KÜÇÜK BİR HİDROPONİK SİSTEM İÇİN PH ve EC İZLEME ve OTOMATİK AYDINLATMA TAKİP SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Emre AKBULUT

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK BİR HİDROPONİK SİSTEM İÇİN PH ve EC İZLEME ve OTOMATİK AYDINLATMA TAKİP SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Emre AKBULUT
502229036

Prof. Dr. Selçuk ARSLAN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2025
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÜÇÜK BİR HİDROPONİK SİSTEM İÇİN PH VE EC İZLEME VE OTOMATİK AYDINLATMA TAKİP SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Emre AKBULUT

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Selçuk ARSLAN

Bu çalışmada, ev tipi hidroponik tarım uygulamalarına yönelik düşük maliyetli, sensör tabanlı bir otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Sistem, ESP32 mikrodenetleyicisi kullanılarak tasarlanmış olup, pH, EC (elektriksel iletkenlik) ve ışık şiddeti gibi temel çevresel parametreleri ölçen sensörlerle donatılmıştır. Ölçülen veriler, Bluetooth teknolojisi aracılığıyla mobil uygulamaya aktarılmış ve kullanıcı, gerçek zamanlı olarak bu parametreler takip edilebilmektedir. Ayrıca, sistemde yer alan RGB LED aydınlatma, mobil arayüz üzerinden kontrol edilerek bitkilerin farklı gelişim evrelerine uygun ışık döngüleri başarıyla uygulanmıştır. Mobil uygulama, MIT App Inventor platformu kullanılarak geliştirilmiş ve kullanıcı dostu bir arayüz sunmuştur. Sensör kalibrasyonları, tampon çözeltiler yardımıyla yapılmış, kalibrasyon öncesi sapmalar önemli ölçüde azaltılarak ölçümlerin doğruluğu artırılmıştır. Yapılan ölçümlerde, pH değeri 5.8 ile 6.3 arasında, EC değeri ise 1100 ile 1300 µS/cm aralığında seyretmiş; bu da özellikle marul gibi yeşil yapraklı sebzeler için ideal ortam koşullarını göstermiştir. Işık şiddeti sensörü sayesinde ortam aydınlığı izlenmiş ve yetersiz ışık algılandığında LED aydınlatma otomatik olarak devreye alınmıştır. Sistem, ev tipi kullanım için yeterli IP koruma derecesine sahip sensörlerle kurulmuş olsa da, ticari uygulamalar için daha dayanıklı ve otomatik kalibrasyon özellikli sensörlerin tercih edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, Bluetooth yerine Wi-Fi veya LoRa gibi daha geniş menzilli iletişim protokollerinin entegre edilmesi, sistemin ölçeklenebilirliğini artıracaktır. Sonuç olarak, düşük maliyetli bileşenlerle çalışmasına rağmen yüksek işlevsellik sunan bu otomasyon sistemi, hobi amaçlı hidroponik tarım uygulamalarında etkili ve kullanışlı bir çözüm sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hidroponik Tarım, Sensör Teknolojileri, Nesnelerin İnterneti (IoT)Tabanlı Tarım, EC, pH, Aydınlatma.
2025, vii +48 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPMENT OF PH AND EC MONITORING AND AUTOMATIC LIGHTING MONITORING SYSTEM FOR A SMALL HYDROPONIC SYSTEM

Emre AKBULUT

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Selçuk ARSLAN

This study aims to develop a low-cost, sensor-based automation system designed for home-scale hydroponic farming applications. The system is built around an ESP32 microcontroller and equipped with sensors measuring key environmental parameters such as pH, electrical conductivity (EC), and light intensity. Collected data is transmitted via Bluetooth technology to a mobile application, allowing users to monitor these parameters in real time. Additionally, the system features RGB LED lighting that can be remotely controlled through the mobile interface to apply light cycles suitable for different plant growth stages. The mobile app was developed using the MIT App Inventor platform, providing a user-friendly interface for real-time monitoring of pH and EC values. Sensors were calibrated using buffer solutions, significantly reducing measurement deviations observed before calibration and aligning results with reference devices. Measurements indicated pH values ranging between 5.8 and 6.3 and EC values between 1100 and 1300 µS/cm, reflecting optimal conditions especially for leafy vegetables like lettuce. The light sensor monitored ambient brightness and automatically activated the LED lighting when insufficient light was detected, enhancing energy efficiency. Although the system employs sensors with adequate IP protection for home use, more durable sensors with automatic calibration capabilities are recommended for commercial applications. Furthermore, integrating wider-range communication protocols such as Wi-Fi or LoRa instead of Bluetooth could improve system scalability. In conclusion, despite using low-cost components, the developed automation system offers high functionality and presents an effective solution for hobbyist hydroponic farming.

Keywords: Hydroponic Agriculture, Sensor Technologies, Internet of Things (IoT) Based Agriculture, EC, pH, Lighting.
2025, vii + 48 pages.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni destekleyen, bilgilerini ve deneyimlerini benimle paylaşan Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölüm hocalarıma ve tez danışmanım Prof. Dr. Selçuk ARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca desteklerini benden esirgemeyen arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Maddi, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve güvenlerini her daim hissettiğim aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Emre AKBULUT
30/07/2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

.....vii
ÖZET.....viii
ABSTRACT.....ix
TEŞEKKÜR.....x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....xii
1. GİRİŞ…… 1
1.1. Hidroponik Sistemler.....2
1.2. Topraksız Yetişen Tarım Ürünleri.....4
1.3. Hidroponik Sistem Tipleri.....4
1.3.1. Fitil Sistemi (Wick System).....5
1.3.2. Derin Su Kültürü (Deep Water Culture).....6
1.3.3. Besin Filmi Tekniği (Nutrient Film Technique).....6
1.3.4. Su Basma ve Tahliye Etme Sistemi (Flood and Drain).....7
1.3.5. Damlama Sistemler.....8
1.4. Hidroponik Sistemin Avantajları ve Dezavantajları.....9
1.4.1. Avantajları.....9
1.4.2. Dezavantajları.....9
1.5. Hidroponik Sistemlerin Günümüzdeki Yeri.....10
1.6. Ev Tipi Hidroponik Sistem Uygulama Çalışmaları.....10
1.7. Gelecekte Araştırma ve Geliştirme Alanları.....11
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....13
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....16
3.1. Sistemin Çalışma Prensibi.....16
3.2. Kontrol Sisteminin Bileşenleri.....18
3.3. Proje Tasarım Görselleri.....24
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....33
4.1. pH ve EC Verileri.....37
4.2. Işık Şiddeti Verileri ve RGB LED Kontrolü.....38
4.3. Kalibrasyon Sonuçları.....39
5. SONUÇ…. 41
KAYNAKLAR.....42
EKLER.....45
EK 1 Proje Yazılım Aşamaları.....45
ÖZGEÇMİŞ.....48

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
CH_2O	Karbonhidrat
CO_2	Karbon dioksit
mS/cm	MiliSiemens/santimetre(iletkenlik)
lx	Aydınlık Şiddeti Birimi
O_2	Oksijen
µS/cm	MikroSiemens/santimetre(iletkenlik)

Kısaltmalar	Açıklama
DWC	Derin Su Kültürü (Deep Water Culture)
EC	Elektriksel İletkenlik (Electrical Conductivity)
IoT	Internet of Things (Nesnelerin Interneti)
LDR	Light Dependent Resistor (Işığa Duyarlı Resistör)
NFT	Nutrient Film Technique (Bitki Besin Filmi Tekniği)
pH	Hidrojen Potansiyeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 1.1.	Hidroponik sistemde bitki üretiminin genel görüntüsü	3
Şekil 1.2.	Fitil sistemi	5
Şekil 1.3.	Derin su kültürü çalışması	6
Şekil 1.4.	Besin filmi tekniği	7
Şekil 1.5	Su basma ve tahliye etme sistem	8
Şekil 1.6.	Damlama sulama sistemi	8
Şekil 3.1.	Kontrol sistemi bağlantı şeması	17
Şekil 3.2.	ESP32 mikrodenetleyici kartı	19
Şekil 3.3.	pH sensörü	20
Şekil 3.4.	TDS meter v1.0 sensörü	21
Şekil 3.5	Işık şiddeti sensörü	21
Şekil 3.6.	8 kanallı röle	22
Şekil 3.7.	Mobil uygulama akış diyagramı	23
Şekil 3.8.	Yarı otomatik oluşturulan hidroponik sistem	25
Şekil 3.9.	Mobil uygulama ile referans metresinin karşılaştırılması	26
Şekil 3.10.	pH değerlerinin grafikte görünmesi ve verilerin kaydedilmesi	27
Şekil 3.11.	Grafik, referans metre ve uygulama karşılaştırmaları	27
Şekil 3.12.	pH için grafik, referans metre karşılaştırmaları	28
Şekil 3.13.	EC için grafik, referans metre karşılaştırmaları	29
Şekil 3.14.	EC için grafik, referans metre karşılaştırmaları	30
Şekil 3.15.	EC değerlerinin grafiği ve verilerinin kaydedilmesi	30
Şekil 3.16.	pH, EC ve ışık şiddeti değerlerinin grafiği ve verilerin kaydı	31
Şekil 3.17.	Verilerin otomatik olarak dosyaya kaydedilmesi	32
Şekil 4.1.	Işık şiddeti sensörü bağlantı şeması	33
Şekil 4.2.	pH ve EC sensörü bağlantı şeması	34
Şekil 4.3.	Işık kaynakları ve aydınlatma kontrolü ile kontrol sistemleri	34
Şekil 4.4.	MIT App uygulamasında anasayfa tasarımı	35
Şekil 4.5.	MIT App uygulamasında anasayfa bloğu	35
Şekil 4.6.	MIT App uygulamasında 2.sayfa tasarımı	36
Şekil 4.7.	MIT App uygulamasında 2.sayfa bloğu	36
Şekil 4.8.	pH değer aralıkları	37
Şekil 4.9.	EC verileri	38
Şekil 4.10.	pH sensörünün kalibrasyon sonrası ve öncesi	39
Şekil 4.11.	EC sensörü kalibrasyon sonrası ve öncesi	40
Şekil 4.12.	Işık şiddeti sensörü kalibrasyon sonrası ve öncesi	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

			Sayfa
Çizelge	3.1.	Çalışmada kullanılan devre elemanları	18
Çizelge	4.1.	Işık şiddeti saatlik verileri	38

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve yükselen yaşam standartlarıyla birlikte insanlar tarımsal üretimde daha yenilikçi ve sürdürülebilir yöntemlere yönelmektedir. Bu yöntemlerden biri olan hidroponik sistemler, toprak kullanılmadan bitki yetiştirilebilen, besin açısından zengin su ortamlarına dayalı üretim biçimleri olarak öne çıkmaktadır (Austria ve ark., 2023). Hidroponik sistemler yalnızca besin filmi tekniği (NFT), derin su kültürü (DWC) veya dinamik kök yüzdürme gibi su bazlı tekniklerle sınırlı kalmayıp; aynı zamanda substrat kültürü gibi ortamlarda da uygulanabilmektedir (Kularbphettong ve ark., 2019). Bu sistemler sayesinde daha kısa sürede daha yüksek verim alınabilirken, ürün kalitesi ve besin değeri üzerinde tam kontrol sağlanabilmektedir (Pomoni ve ark., 2023). Özellikle Tayland, Japonya, Hollanda ve ABD gibi ülkelerde hidroponik tarım uzun yıllardır benimsenmiş ve ticari düzeyde uygulanmaya başlanmıştır (Kularbphettong ve ark., 2019). Ancak yüksek yatırım ve işletme maliyetleri, bu sistemlerin sadece belirli ekonomik segmentlerde yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Buna rağmen hidroponik sistemlerin verimli ve sürdürülebilir yapısı, özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde önemli avantajlar sağlamaktadır (Austria ve ark., 2023).

Küresel nüfus artışı, gıda talebini dramatik şekilde artırmaktadır. Özellikle 2050 yılına kadar dünya nüfusunun 9,7 milyarı aşması beklenmekte ve bu artış, mevcut tarım sistemlerinin gıda güvenliğini sağlamada yetersiz kalabileceği yönünde endişeleri artırmaktadır (Rathor ve ark., 2024). Kentsel yayılım, doğal afetler, iklim değişikliği ve toprak bozulması gibi faktörler nedeniyle ekilebilir araziler azalmakta, kişi başına düşen arazi miktarı ise düşmektedir (Yavuz ve ark., 2023). Bu durum, geleneksel tarım yöntemlerinin yanı sıra yeni üretim stratejilerine duyulan ihtiyacı da beraberinde getirmektedir (Pomoni ve ark., 2023). Dikey tarım, toprak ve su gibi doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayan ve hidroponik sistemlerle entegre çalışan önemli bir çözümdür. İç mekânlarda kontrollü çevre koşullarında yapılan bu üretim sayesinde, zararlı ve hastalık riski minimuma indirgenmekte, yıl boyunca sürekli üretim sağlanabilmektedir (Rathor ve ark., 2024). Aynı zamanda dikey tarım, pestisit kullanımını azaltmakta ve azot oksit gibi sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde düşürerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunmaktadır (Yavuz ve ark., 2023).

Bu bağlamda hidroponik tarımın otomasyonla desteklenmesi, süreci daha verimli ve kullanıcı dostu hale getirmektedir. Hidroponik otomasyon sistemleri, ışıklandırma, sıcaklık, nem, pH ve EC gibi parametreleri gerçek zamanlı izleyebilen, sensörlerle desteklenmiş ve uzaktan yönetilebilen yapılardır (Kularbphettong ve ark., 2019). IoT (Nesnelerin İnterneti) tabanlı çözümler sayesinde, manuel müdahaleye gerek kalmadan sistemin tüm bileşenleri optimize edilebilmekte ve bu da özellikle ev tipi veya küçük ölçekli üretim sistemlerinde kullanım kolaylığı sağlamaktadır (Austria ve ark., 2023). Bununla birlikte, hidroponik sistemlerin dijitalleşmesiyle birlikte üretim verimliliğinin de arttığı gözlemlenmiştir (Pomoni ve ark., 2023). Bunun yanı sıra, hidroponik sistemlerin en öne çıkan özelliklerinden biri de su verimliliğidir. Geleneksel tarıma kıyasla %90'a kadar daha az su kullanan bu sistemler, özellikle kurak bölgelerde veya su kaynaklarının sınırlı olduğu kentsel alanlarda dikkat çekici bir alternatif sunmaktadır (Yavuz ve ark., 2023). Yapılan araştırmalar, hidroponik sistemlerde aynı ürün için geleneksel tarıma oranla çok daha az su tüketildiğini ve enerji verimliliğinin LED aydınlatma gibi teknolojilerle artırılabileceğini ortaya koymuştur (Austria ve ark., 2023).

Sonuç olarak, hidroponik sistemler yalnızca üretim teknikleri açısından değil, aynı zamanda gıda güvenliği, kaynak yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik bakımından da önemli potansiyeller barındırmaktadır. Artan nüfus ve daralan kaynaklar karşısında, hidroponik ve dikey tarım uygulamaları gelecek tarım politikalarının merkezinde yer alacak, özellikle teknolojik entegrasyonla birlikte daha geniş kitlelere ulaşacaktır (Rathor ve ark., 2024). Bu çerçevede, hidroponik üretim modelleri Pomoni ve ark. (2023), Austria ve ark. (2023), Kularbphettong ve ark. (2019) ve Yavuz ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmalarla desteklenmektedir.

1.1. Hidroponik Sistemler

Dikey tarım kavramı, kentleşmenin artmasıyla birlikte sürdürülebilir gıda üretimi arayışlarının bir sonucu olarak gelişmiştir. Bu alandaki öncü çalışmalardan biri, Dickson Despommier'in 1999 yılında Columbia Üniversitesi'nde başlattığı projedir; Despommier, çok katlı binalarda hidroponik ve aeroponik sistemlerle tarım yapılabileceğini öne sürerek modern dikey tarım fikrini sistematik bir yaklaşımla ortaya koymuştur (Despommier,

2010). Daha sonraki yıllarda Benke ve Tomkins (2017) gibi araştırmacılar, dikey tarımın kaynak verimliliği, karbon ayak izi ve şehir içi gıda erişimi üzerindeki potansiyel etkilerini detaylandırarak bu alandaki literatürü zenginleştirmiştir (Bingöl, 2015).



Şekil 1.1. Hidroponik sistemde bitki üretiminin genel görüntüsü (Dinkar J. Gaikwad ve ark., 2020)

Hidroponik tarım sistemi, topraksız tarım teknolojileri arasında yer alan bitki yetiştirme yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, geleneksel tarımda kullanılan toprak ya da kompost gibi katı materyallerin yerine yalnızca su ve özel hazırlanmış bitki besin çözeltileri kullanılmaktadır. Hidroponik sistemler genellikle arpa, buğday, yulaf ve çavdar gibi serin iklim tahıllarının tohumlarından yem üretiminde kullanılmakta olup; ısı, ışık ve nem koşullarının kontrol altında tutulduğu ortamlarda, 40 cm x 43 cm x 6 cm boyutlarında ya da farklı ölçülerdeki tepsiler içerisinde uygulanmaktadır (Al Ajmi ve ark., 2009).

Bu yöntemde bitkiler, herhangi bir katı büyüme ortamına ihtiyaç duymadan, doğrudan besin çözeltileri içinde ya da bu çözeltilerin belirli aralıklarla köklere püskürtülmesiyle yetiştirilir. Hidroponik kelimesi, kelime anlamıyla bitkilerin doğrudan besin çözeltisi içinde destek almadan yetiştirilmesini ifade eder. Bununla birlikte, besin çözeltisi

kullanılarak katı ortamlarda yapılan yetiştiricilik uygulamaları da hidroponik sistemlerin kapsamına girmektedir (MEGEP, 2008). Hidroponik sistemler ayrıca kullanılan besin çözeltisinin dolaşım biçimine göre açık ve kapalı sistemler olarak ikiye ayrılır. Açık sistemlerde besin çözeltisi bitkilere bir kez uygulanır ve daha sonra atılır; oysa kapalı sistemlerde kullanılmayan çözelti toplanarak tekrar sirküle edilir ve yeniden kullanılır (Ünal, 2016).

1.2. Topraksız Yetişen Tarım Ürünleri

Otsu gövdeye sahip tüm bitkiler hidroponik sistemle yetiştirilebilmektedir. Domates, biber, patlıcan, kabak, fasulye, bezelye, ıspanak, roka, marul, yeşil soğan, salatalık, brokoli en çok yetiştirilen sebzelerdir. Çilek, karpuz, kavun da topraksız tarım metodu ile en çok yetiştiriciliği yapılan meyvelerdir. Sebze ve meyvelerin dışında endüstri bitkileri de hidroponik sistemler ile yetiştirilmektedir. Mısır, buğday, şeker pancarı, pamuk ve çay bunlardan bazılarıdır. Hidroponik sistemlerde kullanılan diğer bazı bitki türleri ise; Dereotu (Anethum graveolens), kekik (Thymus), biberiye (Rosmarinus officinalis), anason (Pimpinella anisum), dolmalık biber (Capsicum annuum var. annuum), su teresi (Nasturtium officinale), fasulye (Phaseolus vulgaris), karpuz (Citrullus lanatus) ve kavun (Cucumis melo)'dur (Bingöl, 2019).

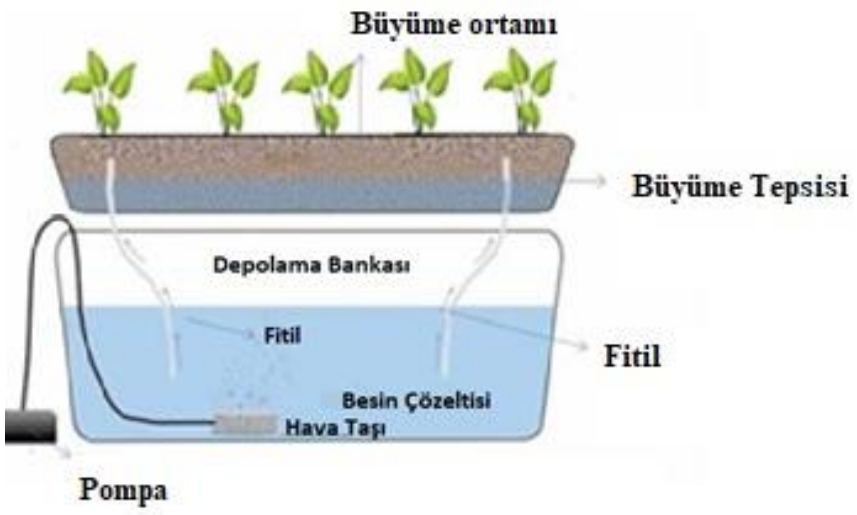
1.3. Hidroponik Sistem Tipleri

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 bitki kökü bir kabın içinde sabit haldeki suyun içinde yetiştirilir. Örneğin, Fitil Sistemi pasif bir sistemdir. Pompa içermez ve küçük bitkiler için uygundur. Aktif sistemlere, Derin Su Kültürü, Besin Filmi Tekniği, Su Basma ve Tahliye Sistemi ve Damlama Sistemi örnek gösterilmektedir.

1.3.1. Fitil Sistemi (Wick System)

Bu sistem, elektrik, pompa veya hava taşıyıcılarına ihtiyaç duymayan en basit hidroponik sistemdir (Shrestha ve ark., 2013). Bitkiler, cocopeat (hindistancevizi lifi), vermikülit veya perlit gibi suyu tutabilen bir büyüme ortamına yerleştirilir ve bitki köklerinden besin çözeltisi deposuna uzanan naylon bir fitil kullanılır. Su veya besin çözeltisi, bu fitil aracılığıyla kapiler hareket yoluyla bitkilere iletilir. Bu sistem, küçük bitkiler, aromatik otlar ve baharatlar gibi düşük su ihtiyacı olan türler için oldukça etkili çalışmakta; ancak su ihtiyacı yüksek olan bitkiler için yeterli verim sağlayamamaktadır (Sharma ve ark., 2018).

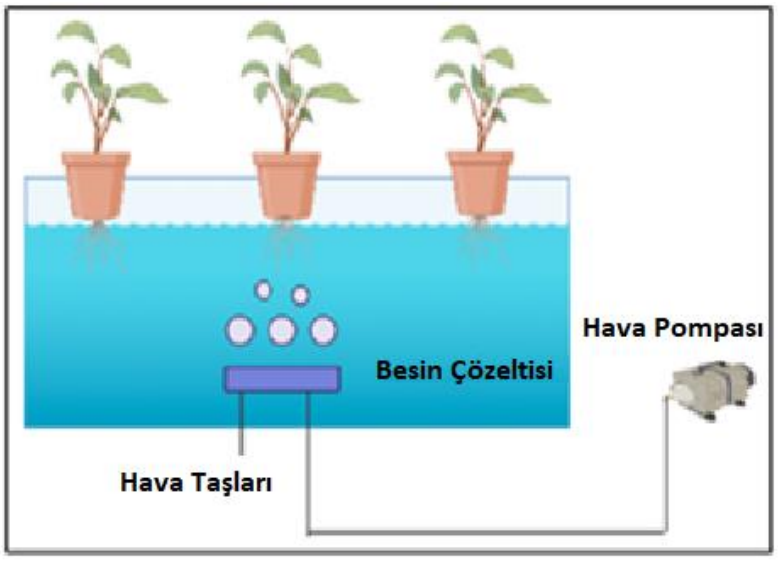
Şekil 1.2'de gösterilen sistem, pasif hidroponik yöntemlerden biri olan fitil sistemidir. Bu sistemde, bitkiler bir büyüme ortamına yerleştirilmiş olup, besin çözeltisi alttaki depolama tankında tutulmaktadır. Çözeltinin bitki köklerine iletimi, kapilarite prensibiyle çalışan fitiller aracılığıyla sağlanmaktadır. Pompa kullanılmaksızın, fitil malzemesi besin çözeltisini yukarıdaki büyüme tepsisine taşımaktadır. Ayrıca sistemde yer alan hava taşı, çözeltinin oksijen seviyesini artırarak kök gelişimini desteklemektedir. Enerji gereksinimi düşük olan bu yapı, basitliği nedeniyle küçük ölçekli uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 1.2. Fitil sistemi (Nisha Sharma ve ark., 2018)

1.3.2. Derin Su Kültürü (Deep Water Culture)

Bu teknik, özellikle domates ve salatalık gibi meyve veya sebze üreten büyük bitkiler için sıklıkla kullanılır. Bitkinin kökleri, oksijen ve besin maddelerinin bitki tarafından kolayca emilmesi için doğrudan besin tankının içine daldırılır. Sisteme doğrudan oksijen sağlamak için bir hava taşı takılmıştır. Ancak, karmaşıklığı nedeniyle bu sistem sıklıkla kullanılmaz. Rezervuarda yosun oluşma olasılığı vardır ve bu sorunun üstesinden gelmek için oksijen oranı, pH ve besin miktarı gibi temel parametreler gerekli değerde tutulmalıdır. Elektrik kullanımının optimize edilmesi, düşük su tüketimi, bitkiler için yüksek oksijen seviyeleri sağlanması, otomasyon sürecinde doğruluk ve zaman yönetimi de DWC'deki temel konulardır. Derin su kültürünün yaygın bir örneği hidroponik kova sistemidir. Şekil 1.3. Derin Su Kültürü hidroponik sistemini göstermektedir (Rathor ve ark., 2024).



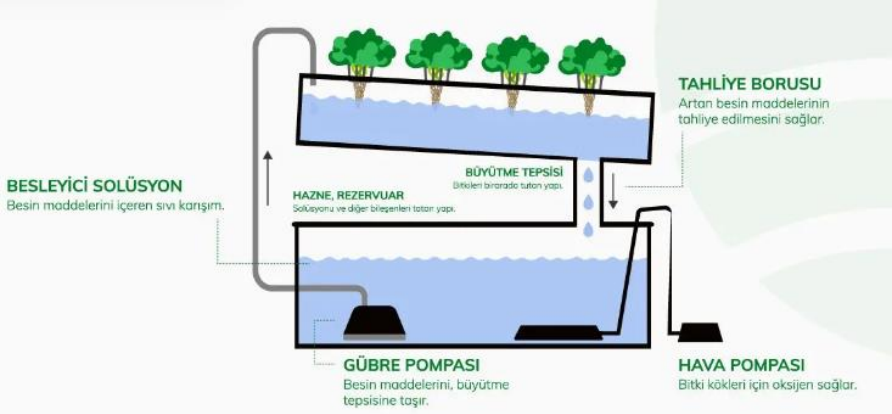
Şekil 1.3. Derin su kültürü çalışması (Rathor ve ark., 2024)

1.3.3. Besin Filmi Tekniği (Nutrient Film Technique)

Bir haznede biriken besin maddeleri pompa aracılığıyla tepsiye iletilmektedir. Aynı zamanda tepside biriken besin maddeleri de tepsinin eğimine göre hazneye geri

dönmektedir. Bu açıdan bakıldığında, sistem aynı zamanda besin maddelerinin yeniden kullanılmasını sağlamaktadır ve geri dönüşümlüdür (Agrowy, 2025).

Şekil 1.4'de gösterilen sistemde, besleyici çözeltinin kapalı devre biçiminde sirküle edildiği bir hidroponik düzenek yer almaktadır. Sistemin alt kısmında yer alan hazne, bitkilerin gereksinim duyduğu su ve besin maddelerini içeren çözeltinin depolandığı bölümdür. Bu çözeltinin büyüme tepsisine taşınması, gübre pompası aracılığıyla sağlanmaktadır. Üst bölümde konumlandırılan büyüme tepsisinde bitkiler yer almakta olup, kökleri çözeltiyle doğrudan temas hâlindedir. Bitkilerin kullanmadığı veya fazla gelen çözeltinin sistemden uzaklaştırılması ise tahliye borusu aracılığıyla gerçekleştirilmekte, bu sayede çözelti yeniden hazneye aktarılmaktadır. Sistemin verimli çalışması için çözeltinin oksijenlenmesi de önemli olup, bu işlev hava pompası ile yerine getirilmektedir. Bu yapı, sürekli sirkülasyon prensibine dayalı olarak çözeltinin köklere ulaşmasını ve tekrar toplanmasını sağlayan dengeli bir hidroponik akış sistemini temsil etmektedir.

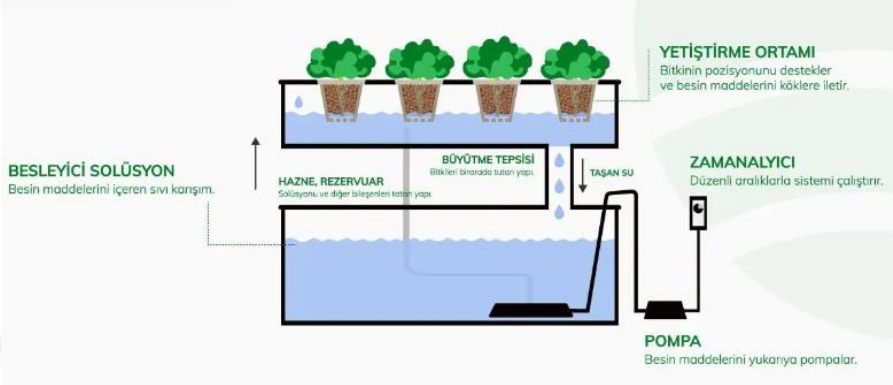


Şekil 1.4. Besin filmi tekniği (Agrowy, 2020)

1.3.4. Su Basma ve Tahliye Etme Sistemi (Flood and Drain)

Bu sistemin çalışma prensibi, iki aşamalı bir uygulama üzerinden döngüsel bir yapıya dayanmaktadır. Bitkinin ihtiyaç duyduğu besin elementlerini içeren besin çözeltisi, pompalar aracılığıyla kök bölgesine iletilmektedir. Ardından kullanılmayan çözeltinin

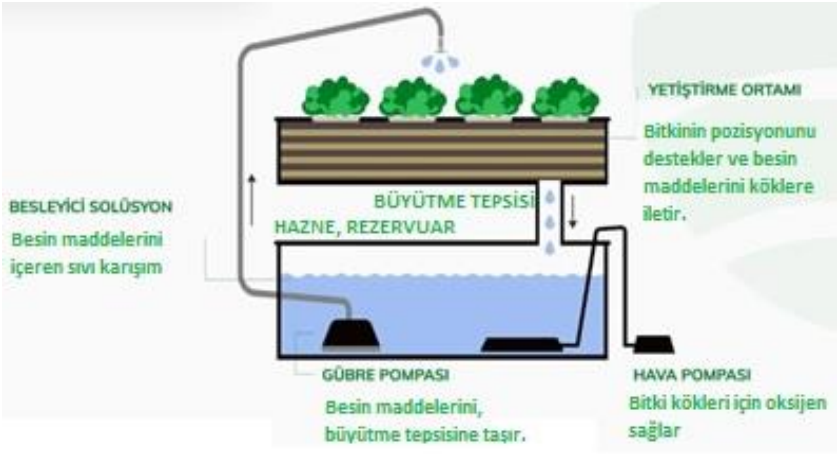
fazlası, sistemden tahliye edilerek yeniden toplama haznesine yönlendirilmektedir. Böylece sistem, besin çözeltisinin sürekli dolaşımını sağlayan kapalı devre bir döngü oluşturmaktadır. Şekil 1.5'de bu sistemin çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Su basma ve tahliye etme sistem (Agrowy, 2020)

1.3.5. Damlama Sistemler

Damlama sistemler, aktif bir hidroponik sistemdir. Burada bir zamanlayıcı, besin maddelerini bitkilere iletilmektedir. Yetiştirme ortamından süzülen besin maddeleri ve su ise bir tahliye borusu ile yeniden hazneye dönmektedir. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi su ve besin karışımı gübre pompası bitkilere, oksijen ise hava pompası ile depo içindeki suya verilmektedir.



Şekil 1.6. Damlama sistemi (Agrowy, 2020)

1.4. Hidroponik Sistemin Avantajları ve Dezavantajları

1.4.1. Avantajları

Hidroponik sistemlerin temel avantajı, özellikle alan ve su olmak üzere kaynakların verimli kullanımıdır. Günlük hayatımızda yenilikçi teknolojilerin varlığı giderek artmaktadır. Bu teknolojiler arasında akıllı ev teknolojisi (ev otomasyonu olarak da bilinir), IoT otomatik yetiştirme teknikleri ve yapay zeka tabanlı sistemler yer almaktadır. İlginç bir şekilde, bu teknolojiler iç mekan hidroponik üretimlerinde pratik uygulamalar bulmaktadır (Kumar Selvaperumal ve ark., 2020; Javaid ve ark., 2022). İnternetteki bilgi bolluğu sayesinde, giderek daha fazla insan çeşitli nedenlerle farklı yetiştirme stratejilerini keşfetmeye başlamaktadır. Sonuç olarak, hem hidroponik hem de iç mekan tarım yöntemleri çiftçiler arasında giderek daha popüler hale gelmektedir (Hermawan ve ark., 2022).

1.4.2. Dezavantajları

Hidroponik sistem, yüksek başlangıç maliyetlerine yol açan özel ekipman ve yapılar gerektirmektedir. Bu tür sistemler için teknik içerik de gereklidir, çünkü personel bitkinin fizyolojisini ve sistemin nasıl işlediğini bilmektedir. Ayrıca, kullanılan teknolojiyle ilgili herhangi bir sorunun bitkide strese veya ölüme neden olma olasılığı bulunan sistemik bir sorun da vardır. Hidroponiğin bir diğer dezavantajı, uygun bir besin dengesi gerektirmesi nedeniyle sürekli olarak besin yönetimi sorunlarının ortaya çıkmasıdır.

Besin çözeltilerinin uygunsuz şekilde bertaraf edilmesinden kaynaklanan bir diğer sorun ise, belirli bir alandaki ekosistemler için önemli bir tehdit oluşturabilen çevre kirliliğidir. Ancak, hidroponiğin bir sınırlaması, belirli ürünlerin gelişmesi için belirli bir ortam gerektirmesi nedeniyle tüm ürünleri yetiştirememesidir.

Son olarak, teknoloji kullanımı açısından oldukça yoğun olmaktadır ve bu da teknoloji kaynaklarının kıt olduğu veya altyapının zayıf olduğu yerlerde pratik olması beklenmemektedir (Wiggins ve ark., 2020).

1.5. Hidroponik Sistemlerin Günümüzdeki Yeri

Hidroponiğin, özellikle de uygulamanın ilk aşamalarında yaygın olarak benimsenmesi, çeşitli hükümet politikalarına ve teşviklerine büyük ölçüde bağlıdır. Bu amaçla, gelişmiş ülke hükümetleri, hidroponik alanında araştırma ve geliştirmeyi teşvik etmek için hibeler, sübvansiyonlar ve vergi teşvikleri sağlamaktadır. Bu tür destekleyici çabalar, inovasyonu teşvik eder ve ekonomik giriş engellerini azaltarak, hidroponik sistemleri teknolojiyle ilgilenen işletmeler ve çiftçiler için daha erişilebilir hale getirmektedir (Groot ve ark., 2019; Van der Veen ve ark., 2017). Yenilenebilir kaynaklara yönelik sübvansiyonlar, daha sürdürülebilir uygulamalara uyumun ilk maliyetlerini düşürmeye yardımcı olduğu gibi, hükümetler de çiftçilere finansal destek sağlayarak ve bu geçişi destekleyen uygun politika ortamları oluşturarak bu tür teknolojilerin benimsenmesini teşvik etmektedir (Van der Veen ve ark., 2017). Hükümet girişimleri ayrıca teknolojik inovasyonu da artırabilir ve hidroponik çözümler hem kentsel hem de kırsal alanlar için daha erişilebilir hale gelmektedir (Groot ve ark., 2019). Hükümet desteği, gelişmekte olan ülkelerde de hidroponiğin benimsenmesini teşvik etmede önemlidir. Geleneksel tarımın ciddi çevresel tehditlerle mücadele ettiği bölgelerde, hükümetler sürdürülebilir gıda üretimi için bir araç olarak hidroponiğin farkına varmaktadır (Rai ve ark., 2020; Sharma ve ark., 2019). Hükümet, teşvikler ve uygun politikalar sunarak ekipman maliyetini düşürmeye yardımcı olabilir ve yerel çiftçilere eğitim ve teknik uzmanlık sunmaktadır (Patel ve ark., 2021). Örneğin, Hindistan gibi ülkelerde hükümet, sübvansiyonlar, krediler ve eğitim sağlayarak hidroponik gibi modern tarım tekniklerinin benimsenmesini teşvik eden programlar başlatmaktadır (Rai ve ark., 2020). Bu politikalar, toprak bozulması ve su açığıyla boğuşan gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçiler için uygulanabilir bir alternatif sunduğu için hidroponiğin benimsenmesinin önündeki finansal ve teknik engelleri ortadan kaldırmada kilit öneme sahiptir (Sharma ve ark., 2019).

1.6. Ev Tipi Hidroponik Sistem Uygulama Çalışmaları

Günümüzde şehirlerdeki yapı yoğunluğunun artması, yeşil alanların kaybını önemli ölçüde artırmıştır. Bu durum, büyük şehirlerde peyzaj mühendisliği kapsamında yeşillendirme projelerinin gerçekleştirilmesine yol açmaktadır. Özellikle New York,

Singapur ve Hong Kong gibi yoğun yapılaşmaya sahip şehirlerde, yeşil alanları artırmak için yeşil çatılar, yeşil duvarlar ve kentsel tarım uygulamalarına yönelim gözlemlenmektedir (Lee ve ark., 2017). Kentsel tarım alanlarının yetersizliği nedeniyle, kullanılmayan çatılar sürdürülebilirlik açısından eşsiz bir yetiştirme alanı olarak değerlendirilmektedir. Bazı şehirlerde, çatılar ve balkonlar, taze tüketim için çeşitli yeşillikler, otlar ve baharatlar yetiştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, yeşil çatı çiftliklerinin ısı etkisini azaltma, yağmur suyunun akışını kontrol etme ve binalara ısı yalıtımı sağlama konularında olumlu etkileri olduğu ifade edilmektedir (Mir ve ark., 2022). Yeşil çatı çiftliklerinin gıda güvenliği, atık yönetimi ve istihdam yaratma açısından faydalı sonuçlar doğurduğu da açıktır (Harada ve ark., 2018a). Üç ana tür yeşil çatı çiftliği bulunmaktadır: Organik gıdaya artan ilgi doğrultusunda geliştirilen hidroponik çatı sistemleri, eğitim ve pilot projeler için kullanılan çatı çiftlikleri ve ticari çatı çiftlikleri. Ticari çatı sistemleri, taze ürün talep eden müşterilere veya restoranlara yöneliktir. Genellikle küçük ölçekli üretim yaparlar, ancak restoranların ihtiyaçlarını karşılamak için yeterlidir. Hong Kong'daki bir çiftlik, üretimin yanı sıra şehre görsel katkılarda da bulunmaktadır (Harada ve ark., 2018a).

1.7. Gelecekte Araştırma ve Geliştirme Alanları

Gelecekte hidroponik sistemler, teknolojik gelişmeler, sürdürülebilirlik hedefleri ve artan küresel gıda güvenliği ihtiyaçları doğrultusunda önemli bir evrim geçirmektedir. Bu alandaki mevcut araştırmalar ve projeler, hidroponik tarımın gelecekteki potansiyelini ve karşılaşabileceği zorlukları ortaya koymaktadır.

Birleşmiş Milletler verilerine göre, 2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusuna ek olarak 2,3 milyar insanın gıdaya ihtiyaç duyacağı öngörülmektedir. Bu talebin konvansiyonel tarım yöntemleriyle karşılanması oldukça zor görünmektedir (NASA, 2021). Uzayda tarım uygulamaları, insan yaşamını desteklemek amacıyla uzun zamandır araştırılan bir alan olmuştur (Wheeler, 2017). Özellikle NASA, bu konuda çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Dünya ve uzayda gıda üretimini daha sürdürülebilir hale getirmek için su ve enerji tüketimini minimize eden topraksız tarım sistemleri üzerinde araştırmalar yapılmaktadır (NASA, 2021).

Mars veya Ay gibi uzun süreli uzay görevlerinde astronotların gıda ihtiyaçları genellikle donmuş veya konserve gıdalarla karşılanmaktadır. Ancak bu tür gıdaların taşınması, kütle ve buna bağlı olarak fırlatma ve yakıt maliyetleri nedeniyle sınırlıdır. Bu nedenle, astronotların beslenmesini desteklemek amacıyla taze gıda üretimi ve bitki yetiştirme sistemlerinin geliştirilmesi gündeme gelmiştir. Uzay tarımında yerçekimi ve diğer çevresel koşulların dikkate alınması gerektiği literatürde vurgulanmaktadır (Nguyen ve ark., 2023). İlk denemeler, 1950'ler ve 60'larda Jack Myers ve ekibi tarafından ABD Hava Kuvvetleri ve NASA için alglerin (Chlorella sp., Anacystis, Synechocystis, Scenedesmus, Synechococcus ve Spirulina) test edilmesiyle başlamıştır.

Uzay tarımı sistemlerinin temel prensibi, bitkilerin veya diğer fotosentetik organizmaların biyokütle (CH2O) ve oksijen (O2) üretmesi ve havadan karbondioksiti (CO2) uzaklaştırmasıdır. İlk uzay bitkisi araştırması, 1960 yılında Sputnik 4 ile buğday, bezelye, mısır ve soğan çimlenmesi üzerine gerçekleştirilmiştir (Nguyen ve ark., 2023).

Son yıllarda, uzay çiftliklerinde günümüz teknolojilerinin de kullanılarak bitkilerin yetiştirilmesine ilişkin öneriler de ortaya atılmıştır. Bunlardan biri Liu ve ark. (2021) tarafından bitki biyoteknolojisine dayanan Tamamı Tüketilebilir ve Elit Bitki (Whole-Body Edible and Elite Plant - WBEEP stratejisi olarak önerilmiştir. Bu strateji ile uzay çiftliklerinde daha fazla zengin besin içeriğine, yüksek verimliliğe ve yüksek mineral içeriğine sahip yenilebilir ürünler geliştirilebileceği öngörülmüştür. Bu amaçla patates *(Solanum tuberosum L.)* bitkisinin seçilebileceği ifade edilmiştir (Liu ve ark., 2021).

Ülkemizde ev tipi hidroponik sistemlerin çoğunda herhangi bir kontrol sistemi bulunmadığı görülmektedir. Kullanıcının bazı parametreleri uzaktan izlemesi ve daha teknolojik ancak pahalı olmayan ev tipi hidroponik sistemler geliştirilmesi için yapılan çalışmaların çok olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, ev tipi hidroponik bir sistemde pH, EC ve yapay aydınlatmayı otomatik olarak kontrol etmek için Bluetooth teknolojisi ile bir otomasyon sistemi tasarlamaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tarım sektörü, günümüzde iklim değişikliği, artan nüfus, hızlı kentleşme ve doğal kaynakların giderek azalması gibi çok boyutlu sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Geleneksel toprak bazlı üretim yöntemleri, bu sorunlara karşı yeterli çözüm üretememekte, özellikle su kaynaklarının verimsiz kullanımı, toprak kaybı, pestisit kullanımına bağlı çevresel kirlenme ve tarım alanlarının daralması gibi ciddi yapısal zorluklar ortaya çıkmaktadır (Pomoni ve ark., 2023; Verma ve ark., 2023). Bu bağlamda, alternatif ve sürdürülebilir tarım yöntemlerine olan ilgi giderek artmakta, özellikle topraksız tarım teknikleri, tarımda dönüşümün temel aktörlerinden biri olarak ön plana çıkmaktadır.

Topraksız tarım sistemleri içerisinde öne çıkan yöntemlerden biri olan hidroponik tarım, bitkilerin besin çözeltileri aracılığıyla, toprak yerine su veya inert büyüme ortamlarında yetiştirilmesine dayanmaktadır (Naresh ve ark., 2024). Bu yöntemde bitki kökleri doğrudan su içerisinde yer alan makro ve mikro besin maddelerine erişebilir; böylece hem bitki gelişimi hızlanmakta hem de kaynak kullanımı optimize edilmektedir (Sharma ve ark., 2018). Hidroponik sistemler, bitki büyüme ortamının tam kontrolünü sağlayarak iklimden ve coğrafi kısıtlardan bağımsız üretim yapılmasını sağlamaktadır. Özellikle kentleşmenin yoğun olduğu alanlarda, sınırlı mekânda yüksek verim elde etmeye imkân tanıyan bu sistemler, dikey tarım ve iç mekân tarımı gibi uygulamalarla da uyumlu çalışmaktadır (Popkova, 2022; Kushawaha ve ark., 2024).

Literatürde hidroponik sistemlerin su ve besin maddesi kullanımında büyük bir tasarruf sağladığına, üretim süresini kısalttığına ve ürün kalitesini artırdığına dair güçlü bulgular yer almaktadır. Örneğin, yapılan çalışmalarda klasik topraklı sistemlere kıyasla hidroponik üretimde su kullanımında %70–90 oranında tasarruf sağlandığı belirtilmiştir (Vikanksha ve ark., 2023). Ayrıca hastalık riski azaldığı için pestisit kullanımına duyulan ihtiyaç büyük ölçüde ortadan kalkmakta, bu da hem insan sağlığına hem de çevreye olumlu katkılar bulunmaktadır (Pomoni ve ark., 2023).

Hidroponik sistemler yapılarına göre çeşitlenmektedir. En yaygın kullanılan sistemler arasında derin su kültürü (DWC), besin film tekniği (NFT), damla sulama, gel-git, fitil sistemi ve aeroponik sistemler yer almaktadır (Thapa ve ark., 2024; Sharma ve ark., 2018). Bu sistemlerin her biri belirli ürünler ve üretim ölçeklerine göre farklı avantajları vardır. Örneğin, marul gibi yapraklı sebzelerin üretiminde NFT ve DWC sistemleri yüksek verimlilik sağlamaktadır. Adelowokan (2024) tarafından yürütülen bir çalışmada, LED aydınlatma altında Green DNA sistemiyle yapılan marul üretiminde hem verim hem de bitki besin içeriği açısından en yüksek sonuçların elde edildiği rapor edilmiştir.

Teknolojik gelişmelerle birlikte hidroponik tarım sistemlerine entegre edilen sensörler, yazılımlar ve otomasyon sistemleri, üretimin verimliliğini artırmaktadır. Özellikle IoT (Internet of Things) teknolojileri sayesinde sıcaklık, nem, pH, EC gibi çevresel değişkenler uzaktan izlenebilmekte ve otomatik olarak düzenlenebilmektedir (Patil ve ark., 2020; Nikolov ve ark., 2023). Böylece üretici müdahalesi en aza indirilmekte, bitki gelişimi için en uygun çevresel koşulların sürekliliği sağlanmaktadır. Bu durum yalnızca verimi artırmakla kalmayıp, aynı zamanda sistemin yönetimini sadeleştirerek kullanıcı dostu hale getirmektedir (Shin ve ark., 2024).

Hidroponik sistemlerin uygulama alanları yalnızca şehir içi küçük ölçekli üretimle sınırlı kalmamaktadır. Bu sistemler, kutup bölgeleri, çöller ve hatta uzay istasyonları gibi geleneksel tarıma uygun olmayan ortamlarda da uygulanabilmektedir. Ryu ve arkadaşlarının (2025) yaptığı çalışmada, NASA'nın desteklediği bir proje kapsamında uzay araçlarında kullanılmak üzere geliştirilen modüler hidroponik üretim sistemlerinin, sıcaklık, nem, pH ve çözünmüş oksijen gibi parametrelerin sensörlerle izlenerek optimize edildiği ve üretim başarısının artırıldığı gösterilmiştir.

Tüm bu olumlu yönlerine rağmen hidroponik tarım sistemlerinin yaygınlaşmasının önünde bazı yapısal engeller bulunmaktadır. Yüksek ilk yatırım maliyetleri, sistemlerin kurulumu ve yönetimi için teknik bilgi gerekliliği, altyapı eksiklikleri ve düzenleyici politikaların yetersizliği; bu engeller arasında sayılabilmektedir (Velasco et al., 2023; Naresh ve ark., 2024). Bu kapsamda, özellikle küçük ve orta ölçekli üreticilerin

desteklenmesi, hidroponik sistemlerin sosyoekonomik katkı potansiyelini arttırmaktadır (Velazquez-Gonzalez ve ark., 2022).

Güncel literatür, hidroponik sistemlerin tarımsal üretimde yalnızca teknik değil, aynı zamanda stratejik bir dönüşüm yaşandığını göstermektedir. Bu sistemler, iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması, su kaynaklarının korunması ve gıda arz güvenliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahip olmaktadır. Ayrıca, yapay zekâ, makine öğrenmesi ve veri analitiği gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu ile birlikte hidroponik sistemler, tarım 4.0 sürecinin temel bileşenlerinden biri haline gelmektedir (Popkova, 2022; Verma ve ark., 2023).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Akıllı hidroponik sistemleri projesi için yapılacak olan işleri uygulamaya geçirmeden önce Fritzing programında bağlantı devre şeması tasarlanmıştır. Tasarlanan devre şemasının proje için uygun şartlarda olduğunu onayladıktan sonra hangi devre elemanlarının kullanılacağına karar verilmiştir.

Proje için yapılacak olan hidroponik sistem düzeneğinin malzemesi, günümüzde her alanda kullanılan ve MDF adını verilen malzeme olarak seçilmiştir. Bu malzemenin seçilmesinin sebebi maliyetinin diğer malzemelere göre (metal, minyatür tuğla vs), basit kesim ve şekil verme ve yeterince sağlam avantajları olmasıdır.

Akıllı hidroponik sistemleri projesinin montajının yapımını tamamladıktan sonra ESP32 aracılığı ile kodlarını yazıp board üzerinde çalışma durumu test edilmiştir. MIT App Invertor uygulaması ile mobil programı tasarlanmış ve aynı zamanda "Blocks" kısımları arduino ile bağlantılı hale getirilmiştir.

3.1. Sistemin Çalışma Prensibi

Bu tez kapsamında geliştirilen IoT tabanlı hidroponik sistem, bitki yetiştirme sürecini daha verimli ve kontrollü hale getirmek amacıyla tasarlanmıştır. Sistem; suyun pH ve EC değerlerini, ortamın ışık şiddetini ölçerek bu verileri mobil uygulama üzerinden kullanıcılara sunmaktadır. Aynı zamanda bitkilerin gelişim evrelerine göre uygun ışık rengini sağlayan bir RGB LED aydınlatma sistemi içermektedir.

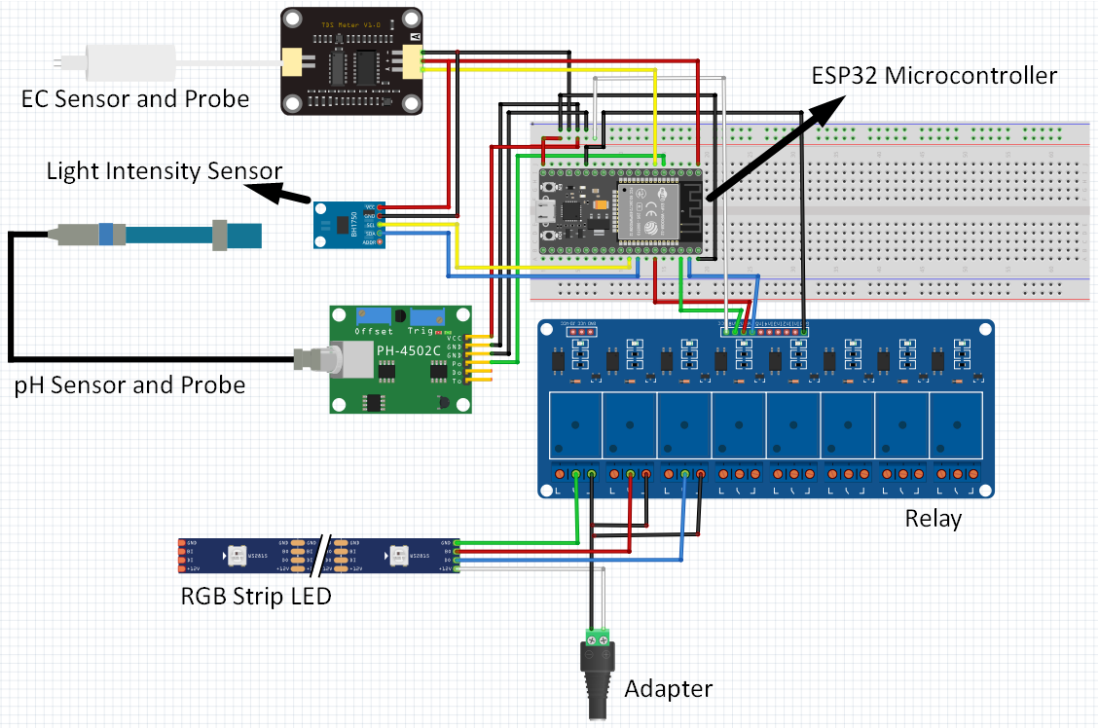
Sistemin merkezinde yer alan ESP32 mikrodenetleyici olarak NodeMCU-32S kullanılmaktadır. pH-4502C pH sensörü, TDS Meter V1.0 sensörü ve ortamdaki ışık şiddetini ölçen bir ışık sensörü (BH1750) ile farklı iletişim protokolleri kullanarak haberleşmektedir. Bu sensörler sırasıyla GPIO 34 (pH), GPIO 35 (EC), GPIO 18 (BH1750 için SCL) ve GPIO 19 (BH1750 için SDA) pini üzerinden ESP32'ye bağlanmıştır. pH değeri 0-14 aralığında, EC değeri 0-9990 µS arasında ölçülmektedir.

Işık sensörü ise ortamdaki ışık seviyesine bağlı olarak 1 ile 65.535 lux sayısal değerleri aralığında sayısal değer üretmektedir.

Tüm sensör verileri, Bluetooth bağlantısı üzerinden MIT App Inventor ile geliştirilen mobil uygulamaya aktarılmıştır. Böylece kullanıcı, mobil arayüz aracılığıyla pH, EC ve ışık şiddeti değerlerini anlık olarak takip edebilmektedir.

Bitkilerin gelişim evresine bağlı olarak değişen farklı aydınlatma renk değerleri GPIO 12 (Kırmızı), GPIO 14 (Yeşil) ve GPIO 27 (Mavi) pinlerine bağlanmış RGB LED şerit ile sağlanmaktadır. Her bir renk değeri, belirlenen süre boyunca bitkiye otomatik olarak uygulanmaktadır. Böylece bitkilerin genel büyüme ortamına ilişkin veriler gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte ve uzak kontrol işlemi gerçekleştirebilmektedir.

Şekil 3.1'de Fritzing programı ortamında oluşturulan sisteme ait bağlantı şeması, Çizelge 3.1'de ise çalışmada kullanılan devre elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kontrol sistemi bağlantı şeması

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan devre elemanları

No	Adı	Özelliği
1	ESP32	Dahili Wi-Fi ve Bluetooth özelliklerine sahip, yüksek performanslı ve çok yönlü bir mikrodenetleyicidir
2	pH Sensörü	Bir sıvının asidik veya bazik özelliklerini belirlemek için kullanılan bir elektronik cihazdır.
3	TDS meter V1.0	Sıvılardaki toplam çözünmüş katı madde (TDS) miktarını ölçen bir sensördür. TDS, bir sıvıda çözünmüş olan mineraller, tuzlar ve diğer organik ve inorganik bileşiklerin toplamını ifade eder.
4	Işık Şiddeti Sensörü	Çevredeki ışık yoğunluğunu ölçmek için kullanılan bir sensördür. Çalışma prensibi, ışık şiddetinin değişmesine bağlı olarak sensörün direncinin değişmesidir.
5	8 Kanallı 5V Röle	Elektronik projelerde, özellikle mikrodenetleyicilerle (örneğin Arduino, ESP32) çalışan, yüksek güçlü cihazları kontrol etmek için kullanılan bir modüldür.
6	Adaptör 5V 2A	Elektronik cihazlara sabit bir voltaj ve akım sağlamak için kullanılan güç kaynağıdır.
7	BreadBoard	Elektronik devreleri lehimsiz olarak kurmaya yarayan, tekrar kullanılabilir bir platformdur.
8	Jumper Kablo	Elektronik devrelerde bileşenleri ve modülleri birbirine bağlamak için kullanılan esnek ve yalıtılmış bir kablodur.

3.2. Kontrol Sisteminin Bileşenleri

3.2.1. ESP32 Mikrodenetleyicisi

ESP32 mikrodenetleyicisi olarak Espressif Systems tarafından geliştirilen ve geniş sensör ve donanım entegrasyonu imkânı sunan ESP32 tabanlı NodeMCU-32S modeli tercih edilmiştir (Şekil 3.2). NodeMCU-32S, çift çekirdekli 240 MHz saat frekansında çalışabilmektedir. 520 KB SRAM ve 4 MB flash bellek kapasitesi ne sahip olmakla beraber sensör verilerinin işlenmesi, kablosuz iletişim protokollerinin kullanımı ve arayüz kontrolü gibi çoklu görevlerin aynı anda yürütülmesine olanak tanımaktadır. Düşük güç tüketimi, yerleşik Wi-Fi ve Bluetooth modülleri ile IoT tabanlı tarımsal uygulamalar için uygun bir platform sunmaktadır. Sistemin uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesine yönelik işlevlerin gerçekleştirilmesinde temel rol üstlenmiştir, hidroponik sistemin tüm

sensör verilerini toplamak, işlemek ve mobil uygulama ile iletişim kurmak üzere merkezi bir kontrol birimi olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.2. ESP32 Mikrodenetleyici Kartı

3.2.2. Sensör Verilerinin Okunması

pH sensörü (PH-4502C), GPIO 34 pininden analog sinyal alarak suyun pH değerini ölçmektedir. Bu değer, suyun asidik veya bazik değerini belirlemek için kullanılmaktadır. TDS Meter V1.0 sensörü, GPIO 35 pininden analog sinyal ile suyun elektriksel iletkenliğini ölçmektedir. Bu ölçüm, sudaki besin yoğunluğunu göstermektedir. Ayrıca, ışık şiddeti sensörü ortamın ışık seviyesini ölçmektedir. Veri, mobil uygulama üzerinden görüntülenmektedir.

3.2.3. RGB LED Aydınlatma Kontrolü

Bitkilerin gelişim evrelerine uygun olarak RGB şerit LED'in renkleri belirlenmiştir. LED'in renk kontrolü, RED pini için GPIO 12, GREEN pini için GPIO 14 ve BLUE pini için GPIO 17 pinleri üzerinden PWM (analogWrite) sinyali ile sağlanmıştır. Aydınlatma, otomatik olarak 20 saniye süre boyunca yanmakta ve ardından kapanmaktadır.

3.2.4. Mobil Uygulama ile İletişim (Bluetooth)

ESP32, Bluetooth üzerinden MIT App Inventor ile hazırlanan mobil uygulamaya bağlanmıştır. Sensör değerleri mobil uygulamada görüntülenmiştir. Kullanıcı, uygulama üzerinden RGB LED ışıklarını manuel olarak kontrol etmesi sağlanmıştır. ESP32, bu görevleri gerçek zamanlı olarak ve düşük güç tüketimiyle yerine getirerek hidroponik sistemin verimli ve otomatik şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

3.2.5. pH Sensörü

pH sensörü (PH-4502C), hidroponik sistemde suyun asidik mi yoksa bazik mi olduğunu ölçmek için kullanılmıştır (Şekil 3.3). Bitkilerin sağlıklı büyümesi için suyun pH seviyesinin belirli bir aralıkta kalması gerektiğinden, pH sensörünün görevi besin çözeltisindeki pH değerini ölçmek ve analog sinyal olarak ESP32 mikrodenetleyicisine GPIO 34 üzerinden iletmektir. Bu sensör, iki elektrot arasındaki voltaj değerini ölçmektedir. Kalibrasyonu sağlanmış pH sensörü, bitkinin olması gereken sayısal değer dışına çıktığında kullanıcıya MIT App Inverterdan tasarlanmış olan arayüze uyarı mesajı göndermektedir.



Şekil 3.3. pH sensörü

3.2.6. EC Sensörü

TDS Meter V1.0 sensörü, hidroponik sistemdeki besin çözeltisinin elektriksel iletkenliğini (EC) ölçerek, çözünmüş tuz (besin) miktarını belirlemek için kullanılmıştır (Şekil 3.4). EC sensörü, suyun iletkenliğini ölçmekte ve analog sinyal olarak GPIO 35

üzerinden ESP32'ye iletmektedir. ESP32 bu sinyali okuyarak µS/cm ve ppm cinsinden EC değerini hesaplamaktadır. Bu veri, sudaki besin yoğunluğunu gösterdiği için, bitkilere ne kadar gübre verildiğini izlemek ve ayarlamak için kullanılmıştır.



Şekil 3.4. TDS Meter V1.0 sensörü

3.2.7. Işık Şiddeti Sensörü

Işık şiddeti sensörü, bitkilerin fotosentez süreçleri için gerekli olan aydınlatma seviyesinin izlenmesini sağlanmaktadır (Şekil 3.5). Bu sensör sayesinde, ortamda bulunan ışık miktarı ölçülerek bitkilerin gelişimi için uygun ışık koşullarının sağlanması hedeflenmektedir. Ölçülen ışık verisi, sistem tarafından analiz edilerek gerekirse aydınlatma düzeyi ayarlanabilir veya kullanıcıya mobil uygulama üzerinden bildirim yapılabilmektedir. Bu sayede, hidroponik sistemde ışık koşulları optimize edilerek verimli bitki yetiştiriciliği desteklenmektedir.



Şekil 3.5. Işık şiddeti sensörü

3.2.8. 8 Kanallı 5V Röle

Sekiz kanallı 5V röle modülü, ESP32'nin düşük güçlü dijital çıkışları ile yüksek güçlü cihazları (örneğin pompalar, fanlar, su motorları, aydınlatmalar vb.) güvenli bir şekilde kontrol edilmesinde kullanılmaktadır (Şekil 3.6).

ESP32 mikrodenetleyicisi tarafından üretilen dijital sinyaller (HIGH veya LOW) ile kontrol edilen röle modülü, 5V gerilimle çalışmakta ve her bir röle kanalı bağımsız olarak yönetilebilmektedir. Bu yapı, su pompası veya aydınlatma sistemi gibi harici elektrikli cihazların açılıp kapatılmasını sağlamaktadır. Röle kullanımı, ESP32'nin doğrudan sürme kapasitesinin yetersiz olduğu yüksek akım çeken sistemlerin güvenli bir şekilde kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. Röle modülünün yazılımsal kontrolü, mobil uygulama arayüzü üzerinden de sağlanarak hidroponik sistemdeki elektrikli ekipmanların otomatik ya da uzaktan yönetimi mümkün hâle gelmektedir. Bu yapı sayesinde hidroponik sistemdeki elektrikli ekipmanlar, otomatik veya uzaktan (mobil uygulama ile) kontrol edilebilir hale gelmektedir.

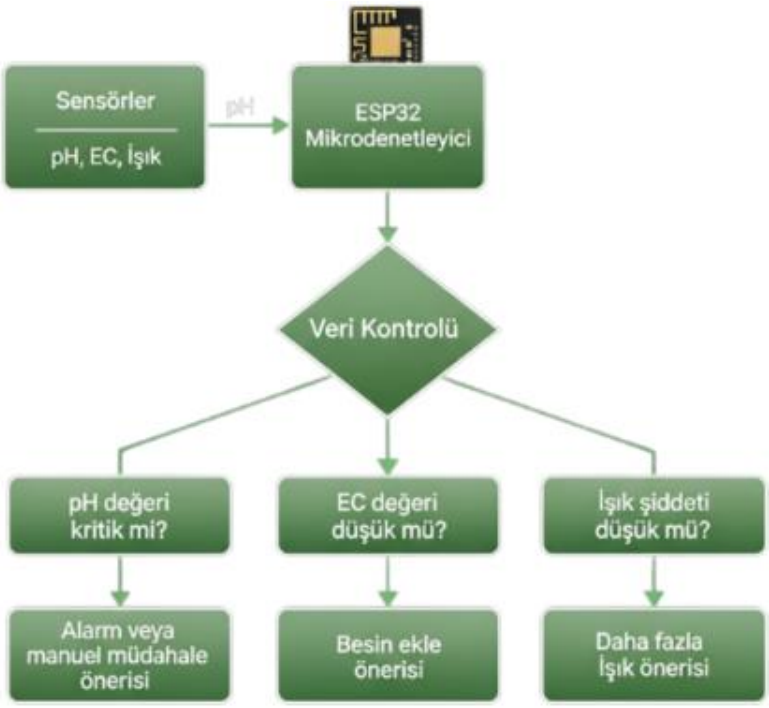


Şekil 3.6. 8 kanallı 5V röle

3.2.9. Mobil Uygulama Performansı

MIT App Inventor ile geliştirilen mobil arayüz üzerinden sensör verileri anlık olarak görüntülenmiş, RGB LED renk kontrolü yapılmış ve bağlantı kararlılığı testlerde olumlu sonuçlar vermiştir. Mobil uygulama akış diyagramı Şekil 3.7'de verilmiştir. Burada

sensörlerden elde edilen veriler, mikroişlemci tarafından kullanılmaktadır. Ölçülen faktörlerin optimum sınırları içinde olması gerekmektedir. Bunun için sensör verileri, uygun pH, EC ve ışık şiddeti değerleriyle karşılaştırılmakladır. Ölçülen parametrenin uygun aralıkta olup olmadığı belirlenerek kullanıcıya bir öneri veya uyarı yapılmaktadır.



Şekil 3.7. Mobil uygulama akış diyagramı

3.2.9. Sensör Kalibrasyonu

Projede kullanılan EC, pH ve BH1750 ışık şiddeti sensörlerinin doğruluğunu artırmak ve güvenilir veri elde etmek amacıyla hem dijital hem de manuel kalibrasyon yöntemleri uygulanmıştır. Her bir sensörün kalibrasyonu, referans ölçüm cihazlarıyla karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir.

pH-4502C modeli kullanılarak yapılan pH ölçümleri, ticari bir pH metre ile karşılaştırılmıştır. Kalibrasyon sürecinde, 4.00, 7.00 ve 10.00 pH tampon çözeltileri referans olarak kullanılmıştır. Her çözeltide elde edilen analog voltaj değerleri ile karşılık gelen pH seviyeleri eşleştirilerek bir doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Bu

sayede dijital çıktı ile gerçek pH değeri arasında ilişki kurularak yazılımsal düzeltme yapılmıştır.

TDS Meter V1.0 EC sensörü ile yapılan ölçümler, laboratuvar tipi profesyonel bir EC metre yardımıyla doğrulanmıştır. Kalibrasyon aşamasında, farklı iletkenlik seviyelerine sahip sıvı çözeltiler (örneğin: 1413 µS/cm ve 2764 µS/cm gibi standart çözeltiler) kullanılarak sensörün doğruluğu test edilmiş ve ölçümlerle uyumlu olacak şekilde yazılım üzerinde kazanç ve offset ayarları yapılmıştır.

Işık şiddeti ölçümleri, profesyonel bir lüksmetre ile karşılaştırılmıştır. BH1750 sensörünün özellikle mor spektrum bölgesine karşı düşük hassasiyeti dikkate alınarak, farklı ışık kaynakları (beyaz LED, mor grow LED) altında karşılaştırmalı ölçümler alınmıştır. Elde edilen farklara göre sensör çıktılarına düzeltme katsayıları uygulanmış, böylece dijital ölçümler gerçeğe daha yakın hale getirilmiştir.

Tüm bu kalibrasyon işlemleri sonucunda, sensörlerin dijital çıktılarının referans ölçüm cihazlarıyla uyumlu çalışması sağlanmış ve sistem genelinde güvenilir veri üretimi elde edilmiştir.

3.3. Proje Tasarım Görselleri

Bu çalışmada, bitkisel üretimin topraksız olarak gerçekleştirildiği hidroponik sistemin dijital kontrolü sağlanmıştır. Geliştirilen sistem, yatay düzlemde yerleştirilmiş PVC borular üzerinde konumlandırılan net potlar aracılığıyla bitkilerin yerleştirileceği bir büyüme platformuna sahiptir. Sistemin taşıyıcı iskeleti, hem elektrikli bileşenlerin sabitlenmesine hem de aydınlatma düzeneğinin montajına uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. LED aydınlatma ünitesi, spektrum kontrollü ve beyaz ışık olmak üzere iki farklı ışık kaynağını barındırmakta ve bitki gelişimine uygun dalga boylarında ışık sağlayabilmektedir.

LED ışık kaynağı, sistemin üst bölümüne yatay olarak yerleştirilmiş olup, mobil uygulama üzerinden uzaktan açılıp kapatılabilmektedir. Spektrum LED'ler, bitki

büyümesini teşvik eden kırmızı ve mavi dalga boylarını içerirken; beyaz LED'ler genel aydınlatma desteği sunmaktadır. Aydınlatma, sistemin iç ortam koşullarına göre esnek biçimde yönetilebilmekte, böylece enerji verimliliği ve bitki gelişim performansı optimize edilmektedir. Mekanik tasarımın amacı ışık şiddetini manuel olarak pimlerden tavanı çıkartarak veya yerleştirerek gerekli ışık kaynağını elde etmektir.

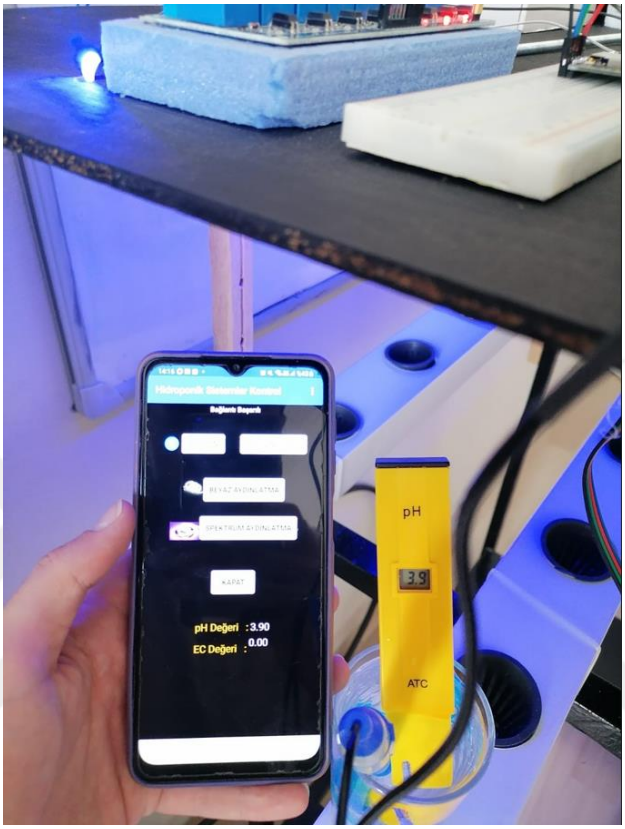


Şekil 3.8. Yarı otomatik oluşturulan hidroponik sistem

Geliştirilen hidroponik sistem, mikrodenetleyici tabanlı bir kontrol ünitesi ile entegre edilmiştir. Bu kontrol ünitesi, Bluetooth iletişim protokolü aracılığıyla mobil cihaz ile eşleştirilmekte ve kullanıcıya anlık veri sağlamaktadır. Sistemde pH ve EC sensörleri aktif olarak kullanılmakta olup, ölçülen veriler Android tabanlı özel olarak geliştirilmiş bir mobil arayüzde dijital formatta sunulmaktadır.

Kullanıcı, mobil uygulama üzerinden aydınlatma türünü manuel olarak seçebilmekte (beyaz ya da spektrum ışık), aynı zamanda sistemin pH değeri ve EC değeri gibi kritik

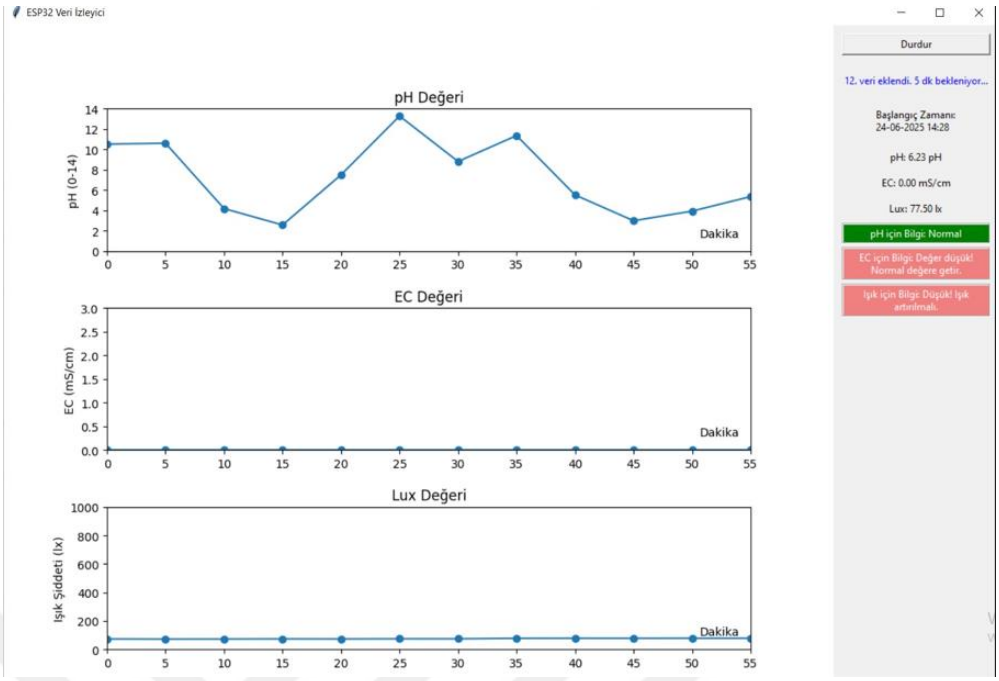
ölçümlerini anlık olarak görüntüleyebilmektedir. Görseldeki örnekte pH değeri, uygulama üzerinden 3.90 olarak ölçülmüş olup pH ölçüm cihazında da 3.9 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.9. Mobil uygulama ile referans metresinin karşılaştırılması

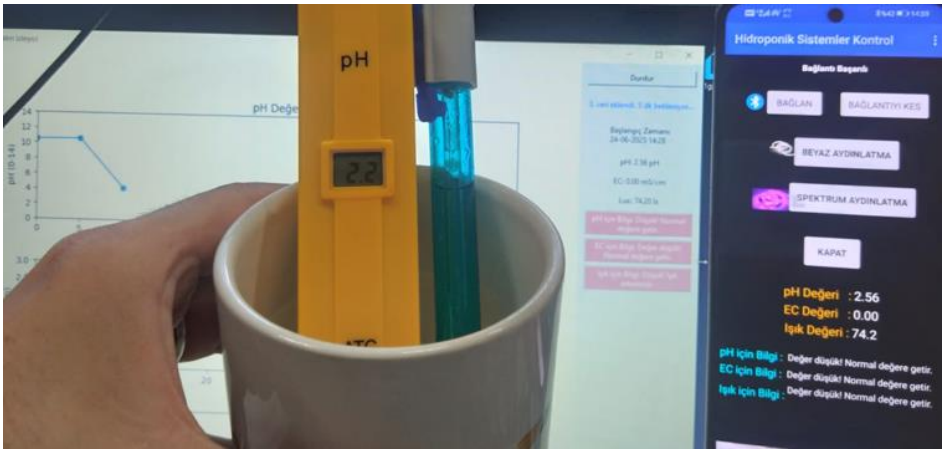
ESP32 tabanlı bir veri izleme sistemi arayüzünü gösteren bu görselde, pH, EC ve Lux (Işık Şiddeti) değerlerinin zamana bağlı değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Sağ panelde ise anlık veriler, başlangıç zamanı (24-06-2025 14:28) ve her bir parametre için durum bilgileri (örneğin, "pH için Bilgi: Normal", "EC için Bilgi: Değer düşük!", "Işık için Bilgi: Düşük! Işık artırılmalı!") yer almaktadır. Özellikle EC ve Lux değerlerinin düşük olduğu ve iyileştirme gerektiği uyarısı verilmiştir.

Sonuç olarak, geliştirilen arayüz ele alınan parametrelerin sürekli izlenmesini ve analiz edilmesini sağlamıştır.



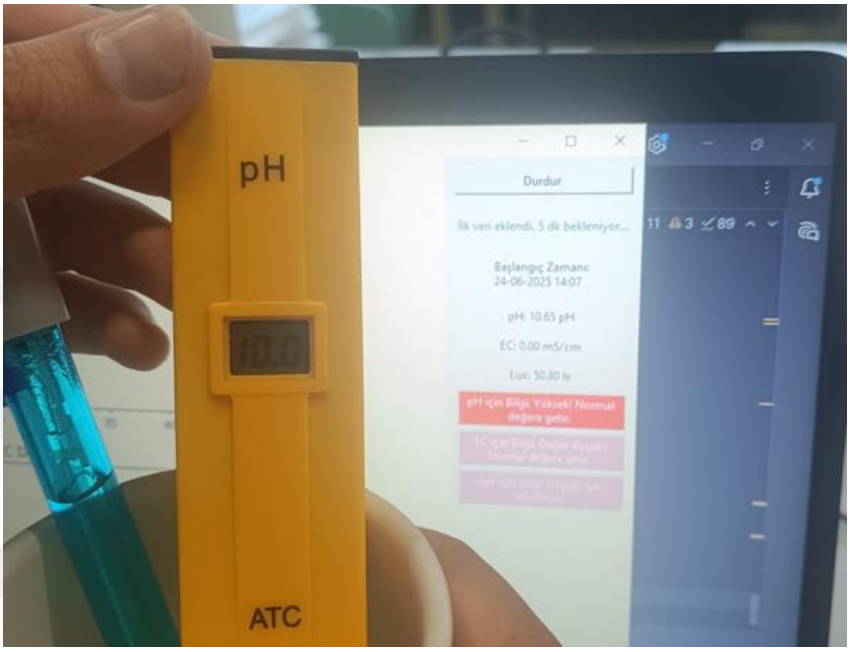
Şekil 3.10. pH değerlerinin grafikte görünmesi ve verilerin kaydedilmesi

Sistem, yalnızca anlık değerleri okumakla kalmayıp, elde edilen veriler doğrultusunda kullanıcıya yönlendirici uyarılar da bulunmaktadır. Şekil 3.11'da pH değeri 2.56 olarak ölçülmüş ve sistem, bu değerin normalin oldukça altında olduğunu tespit ederek kullanıcıya müdahale önerisi yapmıştır. Aynı zamanda ışık şiddeti sensöründen alınan veriler de uygulama ekranında görüntülenmiş ve düşük ışık seviyesine dair geri bildirim sağlanmaktadır.



Şekil 3.11. Grafik, referans metre ve uygulama karşılaştırmaları

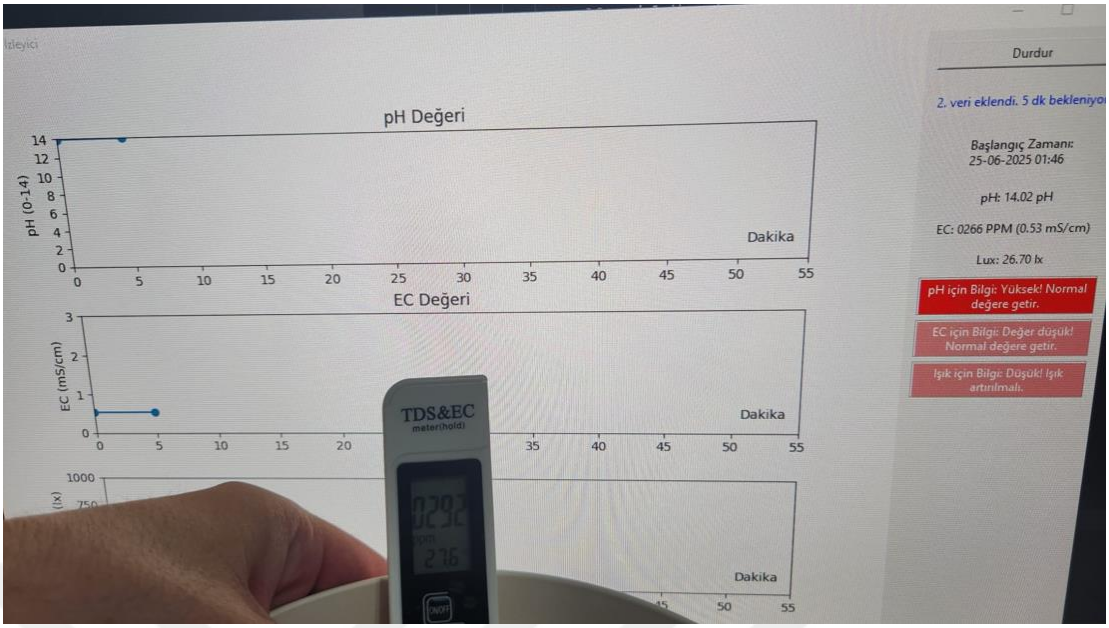
Mobil arayüzde yer alan bilgi mesajları, kullanıcıya yalnızca sayısal veri değil, aynı zamanda bu verilerin anlamlandırılmasını da sağlayan yorumlar görülmektedir (Şekil 3.12). Böylece sistem, aktif bir izleme düzeneği olması sağlanmış ve karar destek sistemi niteliği kazanmıştır.



Şekil 3.12. pH için grafik, referans metre karşılaştırmaları

Şekil 3.13, ESP32 tabanlı veri izleme sisteminin, harici bir EC ölçüm cihazından alınan anlık veriyi grafiksel arayüze entegre ederek kaydetme özelliğini vurgulamaktadır. Sol alt köşede görülen "TDS&EC" cihazı ile yapılan ölçüm (ekranda '0296' değeri okunmaktadır) eş zamanlı olarak üst panellerdeki "EC Değeri" grafiğine işlenmekte ve sağ paneldeki "EC: 0.266 PPM (0.53 mS/cm)" anlık değerine yansımaktadır.

Bu entegrasyon, sistemin yalnızca sensörlerden gelen otomatik verileri değil, aynı zamanda manuel olarak harici cihazlarla yapılan ölçümleri de gerçek zamanlı olarak izlemekte ve kaydetmektedir. Bu özellik, sensör kalibrasyonu veya anlık kontrol ölçümleri gibi durumlar için bir doğrulama ve veri zenginleştirme kapasitesi de oluşturmaktadır.

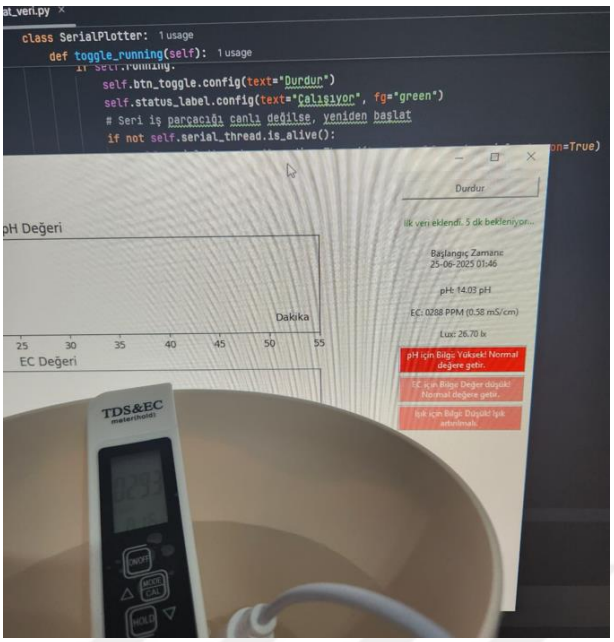


Şekil 3.13. EC için grafik, referans metre karşılaştırmaları

Ayrıca, pH ve Lux değerleri de eş zamanlı olarak grafiklerde takip edilmekte ve sağ panelde durum bilgileri ("pH için Bilgi: Yüksek! Normal değere getir.", "EC için Bilgi: Değer düşük! Normal değere getirin.", "Işık için Bilgi: Düşük! Işık artırılmalı!") gösterilmektedir, bu da sistemin kapsamlı bir izleme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

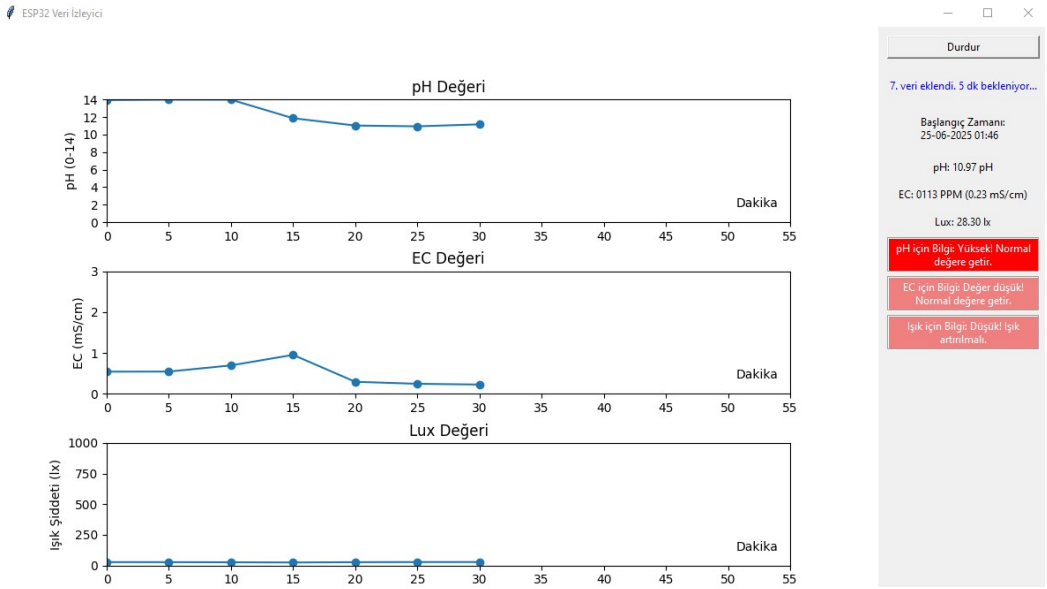
ESP32 veri izleme sisteminin, EC (Elektriksel İletkenlik) değerini grafik üzerinde anlık olarak takip etme ve kaydetme yeteneği Şekil 3.14'te gösterilmiştir. "EC Değeri" grafiğinde, sensörden alınan veriler zamanla değişen bir çizgi grafiği olarak sunulurken, sağ panelde anlık EC değeri "EC: 0.113 PPM (0.23 mS/cm)" olarak görüntülenmektedir.

Sağ paneldeki "EC için Bilgi: Değer düşük! Normal değere getirin!" uyarısı, mevcut EC seviyesinin optimize edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu durum, sistemin sadece veri görselleştirmesi yapmakla kalmayıp, aynı zamanda belirlenen eşik değerlere göre gerçek zamanlı uyarılar sağlayarak kullanıcıya anında geri bildirimde bulunduğunu göstermektedir.

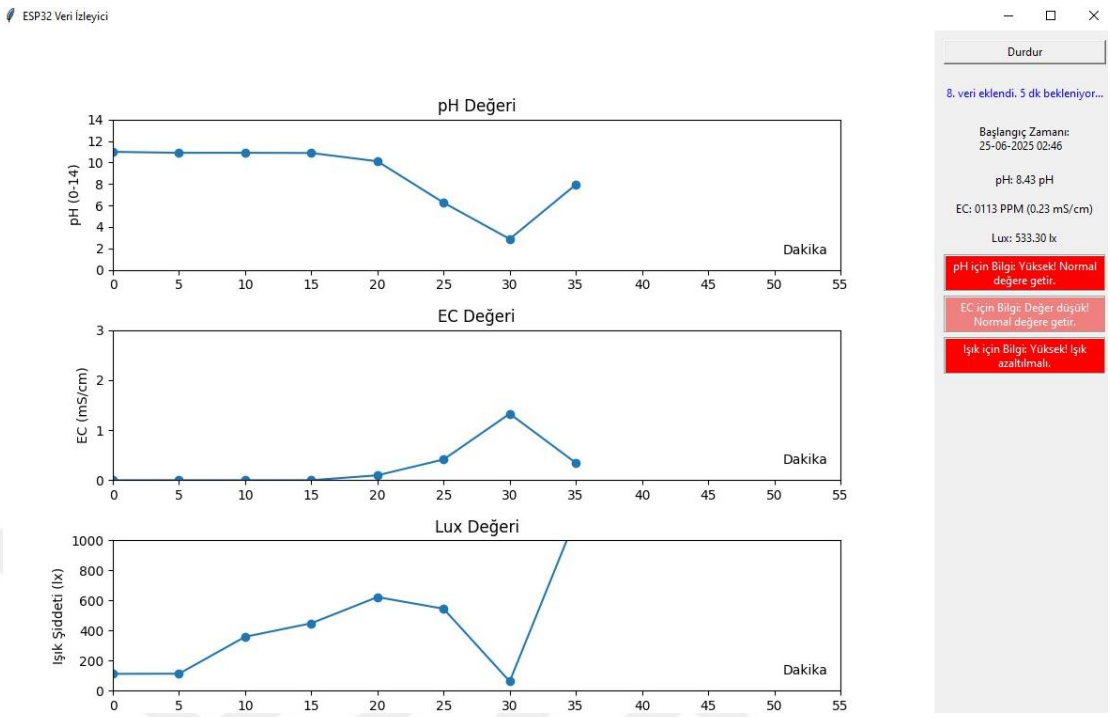


Şekil 3.14. EC için grafik, referans metre karşılaştırmaları

Şekil 3.15, ışık şiddeti ve pH sabit tutularak EC değerlerinin izlendiğini, "Saatlik_Veri" klasörüne kaydedildiğini ve grafik çıktılarının otomatik olarak oluşturulabildiğini göstermektedir. Şekil 3.16'da ise pH, EC ve ışık yoğunluğu aynı anda değiştirilmiş ve değişkenliklerin anında izlendiği ve bunlarla ilgili uyarıların yapıldığı gösterilmiştir.

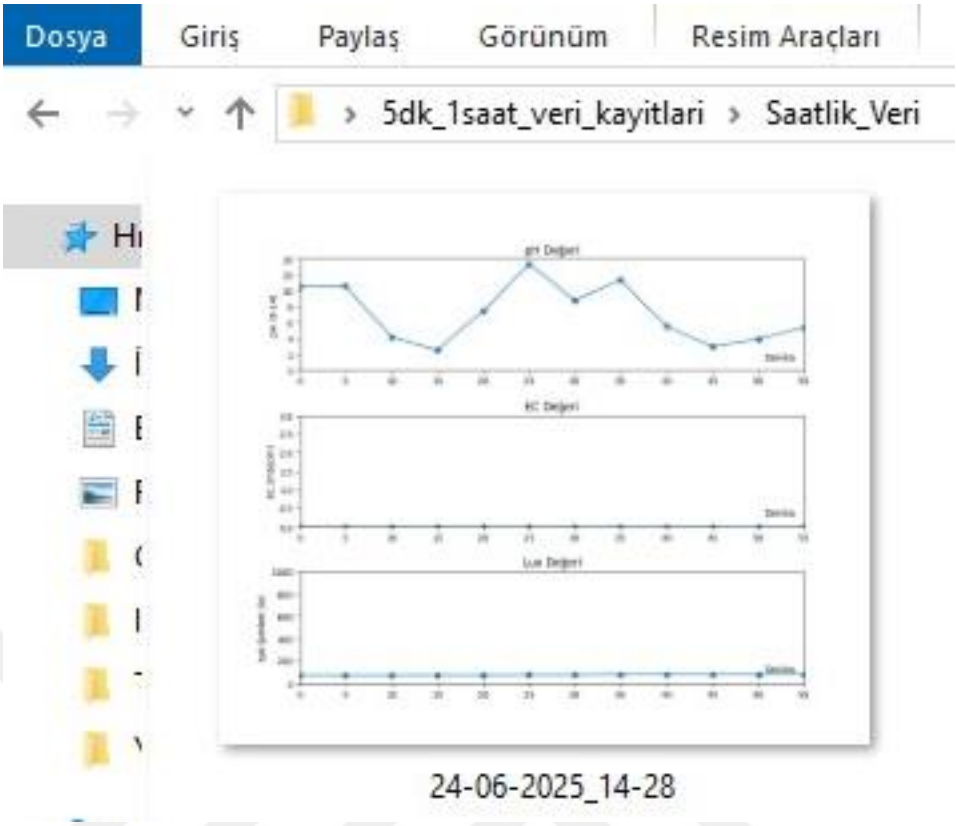


Şekil 3.15. EC değerlerinin grafiği ve verilerinin kaydedilmesi



Şekil 3.16. pH, EC ve ışık şiddeti değerlerinin grafiği ve verilerin kaydı

Sistem, belirlenen her bir saatlik döngünün sonunda, pH, EC ve Lux değerlerinin grafiksel zaman serisi kayıtlarını otomatik olarak oluşturmakta ve ilgili dosya adı altında (örneğin "24-06-2025_14-28" ve "25-06-2025_02-46" formatında) saklamaktadır. Bu dosya adları, verinin kaydedildiği tarih ve saati tam olarak yansıtarak, geçmiş performansın kolayca takip edilmesine ve analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Her bir saatlik kayıt tamamlandığında, sistem yeni bir boş grafik arayüzü başlatarak sürekli veri izleme ve depolama fonksiyonelliğini kesintisiz bir şekilde devam ettirmektedir. Bu otomasyon, uzun süreli çevresel izleme projelerinde veri yönetimini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır.



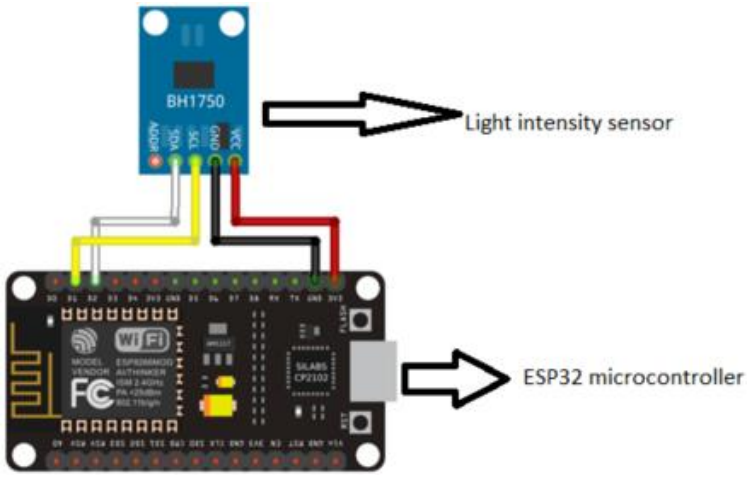
Şekil 3.17. Verilerin otomatik olarak dosyaya kaydedilmesi

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Gerçekleştirilen hidroponik sistem uygulamasında ESP32 mikrodenetleyicisi üzerinden pH, EC (iletkenlik), ışık şiddeti gibi temel çevresel parametreler başarıyla okunmuştur. Sensör verileri mobil uygulamaya Bluetooth ile iletilmiş, kullanıcı arayüzü üzerinden anlık izleme ve RGB LED kontrolü sorunsuz şekilde sağlanmıştır. Bu sensörler sayesinde kullanıcı, bitkilerin ihtiyaç duyduğu ideal besin seviyesini koruyabilir, böylece hem sağlıklı büyüme sağlanabilir hem de besin girdisi önemli ölçüde azaltılabilir.

Geliştirilen mobil arayüz sayesinde, RGB LED'ler, bitki gelişim evrelerine uygun olarak belirlenen renk profillerine göre çalıştırılmış ve bitkinin türüne göre saniye cinsinden otomatik aydınlatma döngüsü başarıyla uygulanmıştır.

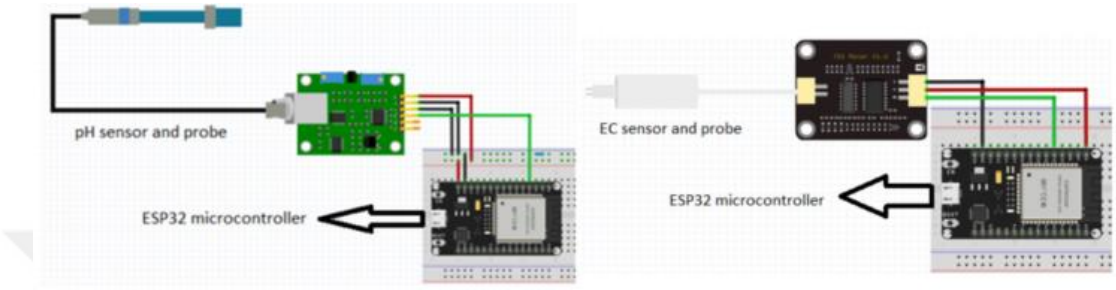
Projede, düşük maliyetli sensörler ve açık kaynak donanımlar kullanılarak ev tipi bir hidroponik sistem geliştirilmiştir. Kullanılan sensörlerin IP derecelendirmesi ev tipi kullanım için yeterli olsa da, ticari ürünlerde daha dayanıklı ve yüksek IP koruma seviyelerine sahip sensörler tercih edilebilir. Sistem, prototip aşamasında uygun fiyatlı sensörlerle tasarlandığı için, ticari kullanımda daha kaliteli sensörler gerekecektir.



Şekil 4.1. Işık şiddeti sensörü bağlantı şeması

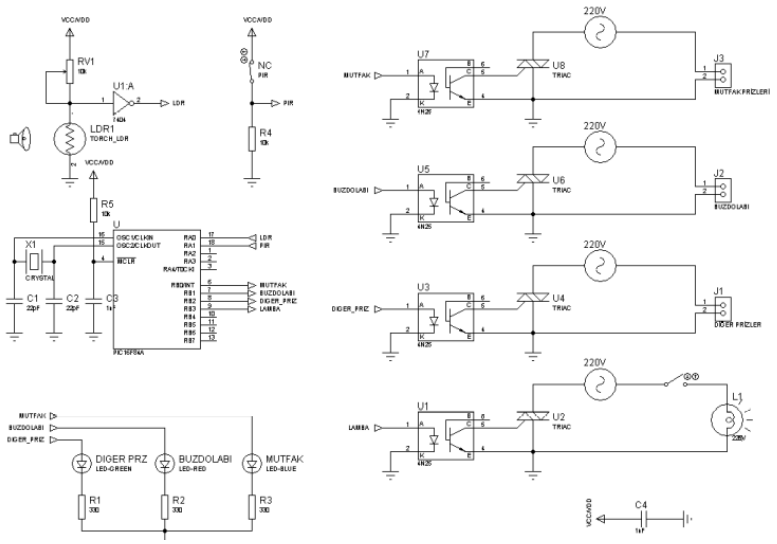
pH ve EC sensörleri kalibrasyon işlemiyle doğru ölçümler sağlamak için tampon çözeltiler ve iyon çözeltileri kullanılarak ayarlanmıştır. Sensörler zamanla hassasiyet

kaybedebilir, bu yüzden kullanıcıların pH sensörü için 2-4 haftada bir, EC sensörüleri için 1-3 ayda bir kalibrasyon yapması gereklidir. Ancak, yüksek dereceli kirlenme veya aşırı sıcaklık gibi dış etmenlere bağlı olarak bu süre de değişebilir. Bu işlem, kullanıcılar için karmaşık ve zaman alıcı olabilir, ancak otomatik kalibrasyon sistemleriyle bu zorluk giderilebilir.



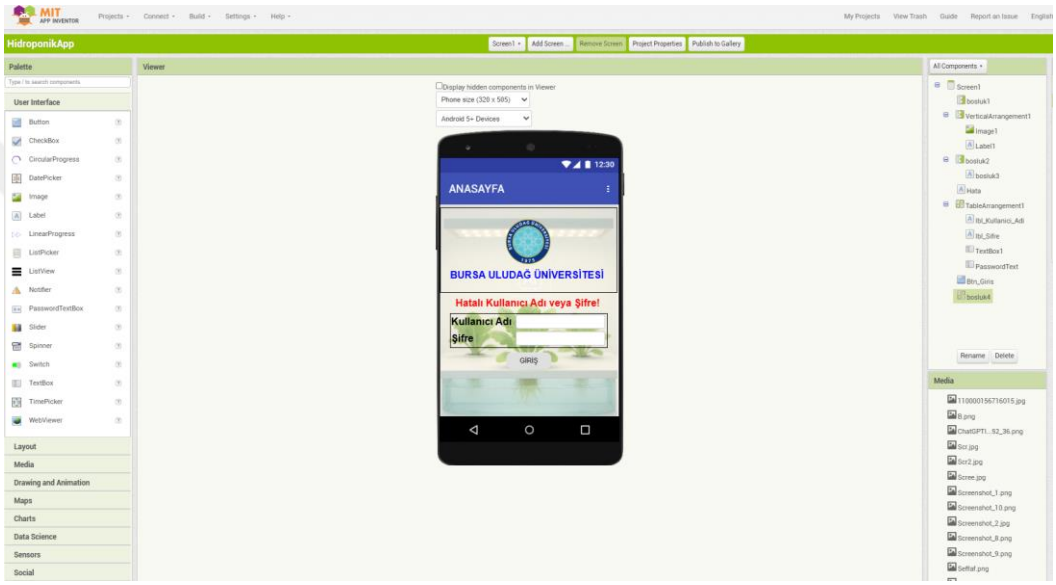
Şekil 4.2. pH ve EC sensörü bağlantı şeması

Proje, Bluetooth üzerinden lokal iletişim sağlamakta başarılı olmuştur, ancak daha geniş alanlarda kullanılacak ticari bir sistemde, Wi-Fi veya LoRa gibi daha geniş alan iletişim teknolojilerinin kullanılması gerekebilir. Gelecekte, daha hassas sensörler, dayanıklı malzemeler ve otomatik kalibrasyon özelliklerinin eklenmesi, sistemin ticari başarısı için önemli olacaktır.

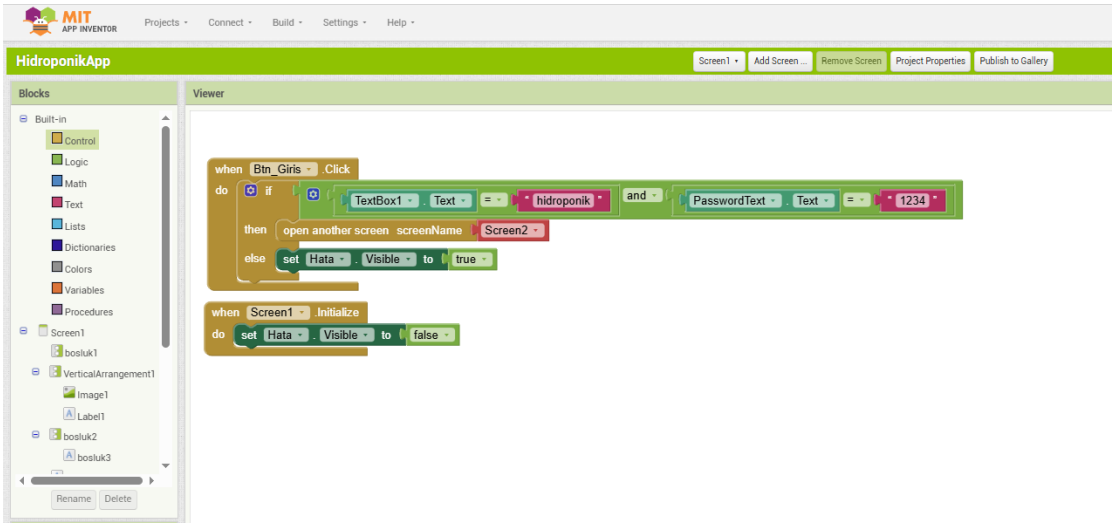


Şekil 4.3. Işık kaynakları ve aydınlatma kontrolü ile kontrol ve anahtar sistemleri

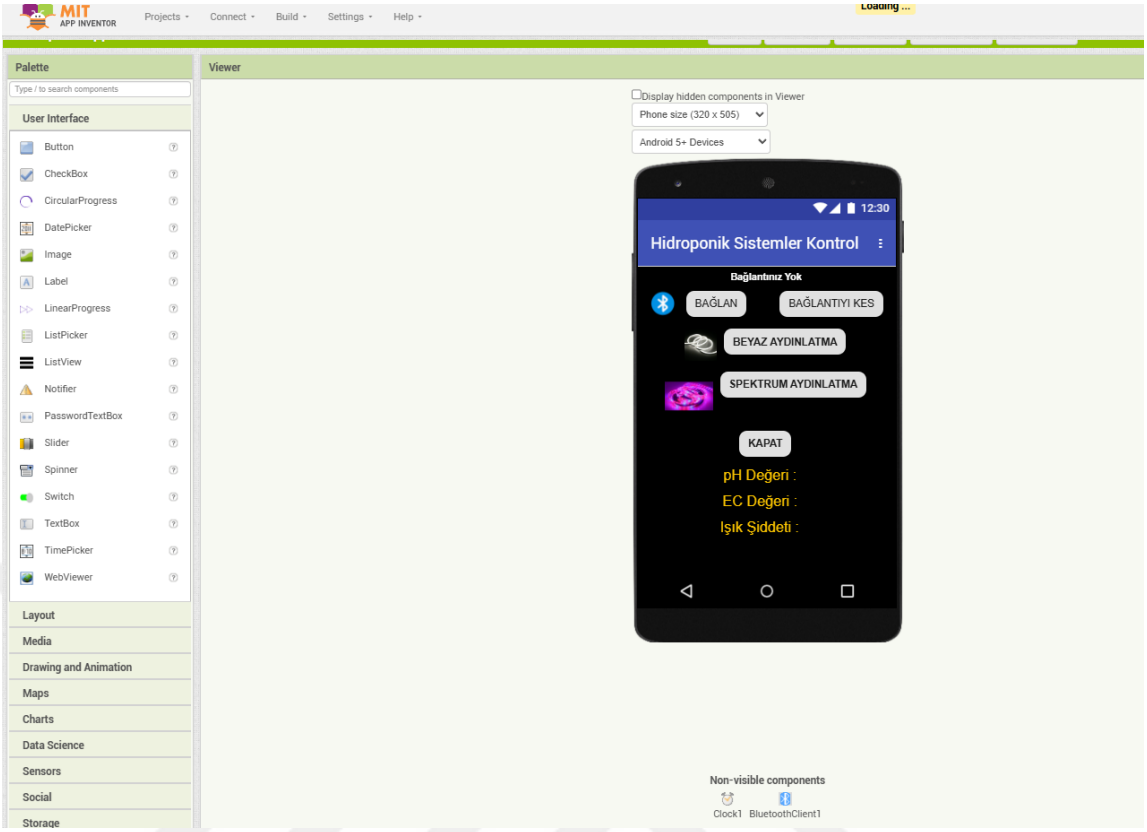
MIT App Inventor kullanılarak geliştirilen mobil arayüz, kullanıcıların sistem üzerindeki temel işlevlere mobil cihazlar aracılığıyla erişebilmesini sağlamaktadır. Bu sayede pH, EC ve ışık düzeyi anlık olarak görüntülenmiştir. Kritik eşiklerin aşılması durumunda kullanıcıya uyarılar iletilmiştir. Uygulamanın görsel programlama temelli yapısı, yeni işlevlerin eklenmesini kolaylaştırmış ve sistemin zamanla ihtiyaçlara göre yeniden düzenlenmesini sağlamıştır. Bu sayede kullanıcıya sadece izleme değil, sistem kontrolü ve ileride yapılabilecek yazılım geliştirmeleri için de uygun bir altyapı oluşturulmuştur.



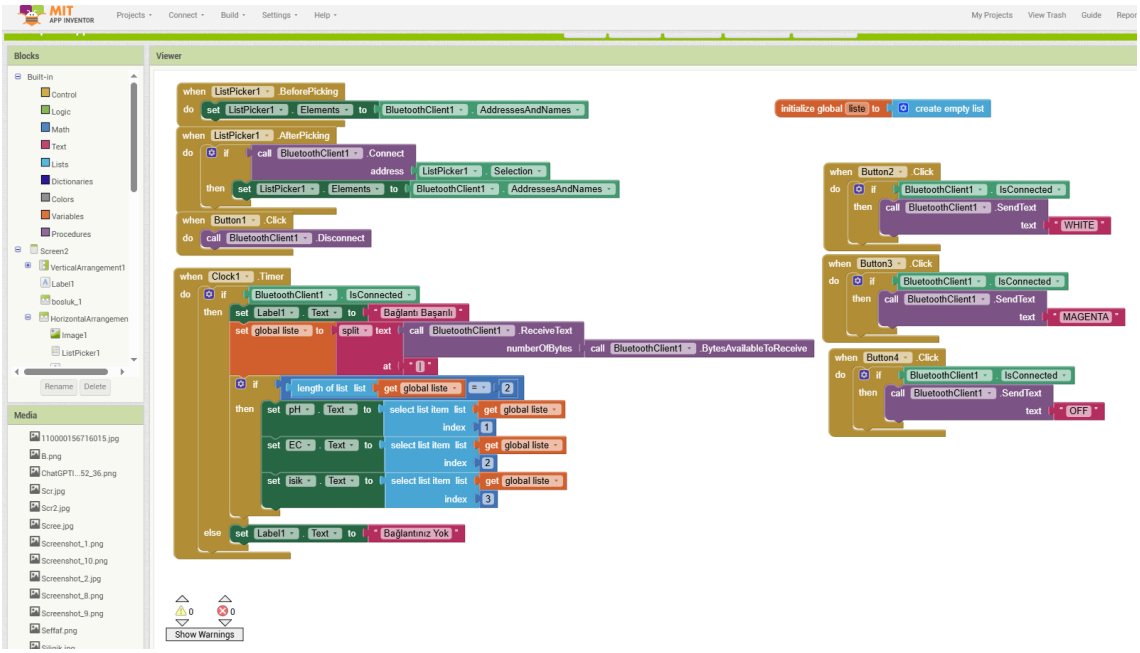
Şekil 4.4. MIT App Invertor uygulamasında ana sayfa tasarımı



Şekil 4.5. MIT App Invertor uygulamasında anasayfa bloğu



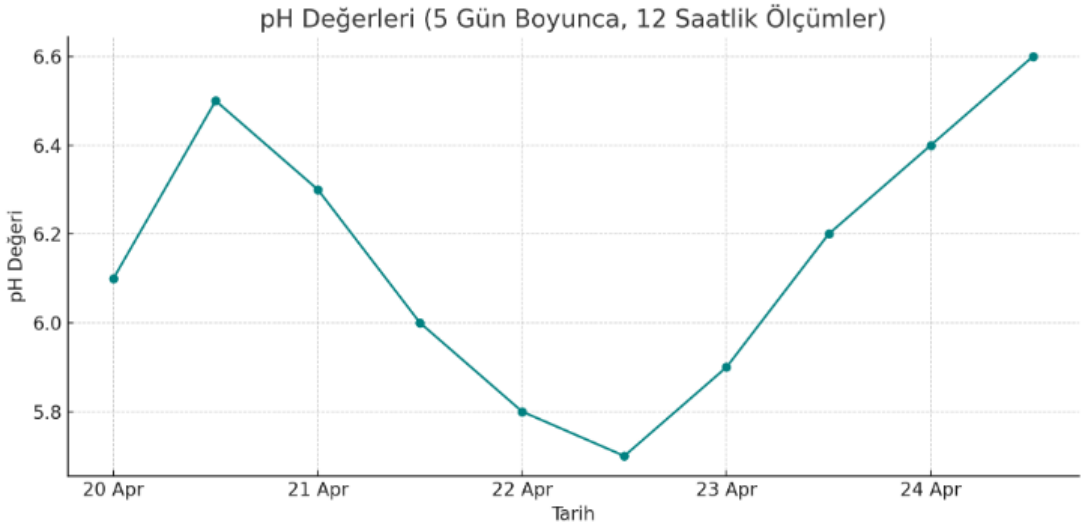
Şekil 4.6. MIT App Invertor uygulamasında 2. sayfa tasarımı



Şekil 4.7. MIT App Invertor uygulamasında 2. sayfa bloğu

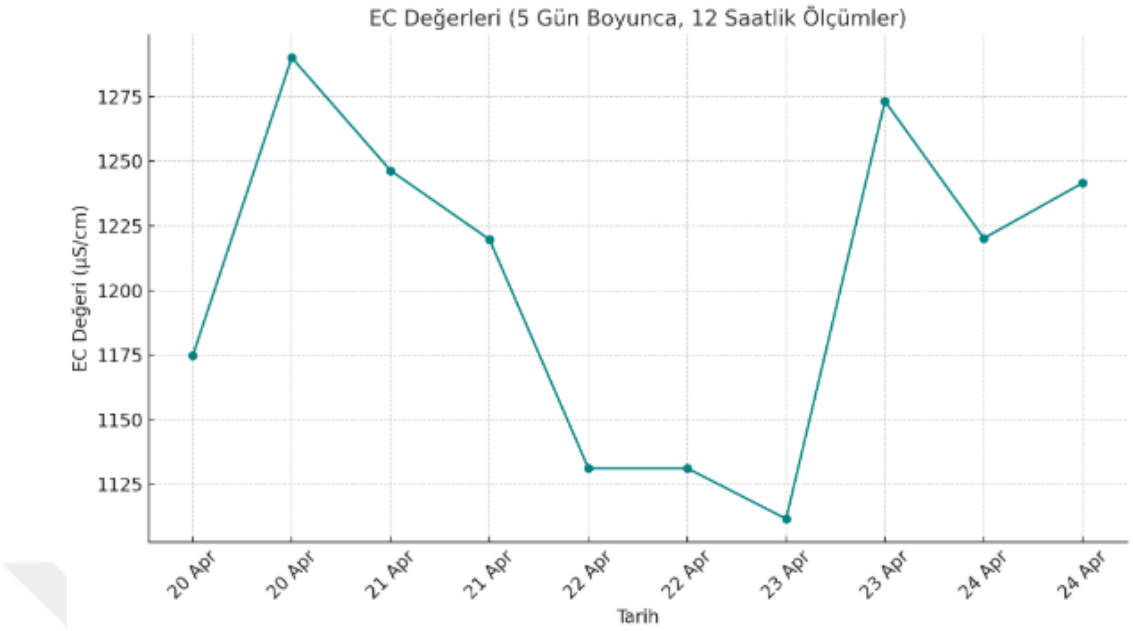
4.1. pH ve EC Verileri

Yapılan testlerde pH değeri 5.8–6.3 aralığında ölçülmüş, bu değerlerin marul gibi yeşil yapraklı sebzeler için ideal olduğu gözlemlenmiştir. EC değeri 1100–1300 µS/cm aralığında kaydedilmiş, bu da çözeltinin yeterli miktarda besin içerdiğini göstermektedir. Şekil 4.8.'de, hidroponik sistemde 5 gün boyunca 12 saat aralıklarla yapılan pH ölçümlerine ait değişim grafiği verilmiştir. pH değerlerinin zamanla dalgalandığı, özellikle 22 Nisan tarihinde minimum seviyeye ulaştığı, ardından artış eğilimine girdiği görülmektedir. Bu durum, sistemdeki çözeltinin zaman içinde dış etmenlere veya bitki alımına bağlı olarak asidik ya da bazik hale gelebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.8. pH değer aralıkları

Şekil 4.9'daki grafik, 5 gün boyunca (20 Nisan - 24 Nisan) 12 saatlik aralıklarla gerçekleştirilen EC ölçümlerini göstermektedir. Grafiğe göre, EC değerlerinin belirli bir dalgalanma gösterdiği ve ölçüm periyodu boyunca en yüksek değerine 20 Nisan tarihinde yaklaşık olarak 1285 µS/cm seviyesinde, en düşük değerine ise 23 Nisan tarihinde yaklaşık 1115 µS/cm seviyesinde ulaştığı gözlemlenmektedir. Ölçüm sonuçları, hidroponik sistemin besin çözeltisi konsantrasyonunda zaman içinde değişimler olduğunu ve bu durumun bitki gelişimini etkileyebilecek potansiyel dinamikleri barındırdığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.9. EC (Elektriksel İletkenlik) verileri

4.2. Işık Şiddeti Verileri ve RGB LED Kontrolü

Işık şiddeti sensörü sayesinde ortamdaki doğal ışık seviyesi izlenmiştir. Düşük ışık algılandığında RGB LED aydınlatması otomatik olarak aktif olmuş, 20 saniye boyunca yanarak bitkilere takviye ışık sağlamıştır. RGB LED'in renkleri, bitkilerin gelişim evresine uygun olarak mobil uygulama üzerinden ayarlanabilir şekilde tasarlanmıştır.

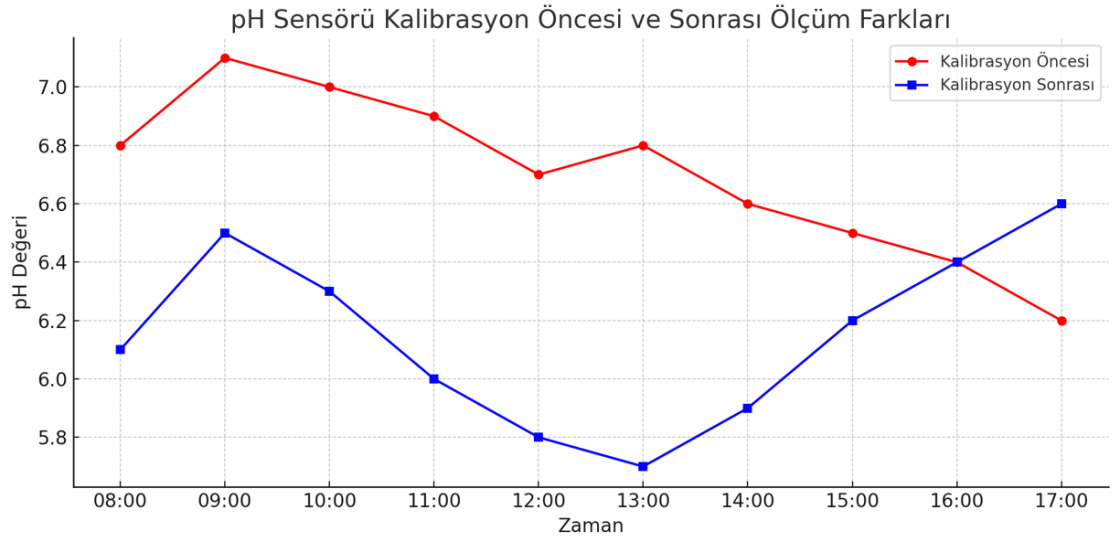
Çizelge 4.1. Işık şiddeti saatlik verileri

Saat	Beyaz Işık (lux)	Mor Işık (lux)
08:00	21000	3200
09:00	22500	3400
10:00	23500	3600
11:00	24000	3700
12:00	25000	3900
13:00	24500	3800
14:00	23000	3500
15:00	22000	3300
16:00	21000	3100
17:00	20000	3000

4.3. Kalibrasyon Sonuçları

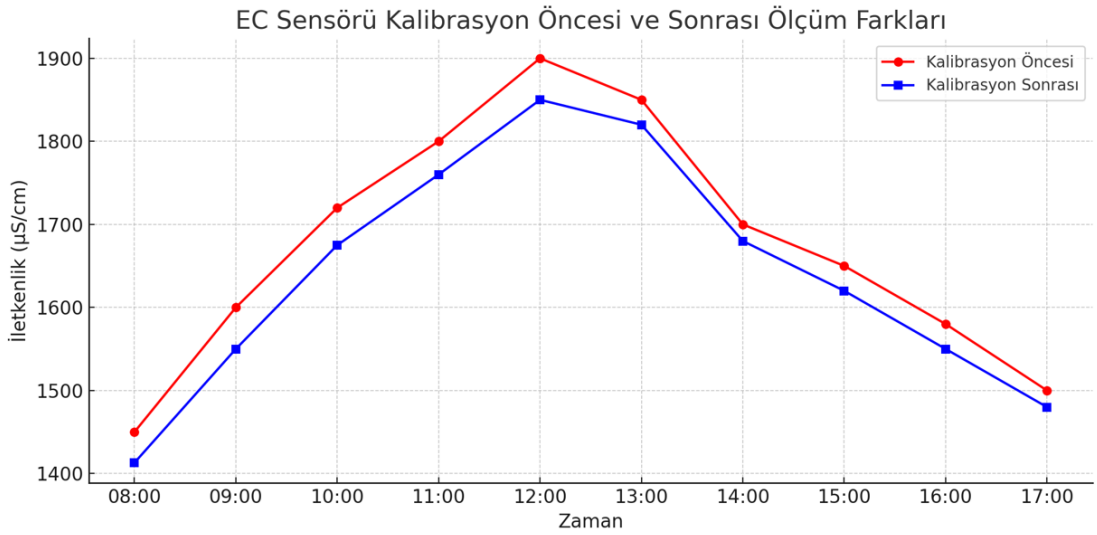
Kalibrasyon işlemi öncesinde pH sensörü, referans değerlerden sapmalar göstermekteydi ve özellikle 6.0 altındaki değerleri olduğundan yüksek ölçmekteydi. Bu durum, bitki yetiştiriciliği açısından kritik olan pH aralıklarının yanlış değerlendirilmesine neden olabilirdi.

Kalibrasyon sonrasında sensör verileri, referans ölçüm cihazlarıyla daha uyumlu hale gelmiş, özellikle düşük pH seviyelerinde doğruluk belirgin şekilde artmıştır (Şekil 4.10). Grafik üzerinde kırmızı çizgi kalibrasyon öncesi ölçümleri, mavi çizgi ise kalibrasyon sonrası düzeltilmiş ölçümleri temsil etmektedir. Bu düzeltme, sistemin genel güvenilirliğini ve karar destek doğruluğunu önemli ölçüde artırmıştır.



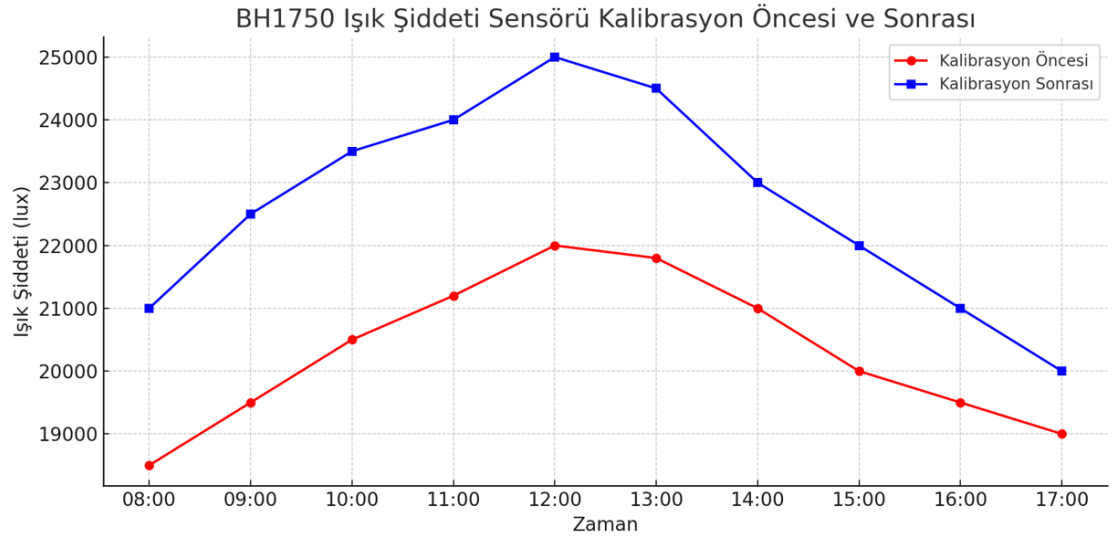
Şekil 4.10. pH sensörü kalibrasyon sonrası ve öncesi

Kalibrasyon öncesinde EC sensörü, özellikle yüksek iletkenlik seviyelerinde sapma göstermiştir (Şekil 4.11). Yapılan kalibrasyon sonucunda, ölçümlerdeki sistematik hata düzeltilmiş ve ticari EC ölçüm cihazı olan UniChrome Zauss TDS&EC meter ile uyum sağlanmıştır.



Şekil 4.11. EC sensörü kalibrasyon sonrası ve öncesi

BH1750 sensörü, özellikle yüksek ışık yoğunluklarında doğru ölçüm yapmada zorlanmakta ve değerleri olduğundan düşük raporlamaktaydı. Kalibrasyon sonrası düzeltme katsayıları uygulanarak sensör verileri, profesyonel lüksmetre ile büyük ölçüde örtüşecek şekilde optimize edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Işık şiddeti sensörü kalibrasyon sonrası ve öncesi

5. SONUÇ

Bu çalışmada geliştirilen hidroponik sistem, düşük maliyetli ve açık kaynak donanımlar kullanılarak, küçük ölçekli veya hobi amaçlı uygulamalar için gerçek zamanlı çevresel izleme ve uzaktan kontrol işlevlerinin başarıyla gerçekleştirilebileceğini ortaya koymuştur. ESP32 mikrodenetleyicisi ile entegre edilen pH, EC ve ışık şiddeti sensörleri sayesinde, kullanıcılar bitki gelişimi açısından kritik olan çevresel koşulları izleyebilmiş ve RGB LED aydınlatmayı bitkinin gelişim evresine uygun şekilde ayarlayabilmiştir.

Kalibrasyon işlemleri, özellikle düşük pH ve yüksek iletkenlik gibi zorlu ölçüm koşullarında sistemin doğruluğunu ve güvenilirliğini belirgin biçimde artırmıştır. MIT App Inventor kullanılarak geliştirilen mobil uygulama, Bluetooth üzerinden sistemle sorunsuz iletişim sağlayarak kullanıcı dostu ve sezgisel bir arayüz sunmuştur. RGB LED aydınlatma sistemi, düşük ortam ışığında otomatik olarak devreye girerek enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından katkı sağlamıştır.

Düşük maliyetli bileşenlerle başarılı sonuçlar elde edilmiş olsa da, sistemin daha geniş veya ticari ölçekli uygulamalara uyarlanabilmesi için bazı geliştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Daha dayanıklı ve yüksek IP koruma sınıfına sahip sensörlerin yanı sıra, otomatik kalibrasyon özelliklerinin entegrasyonu ve Wi-Fi ya da LoRa gibi uzun menzilli iletişim teknolojilerinin kullanımı, sistemin ölçeklenebilirliğini ve saha kullanımını önemli ölçüde artıracaktır.

Sonuç olarak, geliştirilen bu prototip sistem, akıllı hidroponik tarım uygulamaları için umut vadeden bir temel sunmaktadır. Etkin kaynak kullanımı, sağlıklı bitki gelişimi ve kontrollü ortam tarımı konusunda hem deneysel hem de eğitsel bir platform olarak değerlendirilebilecek bu yapı, gerekli iyileştirmelerle ticari iç mekân tarımı ve hassas bahçecilik uygulamalarına da uyarlanabilir potansiyele sahiptir.

KAYNAKLAR

Adelowokan, A. (2024). Evaluation of the efficiency of small-scale and low-cost hydroponic systems designed for household indoor vegetable production (Doctoral dissertation, Memorial University of Newfoundland).

Al Ajmi A, Salih AA, Kadim I, Othman Y. 2009. Yield and water use efficiency of barley fodder produced under hydroponic system in GCC counteries using tertiary treatedsewage effluents. Journal of phytology. 1(5) 342-348. https://agrifoodscience.com/index.php/TURJAF/article/download/859/370/6941

Austria, A.C. H., Fabros, J.S., Sumilang, K.R. G., Bernardino, J., & Doctor, A.C. (2023). Development of IoT Smart Greenhouse System for Hydroponic Gardens. International Journal of Computing Sciences Research, 7, 2111-2136. https://doi.org/10.25147/ijcsr.2017.001.1.149

Agrowy, Hidroponik tarımda, Bitki Yetiştiriciliği Rehberi, https://agrowy.com/yazilar/hidroponik-tarimda-bitki-yetisriciligi-rehberi

Bhat, A. G. (2021). Development and evaluation of small scale hydroponic green fodder production system (Doctoral dissertation, Department of Soil and Water Conservation Engineering, KCAET, Tavanur).

Bingöl, B. (2015). Dikey Tarım. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 11(2), 92-99. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/271789

Bingöl, B. 2019. Alternatif Tarım Yöntemleri; Aeroponik, Akuaponik, Hidroponik. Harman Time Dergisi, Aralık/2019, 7(82), 34-42, ISSN: 2147-6004.

Gaikwad, D. J., & Maitra, S. (2020). Hydroponics cultivation of crops. Protected cultivation and smart agriculture, 1, 279-287.

Harada, Y., Whitlow, T. H., Templer, P. H., Howarth, R. W., Walter, M. T., Bassuk, N. L., et al. (2018a). Nitrogen biogeochemistry of an urban rooftop farm. Front. Ecol. Evol. 6:153 https://doi.org/10.51753/flsrt.1357745

Hermawan, H., Uddin, N., & Darajat, T. (2022). A development of web application for hydroponic monitoring systems. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 348, p. 00024). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234800024

Lee, J., & Chuang, I. T. (2017). Living green shell: urban micro-vertical farm. In 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI) (pp. 1087-1090). IEEE.

Kumar, A., Thakur, V., Singh, J., & Rohilla, H. (2024). Hydroponics, a soilless gardening, a new way. In *Proceedings* (pp. 362–375).

Kularbphettong, K., Ampant, U., & Kongrodj, N. (2019*).* Development of hydroponics system using mobile application and IoT-based automatic system. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 10(12), 456–462.

Kushawaha, A., Shah, D., Vora, D., Zade, N., & Iyer, K. (2024). Urban small-scale hydroponics: A compact, smart home-based hydroponics system. MethodsX, 13, 102998.

Liu, Y., Xie, G., Yang, Q., & Ren, M. (2021). Biotechnological development of plants for space agriculture. Nature Communications, 12(1), 5998.

MEGEP Bahçecilik, Hidroponik Sistemler Ankara 2008
https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/hasan.akay/96855/Hidroponik%20Sistemler.pdf

Mir, M. S., Naikoo, N. B., Kanth, R. H., Bahar, F. A., Bhat, M. A., Nazir, A., ... & Ahngar,

T. (2022). Vertical farming: The future of agriculture: A review. The Pharma Innovation Journal, 11(2), 1175- 1195

Naresh, R., Jadav, S. K., Singh, M., Patel, A., Singh, B., Beese, S., & Pandey, S. K. (2024). Role of hydroponics in improving water-use efficiency and food security. International Journal of Environment and Climate Change, 14(2), 608-633.

NASA (2021). NASA Research Launches a New Generation of Indoor Farming. Launches_a_New_Generation_of_Indoor_Farming/ https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/spinoff/NASA_Research

Nguyen, M., Knowling, M., Tran, N. N., Burgess, A., Fisk, I., Watt, M., ... & Hessel, V. (2023). Space farming: Horticulture systems on spacecraft and outlook to planetary space exploration. Plant Physiology and Biochemistry. https://doi.org/10.51753/flsrt.1357745

Nikolov, N. V., Atanasov, A. Z., Evstatiev, B. I., Vladut, V. N., & Biris, S. S. (2023). Design of a small-scale hydroponic system for indoor farming of leafy vegetables. Agriculture, 13(6), 1191.

Patel, R., & Verma, S. (2021). Hydroponic farming in urban India: Challenges and opportunities for small-scale farmers. *South Asian Journal of Agriculture*, 27(2), 56–67.

Patil, N., Patil, S., Uttekar, A., & Suryawanshi, A. R. (2020). Monitoring of hydroponics system using IoT technology. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 7(06), 5.

Pomoni, D. I., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. G., & Vasiliadis, L. (2023). A review of hydroponics and conventional agriculture based on energy and water consumption, environmental impact, and land use. Energies, 16(4), 1690.

Popkova, E. G. (2022). Vertical farms based on hydroponics, deep learning, and AI as smart innovation in agriculture. In Smart innovation in agriculture (pp. 257-262). Singapore: Springer Nature Singapore.

Rathor, A. S., Choudhury, S., Sharma, A., Nautiyal, P., & Shah, G. (2024). *Role of vertical farming in food security and sustainability: A critical review*. Environmental Challenges, 9, 100882.
https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34998

Rai, P., Bansal, A., & Saini, R. (2020). Hydroponic systems in South Asia: Addressing food security and sustainable farming. *Journal of Agricultural Technology*, 19(1), 45–58.

Rajaseger, G., Chan, K. L., Tan, K. Y., Ramasamy, S., Khin, M. C., Amaladoss, A., & Haribhai, P. K. (2023). Hydroponics: current trends in sustainable crop production. Bioinformation, 19(9), 925.

Resifsera, Hidroponik Tarım Bitki, Topraksız Tarım, Bitki Yetiştirme Çeşitleri https://www.resifsera.com/bilgi-bankasi/hidroponik-tarim-topraksiz-tarim-bitki- yetistirme-cesitleri, Türk Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(9):793-799, 2016 https://agrifoodscience.com/index.php/TURJAF/article/download/859/370/6941

Ryu, J. H., Baek, J., & Subah, Z. (2025). A low-cost autonomous and scalable hydroponics system for space farming. HardwareX, e00625.

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. Journal of Soil and Water Conservation, 17(4), 364-371.

Shilpa, Sharma, P., & Bansuli. (2024). Hydroponics in vegetable crops: A review. Hydroponics: The Future of Sustainable Farming, 15-41.

Shin, K. K. Y., Ping, T. P., Ling, M. G. B., Jiun, C. C., & Bolhassan, N. A. B. (2024). SMART GROW–Low-cost automated hydroponic system for urban farming. HardwareX, 17, e00498.

Thapa, U., Hansda, N. N., Kundu, S., Giri, A., Tamang, D., & Rahaman, A. O. (2024). Advancements in hydroponic systems: a comprehensive review. Archives of Current Research International, 24(11), 317-328.

Van der V., Roos, J., & Groot, J. (2017). Agricultural innovation and policy support for hydroponics in the Netherlands. *Sustainability in Agriculture*, 31(2), 101–112.

Velasco, M. S. E., Lanot, H. J. A., Robles, J. M., Sacriz, K. M. D., Temporal, M. B., & Basilio, E. R. (2023). Understanding the Perceptions of Small-Scale Farmers Towards Hydroponics: A Thematic Analysis. International Journal of Environment, Engineering and Education, 5(2), 56-62.

Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Barceinas-Sanchez, J. D. O., & Sosa-Savedra, J. C. (2022). A review on hydroponics and the technologies associated for medium-and small-scale operations. Agriculture, 12(5), 646.

Verma, R. C., Sachan, P., Thilagam, P., Bahadur, R., Kumar, N., & Singh, B. V. (2023). Exploring hydroponics and the associated technologies for use in medium-and small-scale operations: A review.

Vikanksha, A. K., & Singh, J. (2023). Trends in hydroponics practice/technology in horticultural crops: A review. Int. J. Plant Soil Sci, 35(2), 57-65.

Yavuz, K., Toksöz, O., & Berber, D. (2023). Topraksız tarım teknolojileri gelecek için sürdürülebilir bir çözüm mü?. Frontiers in Life Sciences and Related Technologies, 4(3), 157-170.https://doi.org/10.51753/flsrt.1357745

Wheeler, R. M. (2017). Agriculture for space: People and places paving the way. Open Agriculture, 2(1), 14-32.

Wiggins, Z. D., Akaeze, O., Nandwani, D., & Witcher, A. (2020). Substrate properties and fertilizer rates on yield responses of lettuce in a vertical growth system. Sustainability (Switzerland), 12(16). https://doi.org/10.3390/su12166465

EKLER

EK 1 Proje Yazılım Aşamaları

```
#include <BluetoothSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>

BluetoothSerial myBT;
BH1750 lightMeter;

// Röle kontrol pinleri (RGB)
#define RED_RELAY    21
#define GREEN_RELAY  22
#define BLUE_RELAY   23

// pH ve EC sensör pinleri
const int pHSensorPin = 34;
const int ECSensorPin = 35;

// Işık şiddeti pin tanımı
#define SDA_PIN 18
#define SCL_PIN 19

unsigned long ledOnTime = 0;
bool ledIsOn = false;
```

//*----------Void Setup----------*//

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  myBT.begin("ESP32_Hidroponik");

  Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN); // BH1750 için I2C başlat GPIO18 (SDA),
GPIO19 (SCL)
  if (lightMeter.begin()) {
    Serial.println("BH1750 sensörü başlatıldı.");
  } else {
    Serial.println("BH1750 başlatılamadı. Kabloları kontrol et!");
    while (1);
  }

  // Röle pinlerini çıkış yap
  pinMode(RED_RELAY, OUTPUT);
```

```
  pinMode(GREEN_RELAY, OUTPUT);
  pinMode(BLUE_RELAY, OUTPUT);

  // Başlangıçta LED'ler kapalı
  setColor(false, false, false);
}
```

//*----------**Void Loop**----------*//

```
// Sensör verilerini oku
  int pHValue = analogRead(pHSensorPin);
  int ECValue = analogRead(ECSensorPin);

  float voltagePH = pHValue * (3.3 / 4095.0);
  float voltageEC = ECValue * (3.3 / 4095.0);

  float pH = 7 + ((2.5 - voltagePH) / 0.18);
  float EC = voltageEC * 5;

  float lux = lightMeter.readLightLevel(); // BH1750 ile ışık şiddeti oku

  // Bluetooth ile gönder
  myBT.print(pH, 2);
  myBT.print("|");
  myBT.print(EC, 2);
  myBT.print("|");
  myBT.println(lux, 1);

  // Seri ekrana yaz
  Serial.print("pH: ");
  Serial.print(pH, 2);
  Serial.print(" | EC: ");
  Serial.print(EC, 2);
  Serial.print(" | Işık Şiddeti: ");
  Serial.print(lux, 1);
  Serial.println(" lux");

  // Komut kontrol
  if (myBT.available()) {
    String cmd = myBT.readStringUntil('\n');
    cmd.trim();

    Serial.print("Gelen komut: ");
    Serial.println(cmd);
```

```
    if (cmd == "WHITE") {
      setColor(true, true, true);     // Beyaz = RGB açık
      ledOnTime = millis();
      ledIsOn = true;
    }
    else if (cmd == "MAGENTA") {
      setColor(true, false, true);    // Magenta = Kırmızı + Mavi
      ledOnTime = millis();
      ledIsOn = true;
    }
    else if (cmd == "OFF") {
      setColor(false, false, false);  // Her şey kapalı
      ledIsOn = false;
    }
  }

  // Otomatik LED kapatma (10 saniye)
  if (ledIsOn && millis() - ledOnTime >= 10000) {
    setColor(false, false, false);
    ledIsOn = false;
    Serial.println("LED otomatik olarak kapatıldı.");
  }

  delay(2000); // Sensör veri gönderme süresi
}

// Röle ile renk ayarı
void setColor(bool r, bool g, bool b) {
  digitalWrite(RED_RELAY, r ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(GREEN_RELAY, g ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(BLUE_RELAY, b ? HIGH : LOW);
}
```