanılacak WiFi ağının ismi, WiFi Password ağın şifresi, Firebase Host sunucunun bize özel tanımladığı DNS adresi ve Firebase Auth sunucunun bize özel verdiği güvenlik tokeni.

```
// Set these to run example.
#define FIREBASE_HOST "ozguven-hidroponic-default-rtdb.europe-west1.firebaseioapp"
#define FIREBASE_AUTH "2ElM6VosdxkciTwYHdjL9AU0YgMYAHSaZvLHU89"
#define WIFI_SSID "ahmethakan"
#define WIFI_PASSWORD "19992020"
```

Resim 3.2.2.3 WiFi ve Firebase Server Tanımlamaları

Daha sonra kodun başlangıçta çalışan kısmı olan ‘void setup()’ içinde seri haberleşme, Wifi bağlantısı, Firebase bağlantısı ve DS18B20 bağlantısı kurulur.

```
void setup() {
  Serial.begin(57600); //Serial Monitor on
  NodeMCU_SoftSerial.begin(9600); // Open SoftSerial Arduino-NodeMCU
  // connect to wifi.
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  Serial.print("connecting");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(500);
  }
  Serial.println();
  Serial.print("connected: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Firebase.begin(FIREBASE_HOST, FIREBASE_AUTH);
  timeClient.begin();
  DS18B20.begin();
  DS18B20.getAddress(DS18B20adres, 0);
  DS18B20.setResolution(DS18B20adres, 12);
}
```

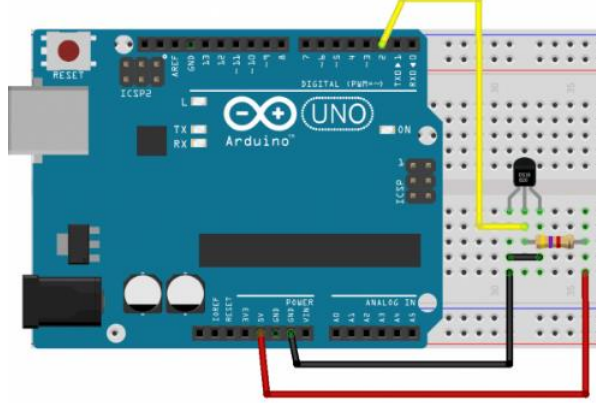
Resim 3.2.2.4 NodeMCU void setup()

DS18B20, su geçirmez sıcaklık sensörüdür. Dijital bir sensör olduğu için 1 metre uzunluğundaki kablosu yardımıyla derin mesafelerdeki sıcaklık rahatlıkla ölçülebilir ve data transferinde herhangi bir bozulma olmaz. Tek kablo (1-wire) arabirimi üzerinden 9 veya yapılandırılabilir 12 bitlik okuma gerçekleştirilebilir. Çeşitli bina içi, teçhizat, makine ve sıvı havuzlarının sıcaklık ölçümleri rahatlıkla yapılabilir.

DS18B20 Sıcaklık Sensörü Özellikleri:

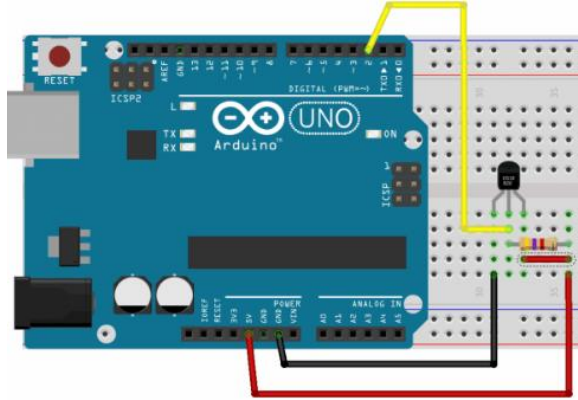
- Çalışma Voltajı : 3.0V-5.0V
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle -10°C - 80°C arasında sıcaklık okuması
- 9 veya 12 bit seçilebilir çözünürlük
- 1-wire arabirimi ile iletişim için tek dijital pin kullanılabilir.
- Sıcaklık limiti uyarı sistemi bulunmaktadır.
- 750 mS'den daha az bir tepki süresi
- 3 tel arayüzü:
- Kırmızı Kablo - VCC
- Siyah Kablo - GND
- Beyaz Kablo - DATA
- 6mm çapında 30mm boyunad paslanmaz çelik kılıf
- 1 metre uzunluğunda kablo
- Su geçirmez

Bu sensörün iki çeşit bağlantı tipi vardır. Birinci bağlantı çeşidine ParaziteMode bağlantı adı verilir ve sensör enerjisini DQ(DATA) hattından Pull-Up direnci üzerinden alır ve sensörün VDD ve GND bacakları toprağa bağlıdır. Bunun avantajı daha az güç tüketmesidir.



Resim 3.2.2.5 DS18B20 Parazit Modu Bağlantısı

İkinci bağlantı ise normal bağlantıdır. VDD bacağı +5V bağlıdır, GND bacağı toprağa yani Arduinonun GND'sine bağlıdır. DQ(DATA) bacağı da her iki bağlantıda olduğu gibi 4.7kOhm dirençle +5V'a bağlıdır bu direnç olmadan sensör ile Arduino arasında iletişim gerçekleşemez.



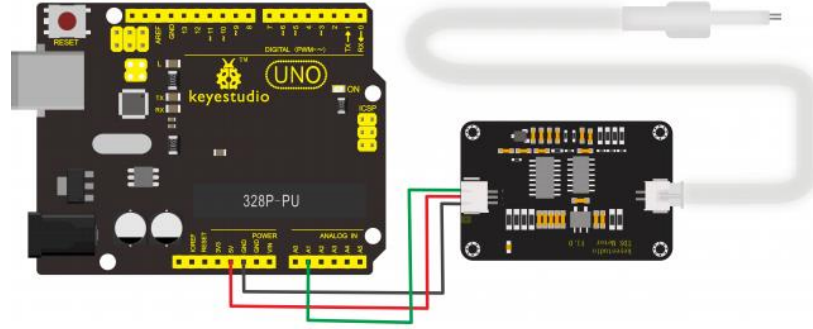
Resim 3.2.2.6 DS18B20 Normal Bağlantı

Devremizde normal bağlantı modu tercih edilmiş olup sensör çözünürlüğü de 12 bit çözünürlüğe ayarlanmıştır. Bu sayede daha hassas ölçüm değerleri alınabilmektedir.

```
float SıcaklıkFonksiyonu() {
    DS18B20.requestTemperatures();
    santigrat = DS18B20.getTempC(DS18B20adres);
    return santigrat;
}
```

Resim 3.2.2.7 DS18B20'den Sıcaklık Verisinin Okunduğu Fonksiyon

Sistemde EC sensörü olarak Keystudio markasının TDS Meter V1.0 modelindeki analog TDS sensörü kullanılmıştır. Bu sensörde su geçirmez EC ölçüm probu, analog gerilim dönüştürücüsü ve mikrokontrolcü ile bağlantı yapılabilmesi için 3 adet dışı-erkek jumper kablo bulunmaktadır. 3 adet jumperdan biri +5VDC, diğeri GND diğeri de mikrokontrolcünün analog girişine bağlanmaktadır.



Resim 3.2.2.8 Keystudio TDS Meter V1.0 Bağlantı Şeması

TDS Metre Özellikleri:

- Giriş Gerilimi: DC 3.3 ~ 5.5V
- Çıkış Gerilimi: 0 ~ 2.3V
- Çalışma Akımı: 3 ~ 6mA
- TDS Ölçüm Aralığı: 0 ~ 1000ppm
- TDS Ölçüm Doğruluğu: $\pm 10\%$ F.S. (25 °C)
- Modul Arayüzü: XH2.54-3P
- Elektrot Arayüzü: XH2.54-2P

TDS Probu Özellikleri:

- Uçtaki İğne Sayısı: 2
- Kablo Uzunluğu: 60cm
- Bağlantı Arayüzü: XH2.54-2P
- Su Geçirmezlik: Su Geçirmez

Sensör enerjisini Arduino'nun 5VDC çıkışından almaktadır ancak Analog okumalar ESP8266 NodeMCU'nun A0 analog girişinden yapılmaktadır. Bu bağlantı biçiminde Arduino ve NodeMCU'nun GND'leri kısıadevre edilmelidir. Bu şekilde bağlantı yapmamızın sebebi sensör verilerinin gerilim dalgalanmalarından etkilenmesini engellemek ve verileri NodeMCU ile doğrudan Firebase database'ine gönderebilmektir.

```

#define TdsSensorPin A0
#define VREF 3.3      // analog reference voltage(Volt) of the ADC
#define SCOUNT 5     // sum of sample poin
int analogBuffer[SCOUNT]; // store the analog value in the array, read from ADC
int analogBufferTemp[SCOUNT];
int analogBufferIndex = 0, copyIndex = 0;
float averageVoltage = 0, tdsValue = 0; //temperature = 25;
float ecValue=0;

```

Resim 3.2.2.9 TDS Sensörü'nün Tanımlamaları

Bu kısımda TDS sensör analog pini, NodeMCU 3.3VDC ile çalıştırma için referans gerilimi, medyan dizisi sayısı ve gerekli değişkenler tanımlanmıştır.

Medyan, bir dizinin tüm elemanlarını küçükten büyüğe sıralanması ve ortada bulunan sayının alınması işlemine denir. TDS sensörü, TDS okuma fonksiyonunun içine girdiğinde 40 milisaniye'den 800 milisaniye'ye kadar ölçülen verilerden en doğru olanını seçebilmek için 5 verinin ortasındaki veri medyan işlemi ile seçilmekte ve okunan TDS değeri bu olmaktadır.

```

int getMedianNum(int bArray[], int iFilterLen)
{
    int bTab[iFilterLen];
    for (byte i = 0; i < iFilterLen; i++)
        bTab[i] = bArray[i];
    int i, j, bTemp;
    for (j = 0; j < iFilterLen - 1; j++)
    {
        for (i = 0; i < iFilterLen - j - 1; i++)
        {
            if (bTab[i] > bTab[i + 1])
            {
                bTemp = bTab[i];
                bTab[i] = bTab[i + 1];
                bTab[i + 1] = bTemp;
            }
        }
    }
    if ((iFilterLen & 1) > 0)
        bTemp = bTab[(iFilterLen - 1) / 2];
    else
        bTemp = (bTab[iFilterLen / 2] + bTab[iFilterLen / 2 - 1]) / 2;
    return bTemp;
}

```

Resim 3.2.2.10 Medyan Fonksiyonu

TDS metreden gelen analog voltaj değerinin TDS değerine dönüştürülebilmesi için TDS metre fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyonda sıcaklık kompanzasyonu yapılabilmesi için DS18B20 sensöründen okunan sıcaklık kullanılmaktadır. Bu sayede

```

float EcMetreFonksiyonu() {
    static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
    if(millis()-analogSampleTimepoint > 400)    //every 40 milliseconds, read the anal
    {
        analogSampleTimepoint = millis();
        analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin);    //read the analog
        analogBufferIndex++;
        if(analogBufferIndex == SCOUNT)
            analogBufferIndex = 0;
    }
    static unsigned long printTimepoint = millis();
    if(millis()-printTimepoint > 8000)
    {
        printTimepoint = millis();
        for(copyIndex=0;copyIndex<SCOUNT + 1;copyIndex++)
            analogBufferTemp[copyIndex]= analogBuffer[copyIndex];
        averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp,SCOUNT) * (float)VREF / 1024.0; //
        float compensationCoefficient=1.0+0.02*(santigrat-25.0);    //temperature compensa
        float compensationVolatge=averageVoltage/compensationCoefficient;    //temperature c
        tdsValue=(133.42*compensationVolatge*compensationVolatge*compensationVolatge -
        255.86*compensationVolatge*compensationVolatge + 857.39*compensationVolatge)*0.5;
        Serial.print("voltage:");
        Serial.print(averageVoltage,2);
        Serial.print("V    ");
        ecValue=tdsValue/500;
        return ecValue;
    }
}

```

Resim 3.2.2.11 TDS Metre Fonksiyonu

Sıcaklık değerinden etkilenmeksizin doğru TDS değeri okunabilmektedir. Ayrıca okunan TDS değeri, 0.5×1000 dönüştürme katsayısına bölünerek EC değeri de elde edilebilmektedir.

Sensörlerin doğruluğunu ölçmek için yapılan testlerde referans TDS Metre’de 701 PPM değeri okunurken ESP’ye bağlı analog TDS Metre’den 696.03 PPM değeri okunmuştur. Bu değerler arasında %0.71’lik bir sapma vardır.

DS18B20 sıcaklık sensöründen su sıcaklığı değeri 14.25 °C okunmuştur. Referans sıcaklık sensöründen 14 °C okunmuştur. Bu değerler arasında %1.78’lik bir sapma vardır.

NTP Server’dan zaman bilgisi alabilmek için ‘pool.ntp.org’ domain adresine bağlanılmıştır. Türkiye’nin UTC zaman bölgesi UTC+3 olduğundan 3 saatin saniye karşılığı ‘utcOffset’ değişkeninde tanımlanmıştır.

```

const long utcOffsetInSeconds = 3*3600;
WiFiUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org", utcOffsetInSeconds);

```

Resim 3.2.2.12 UTC ve NTP Server Tanımlamaları

NTP Servar’dan alınan epoch time verisinin anlamlı tarih ve saate dönüştürülebilmesi için ‘TimeLib’ kütüphanesi kullanılmıştır.

```

timeClient.update();
time_t t=timeClient.getEpochTime();
String datetime=String(day(t))+"/"+String(month(t))+"/"+String(year(t))+ " -- "
                +String(hour(t))+":"+String(minute(t))+":"+String(second(t));
Serial.println(datetime);
Serial.println(t);

```

Resim 3.2.2.13 Epoch Time Verisinin Tarih ve Saate Dönüştürülmesi

Verilerin Firebase ortamına aktarılması için başlarına güncel tarih ve saat bilgisi eklenmiştir. Daha sonra bu değerler ‘Firebase.pushString’ komutu ile database kaydı yapılırken ‘Firebase.setString’ komutu ile güncel değerlerinin Firebase arayüzünde daha kolay okunabilmesi sağlanmıştır.

```

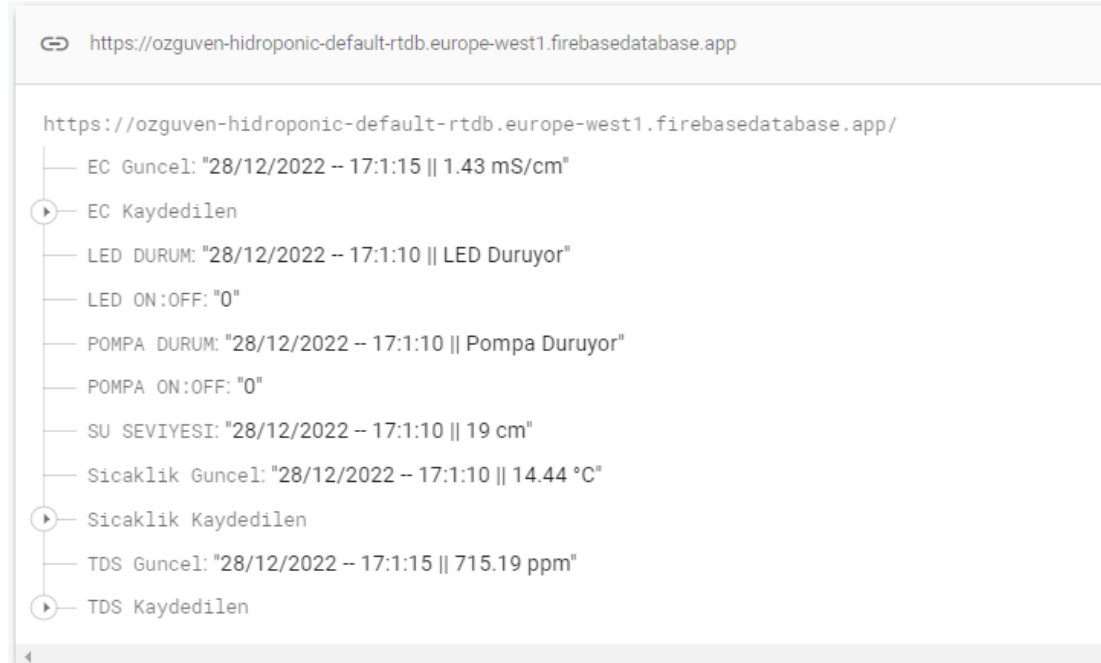
float sicaklik = SicaklikFonksiyonu();
float ec = EcMetreFonksiyonu();
float tds = ec*500;
Serial.print("Sicaklik: ");
Serial.println(sicaklik);
String fireSicaklik = String(datetime)+ " || " + String(sicaklik)+ " " + String("°C");
Serial.print("EC Degeri: ");
Serial.println(ec);
String fireEc = String(datetime)+ " || " + String(ec) + " " + String("mS/cm");
Serial.print("TDS Degeri: ");
Serial.println(tds);
String fireTds = String(datetime)+ " || " + String(tds) + " " + String("ppm");
Firebase.pushString("EC Kaydedilen", fireEc);           //setup path to send Temperature readings
Firebase.setString("EC Guncel", fireEc);               //setup path to send Temperature readings
Firebase.pushString("TDS Kaydedilen", fireTds);
Firebase.setString("TDS Guncel", fireTds);
Firebase.pushString("Sicaklik Kaydedilen ", fireSicaklik);
Firebase.setString("Sicaklik Guncel", fireSicaklik);

```

Resim 3.2.2.14 Verilerin Firebase'ye Aktarılması

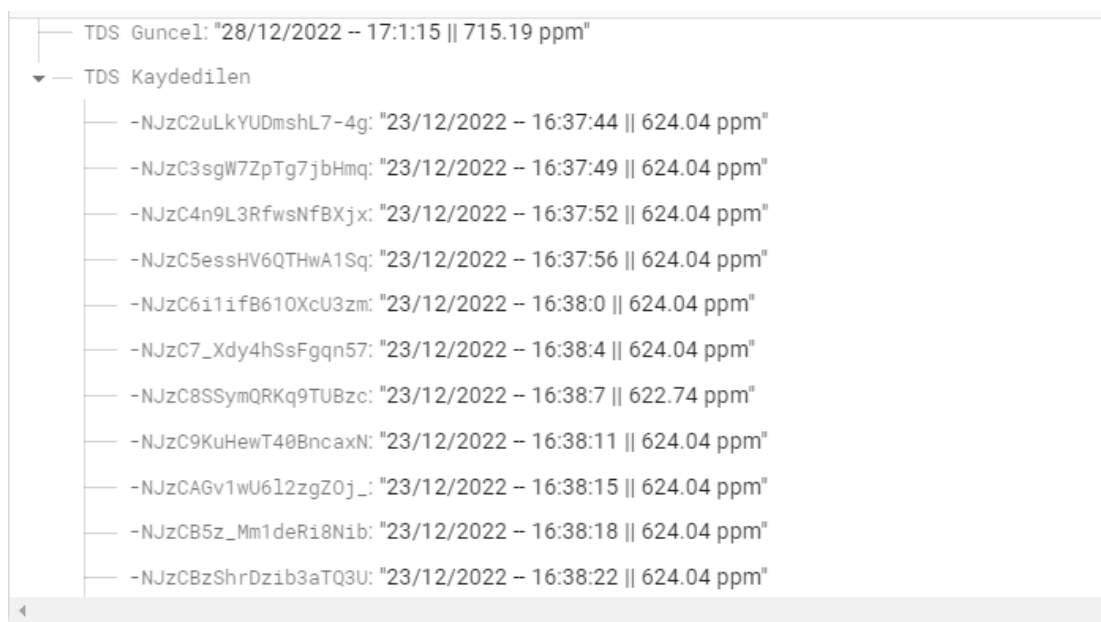
Google Firebase; web ve mobil uygulamalarının server tarafıyla geliştiricinin uğraşmasına gerek kalmadan kullanıcı giriş yetkilendirmeli ve verilerini gerçek zamanlı ve senkron bir şekilde tutulmasını sağlayan bir platformdur. Günümüzde ki projeler tüm markete hitap etmesi açısından iOS , Android ve web platformlarında geliştirilir fakat her platformun kendine ait yazılım dili ve bağlantı şekilleri vardır. Server-Side dediğimiz arkaplanda ki verilerin tutulması ve gerektiği zaman kullanılması her platformun ortak sorunudur ve Google Firebase bu konuda geliştirilmiş ortak bir çözümdür. IOT kavramının altı doldurulurken en çok kullanılan terim “bulut” terimidir. Bulut sistemlerinde veriler sistemimizin herhangi bir fiziksel parçasında depolanmaz, internet ortamında saklanırlar. Bu sayede veriler istenildiği anda istenilen noktadan ulaşılabilir , istenilen yerden değiştirilebilir durumdadır. Böylece gerçek manada, aralarındaki mesafeye bakılmaksızın bir nesneler ağı

oluşturma imkanımız olur. Projemizin veri depolama miktarı Firebase'nin ücretsiz kullanım planına uymaktadır.



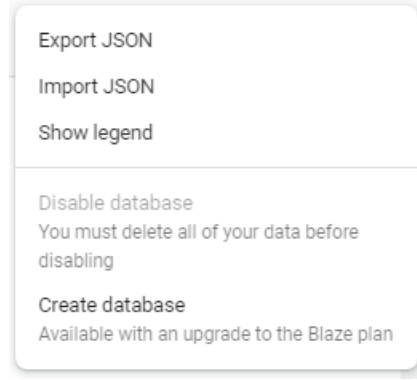
Resim 3.2.2.15 Firebase Database Arayüzü

EC, sıcaklık ve TDS değerleri saniye başı kaydedilmektedir. Su seviyesi anlık olarak gösterilmektedir. LED ve pompa röleleri duruyor mu yoksa çalışıyor mu takip edilebilmektedir. Ayrıca LED ve pompa röleleri açma kapama ve zaman ayarına bırakma işlemleri yapılabilmektedir.



Resim 3.2.2.16 TDS Verilerinin Kaydedildiği Database

Firestore database'de kaydedilen veriler 'JSON' formatında indirilip 'CSV' dosya formatına dönüştürerek Microsoft Excel programında işlenebilmektedir.



Resim 3.2.2.17 Kaydedilen Verilerin JSON Formatında İndirilmesi

```
dataRelay1Toggle=Firebase.getString("POMPA ON:OFF");|
dataRelay2Toggle=Firebase.getString("LED ON:OFF");
```

Resim 3.2.2.18 Firebase'den Pompa ve Led Kontrolü

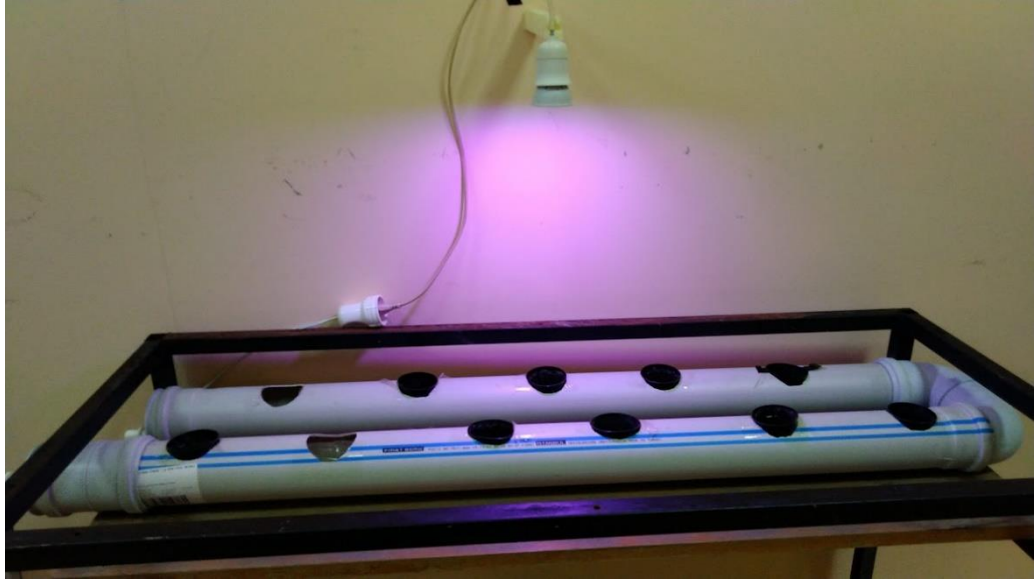
```
if(dataRelay1DurumInt == 1){
String pompaDuruyor = String(datetime)+ " || " + "Pompa Duruyor" ;
Firebase.setString("POMPA DURUM", pompaDuruyor);
}
else if (dataRelay1DurumInt == 0) {
String pompaCalisiyor = String(datetime)+ " || " + "Pompa Calisiyor" ;
Firebase.setString("POMPA DURUM", pompaCalisiyor);
}

if(dataRelay2DurumInt == 1){
String ledDuruyor = String(datetime)+ " || " + "LED Duruyor" ;
Firebase.setString("LED DURUM", ledDuruyor);
}
else if (dataRelay2DurumInt == 0) {
String ledCalisiyor = String(datetime)+ " || " + "LED Çalışıyor" ;
Firebase.setString("LED DURUM", ledCalisiyor);
}
```

Resim 3.2.2.19 Arduino'dan Alınan Röle Bilgilerinin Firebase'ye Yollanması

4. MARULLARIN SİSTEME AKTARILMASI

NFT kanal sistemi ve yapılan kontrol devresi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği B Blok binasında bulunan ARGE odasına taşınmıştır. Sistem burada işler hale getirilerek gerekli kontrol ve sızdırmazlık testleri yapılmıştır. Gerekli montaj ve kurulum işlemleri tamamlanıp sensör ve rölelerin doğru çalıştığından emin olunduktan sonra besin solüsyonu ayarlanmıştır.



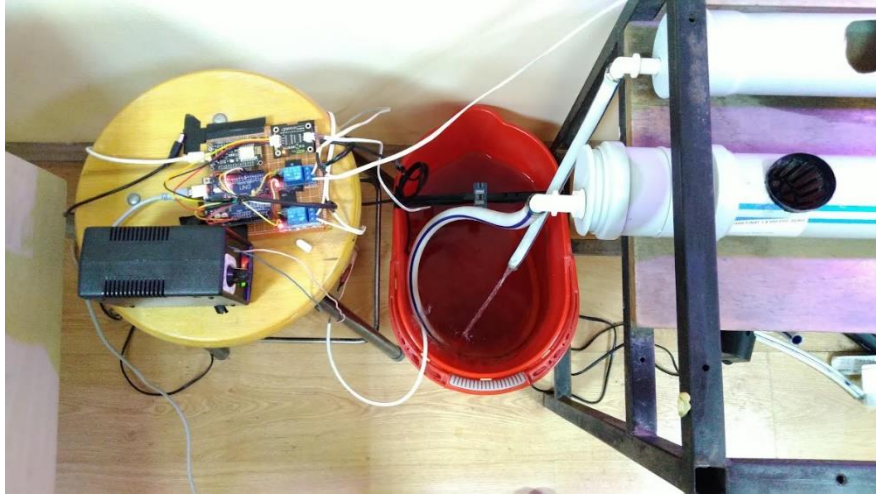
Resim 4.1 NFT Kanal Sistemi Montajı

Besin solüsyonu için 15 litre suya 24 ml Makro ve 24 ml Mikro besin çözeltisi eklenmiştir. Bu çözeltinin TDS değeri 724 PPM ve pH değeri 7 olarak ölçülmüştür. pH değerini düşürmek için 2 ml Nitrik Asit çözeltisi eklenmiştir. Son durumda pH değeri 6.6 olarak ölçülmüştür.

28 Aralık 2022 tarihinde Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Taşkent Binası'nda saksıda büyümekte olan ortalama 3-4 yaprak geliştirmiş ve yaprak uzunluğu 10-15 cm olan 7 tane marul topraktan sökülüp kökleri yıkandıktan sonra topraksız tarım NFT kanalına aktarılmıştır. Marulların ilk aktarıldığı gün TDS değeri 724 PPM, pH 6.6, su sıcaklığı 15.1 °C, ortam sıcaklığı 18.4 °C ve besin solüsyonu kovası tam doluyken su yüksekliği 24 cm'dir.



Resim 4.2 Marulların NFT Kanala Yerleştirilmesi



Resim 4.3 NFT Kanal Sistemi ve Kontrol Devresi

Deneyin ilk üç gününde devirdaim pompası 3 dakika çalışıp 7 dakika duracak şekilde ayarlanmıştır. 3 dakikada kanal içi Marul köklerini kaplayacak kadar su basılmakta geri kalan 7 dakikada kanalın boşalıp bitki köklerinin oksijen alması amaçlanmıştır. Daha sonra bu aralık 5 dakika su basma ve 10 dakika tahliye şekline çevrilmiştir.

2 Ocak 2023 tarihinde sistem kontrol edildiğinde Arduino kodunun takılı kaldığı ve rölelerin olması gerektiği gibi çalışmadığı fark edilmiştir. Bu durumun bir daha yaşanmaması için Arduino'nun WatchDog Timer özelliği koda eklenmiş, herhangi bir takılma olması durumunda kodun resetlenip tekrar başlaması sağlanmıştır.

2 Ocak tarihinde yapılan ölçümlerde devirdaim yapılamadığı için bitkilerde hafif solma olduğu görülmüştür. Su buharlaşmasından ve bitkilerin besin alamamasından ötürü TDS değeri 794 PPM'e çıkmış ve pH değeri 6.1'e düşmüştür. Besin solüsyonuna 0.5 Litre su eklenerek TDS değeri 758 PPM'e düşürülüp pH arttırıcı eklenerek pH değeri tekrar 6.6'ya çıkarılmıştır. Bu sırada su sıcaklığı 15.8 °C, ortam sıcaklığı 17.3 °C ve su yüksekliği 23 cm'dir.

5 Ocak tarihinde Marulların topraksız tarım sistemine aktarılması üzerinden 8 gün geçmiştir. Marullar son kontrol edildiğinde TDS değeri 698 PPM, pH değeri 6.8, su sıcaklığı 15.3 °C, ortam sıcaklığı 18.1 °C ve su yüksekliği 21 cm olarak ölçülmüştür. Gerekli eklemeler yapıp marullar büyümeye bırakılmıştır. Sistem stabil bir şekilde çalışmaktadır.



Resim 4.4 5 Ocak 2023 Tarihinde Marulların Durumu

Tablo 4 Yapılan Ölçümlerin Tablosu

Tarih	TDS Değeri	pH Değeri	Su Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı	Su Yüksekliği
28 Aralık 2022	724 PPM	6.6	15.1 °C	18.4 °C	24 cm
2 Ocak 2023 (Düzeltilme Öncesi)	794 PPM	6.1	15.7 °C	17.3 °C	22 cm
2 Ocak 2023 (Düzeltilme Sonrası)	758 PPM	6.6	15.8 °C	17.3 °C	23 cm
5 Ocak 2023	698 PPM	6.8	15.3 °C	18.1 °C	21 cm

5. SONUÇ

Yapılan topraksız tarım sistemi sayesinde kullanılmayan kapalı alanlarda, şehre yakın yerlerde düşük maliyetli ve sürekli olarak kontrollü şatlarda besin üretimi sağlanabilmektedir. Artan açlık ve kuraklık sorununa çözüm olabilecek bu sistem suyun etkin ve verimli kullanılması sayesinde birçok insanın hayatına doğrudan etki edebilecek kapasitede bir çalışmadır.

Toprakta yetiştirilen marulun hasat edilebilecek hale gelmesi için 70-80 gün gerekirken topraksız tarımda bu süre 30-35 güne kadar düşmekte ve erkenci hasat yapılabilmektedir. Bu sayede yaklaşık 2.5 kat daha fazla besin elde edilebilmektedir. Toprakta bulunan hastalık ve zararlılardan etkilenmeyen bu sistemde bitkiler sağlıklı olarak yüksek verimde yetiştirilmektedir.

Topraksız tarımın ilk kurulum maliyeti yüksek olmasına karşın avantajları sayesinde bu maliyet amorti edilebilmektedir. Yapılan uzaktan takip ve kontrol sistemi sayesinde insan gücü minimuma indirilip sistem neredeyse otonom olarak çalışmaktadır. Tam otonom çalışmanın sağlanabilmesi için besin çözeltileri ve pH çözeltilerini otomatik olarak dozajlayan peristaltik pompalar sisteme eklenebilir. Sistemde şu an TDS değeri, EC değeri, su sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve su seviyesi uzaktan izlenebilmektedir. Yapay ışıklandırmanın kontrolü ve pompanın çalışma aralığı uzaktan kontrol edilebilmekte ve zamana göre çalışması sağlanabilmektedir. Sisteme eklenecek analog pH sensörü de tam otonom çalışmaya geçişte önemli bir unsurdur.

Marulların topraksız tarıma taşındığı 28 Aralık 2022 tarihinden itibaren yapılan incelemelerde büyümenin toprakta yetişen aynı özelliklere sahip marullardan daha iyi olduğu gözlemlenmiştir ancak Tez sunum tarihine kadar geçen sürenin sadece 10 gün olması sebebiyle marulların hasat süresine kadar olan büyüme durumu gözlenememiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Cho, R., 2011. Vertical Farms: From Vision to Reality. State of the Planet, Blogs from the Earth Institute, <http://blogs.ei.columbia.edu/2011/10/13/vertical-farms-from-vision-to-reality/comment-page1>
- [2] Laouchez, M., 2016. As arable land disappears, here come the vertical farmers. <https://phys.org/news/2016-10-arable-verticalfarmers.html>
- [3] Al-Kodmany, K., 2018. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. Buildings. 8(2):24. DOI: 10.3390/buildings8020024
- [4] Nicole, C., 2017. Vertical farming: a revolution in food production enabled by LED lighting. Philips Lighting Research Vertical Farming Conference, Venlo, Hollanda, 28 June.
- [5] Granath, B., 2017. Lunar, Martian Greenhouses Designed to Mimic Those on Earth. NASA's Kennedy Space Center, Florida. <https://www.nasa.gov/feature/lunar-martiangreenhouses-designed-to-mimic-those-on-earth>
- [6] Bingöl, B., 2015. Dikey Tarım. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi 11(2): 92-99.
- [7] Alexandratos, N., Bruinsma, J., 2012. World agriculture towards 2030/2050, The 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03. <http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf>
- [8] Van Der Schaft, P., 2018. Pollination drones seen as assistants for ailing bees. <https://www.roboticsbusinessreview.com/agriculture/pollination-drones-assist-ailing-bees/>
- [9] Ohi, N., Lassak, K., Watson, R., Strader, J., Du, Y., Yang, C., Kilic, C. 2018. Design of an autonomous precision pollination robot. In 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) pp. 7711-7718.
- [10] Potts, S.G., Neumann, P., Vaissière, B., Vereecken, N.J., 2018. Robotic bees for crop pollination: Why drones cannot replace biodiversity. Science of the total environment, 642: 665-667.
- [11] Sevgican, A., 1999a. Örtüaltı Sebzeçiliği Cilt I (Topraklı Tarım). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 528, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir
- [12] İnternet: <https://www.resifsera.com/bilgi-bankasi/hidroponik-tarim-topraksiz-tarim-bitki-yetistirme-cesitleri>

- [13] Çağlayan N, Ertekin C. (2016). Sebze Üretiminde İlave LED Aydınlatma Uygulamaları. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science). 2016, 12 (1), 27-35, Antalya.
- [14] Yağcıoğlu A K, Demir V & Günhan T (2004). Seraya giren faydalı ışınım enerjisini hesaplamak için bir yöntem-I. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 41(2):143–154.
- [15] Yağcıoğlu A K (2005). Sera Mekanizasyonu. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 562, İzmir.
- [16] Chen, X. L., Guo, W. Z., Xue, X. Z., Wang, L. C. & Qiao, X. J. Growth and quality responses of ‘Green Oak Leaf ’ lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fuorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). Sci. Hortic. 172, 168–175, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.009> (2014).
- [17] Çağlayan N, Ertekin C. (2016). Sebze Üretiminde İlave LED Aydınlatma Uygulamaları. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science). 2016, 12 (1), 27-35, Antalya.
- [18] Lin, K. H. Ve ark. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). Sci. Hortic. 150, 86–91, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002> (2013).
- [19] Chen, X. L., Guo, W. Z., Xue, X. Z., Wang, L. C. & Qiao, X. J. Growth and quality responses of ‘Green Oak Leaf ’ lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fuorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). Sci. Hortic. 172, 168–175, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.009> (2014).
- [20] Shaw, J. LED Colour Temperature and its Efect on the Growth of Hydroponic Lettuce Seedlings. THE YOUNG RESEARCHER, VOL. 2, NO. 1, s 164-173 2018
- [21] Berry, J. A., and J. K. Raison. 1981. Responses of macrophytes to temperature. Pages 277- 338 in O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond, and H. Ziegler, eds. Encyclopedia of Plant Physiology, new series, vol. 12A, Springer-Verlag, Berlin, FRG.
- [22] Akinci, Irfan. (2003). Requirements of the Temperature Sum of Head and Cos Lettuce (*Lactuca Sativa* L.), Grown at Diffferent Periods in Open Field and Tunnels, and Relations with Yield. Farklı Dönemlerde Açıkta ve Tünellerde Yetiştirilen Baş Salata ve Marullarda (*Lactuca sativa* L.) Sıcaklık Toplamı İstekleri ve Verimle İlişkileri. 6. 97-1005.
- [23] Gent, Martin. (2016). Effect of temperature on composition of hydroponic lettuce. Acta Horticulturae. 95-100. 10.17660/ActaHortic.2016.1123.13.
- [24] Jackson, L., Mayberry, K., Laemmlen, F., Koike, S. ve SHLUBACK, K., 1999. Iceberg

- [25] Malcolm, P., Holford P., McGlasson B. ve Barchia, I., 2008. Leaf development, net assimilation and leaf nitrogen concentrations of five *Prunus* rootstocks in response to root temperature, *Scientia Horticulturae*, Volume 115, Issue 3, Pages 285-291. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442380700338X>
- [26] Maaswinkel, R.M., & Welles, G.W. (1987). Factors affecting head formation of iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 35, 37-42.
- [27] Jensen, M. H. (1991). Hydroponic culture for the tropics: opportunities and alternatives. Asian and Pacific Council. Food Technology Center.
- [28] Thompson, H. C., Langhans, R. W., Both, A., & Albright, L. D. (1998). Shoot and Root Temperature Effects on Lettuce Growth in a Floating Hydroponic System, *Journal of the American Society for Horticultural Science* jashs, 123(3), 361-364. Retrieved Dec 2022, from <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/123/3/article-p361.xml>
- [29] Malavolta, E. (2006) Plant mineral nutrition guide. Ceres Agronomik Yayinevi: 638 s São Paulo.
- [30] Furlani P. R. ve ark. 1999. Hydroponic cultivation of Campinas plants: IAC, 52 s (Technical Bulletin 180).
- [31] Abou-Hadid, A.F., Abd-Elmoniem, E.M., El-Shinawy, M.Z. & Abou-Elsoud, M. 1995 Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system *Acta Hort.* 434 59 66.
- [32] Rijck, G. & Schrevens, Eddie. (1997). pH Influenced by the elemental composition of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition*. 20. 911-923. 10.1080/01904169709365305.
- [33] Gibson, J. L., & Whipker, B. E. (2001). Ornamental Cabbage and Kale Cultivar Comparison Study: Growth Characteristics and Response to Daminozide and Uniconazole Foliar Sprays, *HortTechnology horttech*, 11(3), 376-380. Retrieved Dec 30, 2022, from <https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/11/3/article-p376.xml>
- [34] Hosseini, Hadis & Mozafari, Vahid & Roosta, Hamid Reza & Shirani, Hossein & Vlasakker, Paulien & Farhangi, Mohsen. (2021). Nutrient Use in Vertical Farming: Optimal Electrical Conductivity of Nutrient Solution for Growth of Lettuce and Basil in Hydroponic Cultivation. *Horticulturae*. 7. 1-14. 10.3390/horticulturae7090283.
- [35] İnternet: <https://www.growkent.com/blog/icerik/ec-elektriksel-konduktivite-nedir#:~:text=EC%2C%20di%C4%9Fer%20ad%C4%B1yla%20elektriksel%20kond%C3%BCKtivite,elektrik%20yal%C4%B1t%C4%B1m%20malzemesi%20olarak%20bilinmektedir>.
- [36] İnternet: [https://www.growkent.com/blog/icerik/tds-toplam-cozunmus-katilar-nedir-ve-ec-ile-iliskisi-nedir#:~:text=TDS%2C%20di%C4%9Fer%20ad%C4%B1yla%20toplam%20%C3%](https://www.growkent.com/blog/icerik/tds-toplam-cozunmus-katilar-nedir-ve-ec-ile-iliskisi-nedir#:~:text=TDS%2C%20di%C4%9Fer%20ad%C4%B1yla%20toplam%20%C3%20)

[A7%C3%B6z%C3%BCnm%C3%BC%C5%9F,s%C4%B1%C4%9Facak%20kadar%20k%C3%BC%C3%A7%C3%BCk%20olmalar%C4%B1%20gerekmektedir.](#)

[37] Anna F Rusydi 2018 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 118 012019. doi :10.1088/1755-1315/118/1/012019

[38]2017, Topraksız Tarım. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. Ankara.
<http://meslek.eba.gov.tr/moduller/Topraksiz%20Tarim.pdf>

[39] Mukherjee, S. 2013. Concept Note: Aquaponic Systems and Technologies. Sankalpa Research Center.
(http://www.sankalpamfs.org/src/wp/Concept.Note_Aquaponic.Systems.pdf, 15.04.2015).

[40] Wheeler, R. M. 2020. NASA's Contributions to Vertical Farming. NASA Exploration Research and Technology. Kennedy Space Center Florida.

[41] MORGAN, L., 2002b. Raft system specific, The Growing Edge, 14(2): 46-60.

[42] KASIM, R. ve KASIM M., 2004. Topraksız Yetiştiricilik. Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Yayın No:130.

[43] Gül, A., 2012. Topraksız Tarım, Hasad Yayıncılık, ISBN: 978-975-8377-83-1.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZGÜVEN, Ahmet Hakan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 07/08/1999 Altındağ
Medeni hali : Bekar
Telefon : 05534584223
e-mail : ahmethakanozguven@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lise	Ankara Pursaklar Ayyıldız Anadolu Lisesi	2017

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Müzik Dinlemek, Kitap Okumak, Film İzlemek