



T.C.

**GAZİANTEP İSLAM BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

MOBİL AQUAPONİK SİSTEMLERİN OTOMASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adil CEYLAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yüksel TOKUR BOZKURT

**GAZİANTEP
EKİM 2025**

T.C.
GAZİANTEP İSLAM BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MOBİL AQUAPONİK SİSTEMLERİN OTOMASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adil CEYLAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yüksel TOKUR BOZKURT

GAZİANTEP
EKİM 2025

TEZ ONAYI

Adil CEYLAN tarafından, Dr. Öğr. Üyesi Yüksel TOKUR BOZKURT danışmanlığında hazırlanan “*Mobil Aquaponik Sistemlerin Otomasyonu*” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 01/10/2025 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı/Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan		Kabul
Doç. Dr. Hakan AÇIKGÖZ		Ret
Üye		Kabul
Doç. Dr. İpek ATİK		Ret
Üye		Kabul
Dr. Öğr. Üyesi Yüksel TOKUR BOZKURT		Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

.....

Lisansüstü Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırlamış olduğum yüksek lisans yeterlilik tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara uyduğumu ifade ederim. Çalışmada dolaylı olarak veya doğrudan kullanmış olduğum her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve faydalandığımı eserlerin Kaynaklar 'da gösterilenlerden meydana geldiğini, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun olarak yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde açıklanan durumlara aykırılık teşkil etmediğimi taahhüt ve beyan ederim.

20/10/ 2025

Adil CEYLAN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Mobil Aquaponik Sistemlerin Otomasyonu

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 20.10.2025 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : %

Tek kaynak oranı : % çıkmıştır.

İmza

20 /10/ 2025

Dr. Öğr. Üyesi Yüksel TOKUR BOZKURT

ÖZET

MOBİL AQUAPONİK SİSTEMLERİN OTOMASYONU

Adil CEYLAN

Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans, Ekim / 2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yüksel TOKUR BOZKURT

Ekim 2025, 54 Sayfa

21. yüzyılda temiz gıdaya erişim giderek zorlaşıyor. Bu duruma sebep olan etkenler; gıda kaynaklarının azalması, tarımsal ekim alanlarının daralması, iklim değişikliği, nüfus artışı, göçler, fiyat istikrarsızlıkları, su kaynaklarının azalması, gıda üretiminin uluslararası şirketlerin kontrolüne geçmeye başlaması ve tarımsal hastalıklar sayılabilir. Aquaponik sistemlerin yapay zekâya dayalı kontrolü ile ulaşılabilir alternatif gıda üretimi sağlanabilir. Akvakültürde, balık atıklarından kaynaklanan amonyağı kontrol etmek için suyun arıtılması gerekmektedir. Hidroponikte ise bitkiler için suya besin maddeleri eklenmelidir. Aquaponik'te bu iki sistem birleştirilerek balık atıkları, bitkiler için besin kaynağı görevi görür ve suyun balıklar için temizlenmesini sağlar. Sistem kontrolünde Esp32 kart ile Blynk uygulaması kullanılmıştır. Lepistes balığı ve çilek bitkisi, 28 gün boyunca oluşturulan otomatik sisteme dâhil edilmiştir. Balık tankı sıcaklığı 28°C bitki yatak sıcaklığı 26.5°C ve pH 6.55 ile 7.21 seviyesinde tutulmuştur. Otomatik yemlemeyle 11 -15 gr arasında günlük yemleme yapılmıştır. Balık tankı su seviyesi %95 ile %64 arasında tutulmuştur. Geliştirilen web ve mobil arayüz uygulamalarıyla mobil aquaponik sistemin gerçek zamanlı kontrolü sağlanmıştır. Sistemin verimliliği t testi yöntemi ile hesaplanmıştır. Çalışmanın geçerli olması için aquaponiğin bakımında hiçbir insan müdahalesi olmamıştır. IoT tabanlı mobil aquaponik sistemin pH seviyesi ve sıcaklığının istenen değerlerde tutulduğu gözlemlenmiştir. 4 hafta boyunca her 7 günde bir, Lepistes balığı ve bitki büyümesi izlenmiştir. Yapılan yurt içi ve yurtdışı çalışmalar ile sistemin verimliliği analiz edilip değerlendirme yapılmıştır. Kent yaşamındaki insanın balkon, teras, bodrum ve çatı gibi alanlarda yapay zekâ kontrollü ile hayvansal ve bitkisel temiz ve helal gıda üretimi yapılması öngörülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Mobil Aquaponik, Kentsel Tarım, Temiz Gıda

ABSTRACT

AUTOMATION OF MOBILE AQUAPONIC SYSTEMS

Adil CEYLAN

Gaziantep Islam Science and Technology University Institute of Graduate Studies

Department of Electrical Electronics Engineering Master's Thesis, October, 2025

Thesis Supervisor: Assist. Dr. Yüksel TOKUR BOZKURT

October 2025, 54 Pages

Access to clean food is becoming increasingly difficult in the 21st century. Factors contributing to this decline include declining food resources, shrinking agricultural land, climate change, population growth, migration, price instability, depleted water resources, the shifting control of food production to international corporations, and agricultural diseases. Artificial intelligence-based control of aquaponic systems can enable accessible alternative food production. In aquaculture, water purification is required to control ammonia from fish waste. In hydroponics, nutrients must be added to the water for the plants. In aquaponics, these two systems are combined, with fish waste serving as a nutrient source for the plants and purifying the water for the fish. System control was performed using the Blynk application with an Esp32 card. Guppy fish and strawberry plants were incorporated into the automated system for 28 days. Fish tank temperature was maintained at 28°C, plant bed temperature at 26.5°C, and pH between 6.55 and 7.21. Daily feeding was performed using automatic feeding systems, with a dose of 11-15 grams. The fish tank water level was maintained between 95% and 64%. Real-time control of the mobile aquaponic system was achieved through the developed web and mobile interface applications. System efficiency was calculated using the t-test method. For the validity of the study, no human intervention was involved in aquaponic maintenance. It was observed that the pH and temperature of the IoT-based mobile aquaponic system were maintained at the desired values. Guppy fish and plant growth were monitored every seven days for four weeks. The system's efficiency has been analyzed and evaluated through domestic and international studies. The plan is to produce clean and halal animal and plant-based food using AI-controlled technology in urban spaces such as balconies, terraces, basements, and rooftops.

Keywords: Mobile Aquaponics, Urban Agriculture, Clean Food

TEŞEKKÜR

Bu tez hazırlama aşamasında birlikte emek harcadığım sürece yanımda olan ve değerli desteklerini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yüksel TOKUR BOZKURT’a teşekkürlerimi borç bilirim.

Ömrüm boyunca hep yanımda bulunan ve sürekli bana destek olan sevgili eşime en derinden şükranlarımı sunarım.

Adil CEYLAN
GAZİANTEP-2025



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Aquaponik Sistemler ve Tarihçesi.....	1
1.2. Modern Aquaponik Sistemlerin Gelişimi	3
1.3. Ticari Örnekler	4
1.4. Gelişmekte Olan Ülkelerde Aquaponik Sistem Girişimleri	4
1.5. Ülkemizde Aquaponik Sistem Girişimleri	5
2. LİTERATÜR TARAMA VE GENEL AMAÇLAR.....	6
2.1. Mobil Aquaponik Sistem	6
2.2. Tespit Edilen Sorun Beyanı	6
2.3. Amaçlar.....	6
2.4. Aquaponik Sistemin Önemi	7
2.5. Aquaponikte Bitkiler	7
2.5.1. Temel Bitki Biyolojisi	8
2.5.2. Besin Gereksinimleri	9
2.5.2.1. Makro Besinler	10
2.5.2.2. Mikro Besinler	11
2.5.3. Bitkiler İçin Su Kalitesi	12
2.6. Aquaponikte Balıklar.....	13
2.6.1. Balık Anatomisi.....	13
2.6.2. Balık Üreme ve Yaşam Döngüsü	14
2.6.3. Balık Yemi ve Beslenmesi	15
2.6.4. Balıklar İçin Su Kalitesi.....	15
2.7. Kapsam ve Sınırlamalar	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Kullanılan Veri Seti	18
3.2. Parametreler ve Gereksinimler	19
3.2.1. Çilek.....	19
3.2.2. Lepistes Balık.....	19
3.2.3. Çilek Yetiştirilmesi.....	19
3.2.4. Lepistes Beslenmesi.....	20
3.3. Nesnelerin İnterneti	20

3.4. Esp32 Geliştirme Kartı	20
4. VERİ TOPLAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
4.1. Kavramsal Çerçeve.....	23
4.2. Donanım Geliştirme	23
4.3. Yazılım Geliştirme	25
4.4. Kontrol Edilen Değişkenler ve Sabitesi	26
4.5. Veri Toplama İçin Deneysel Prosedürler	27
5. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ VE DEĞERLENDİRME	29
5.1. Test Konusu	29
5.2. Test Süresi.....	30
5.3. Test Değişkenleri.....	30
5.4. Çilek Üretiminin Değerlendirilmesi ve Bulguların Tartışılması	36
5.5. Balık Üretiminin Değerlendirilmesi ve Bulguların Tartışılması	38
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	41
6.1. Sonuçlar	41
6.2. Öneriler	42
6.3. Genel Değerlendirme.....	43
7. KAYNAKÇA.....	44
8. ETİK KURULU KARARI.....	46
9. ÖZGEÇMİŞ	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

cm	Santimetre
gr	Gram
l	Litre
MHz	Mega Hertz
mS/cm	Elektriksel iletkenlik
ml	Mililitre
mg	Miligram
mm	Milimetre
pH	Asitlik veya Bazlık Derecesi

Kısaltmalar

ARK	Prototip Biyobarınak
ADC	Analog Dijital Dönüştürücü
B	Bor
Ca	Kalsiyum
CE	Elektriksel İletkenlik
CO ₂	Karbondioksit
Cu	Bakır
DAC	Dijital Analog Dönüştürücü
DSK	Derin Su Kültürü
DS18B20	Sıcaklık Sensörü
ESP32	Mikrodenetleyici Kart
Fe	Demir
H ₀	Sıfır Hipotezi
H ₂ O	Su
Ha	Alternatif Hipotez
IoT	Nesnelerin İnterneti
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Mn	Manganez
N	Azot
I/O	Giriş/Çıkış
O ₂	Oksijen
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
P	Fosfor
ROM	Salt Okunur Bellek
RAM	Rastgele Erişimli Bellek
RAS	Geri Dolaşım Su Ürünleri Yetiştiriciliği Sistemi
S	Kükürt
TAN	Toplam Amonyak Nitrojeni
WEB	Dünya Çapında Ağ
Zn	Çinko

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Aquaponik sistemler	1
Şekil 1.2. Meksika'nın Chinampaları.....	1
Şekil 1.3. Endonezya pirinç tarlalarında balıkla birlikte pirinç yetiştirilmesi	2
Şekil 1.4. Mini Ark'ın gelişmiş modeli	3
Şekil 1.5. Erzurum Üniversitesi su ürünleri fakülte aquaponik sistem.....	5
Şekil 3.1. Aquaponik sistem otomasyonu	18
Şekil 4.1. Kullanılan sistemin bulut topolojisi	23
Şekil 4.2. Kavramsal çerçeve.....	24
Şekil 4.3. Sensör ve aktüatörlerin kablolama şeması	24
Şekil 4.4. Gerçek otomatik aquaponik sistem	25
Şekil 4.5. Otomatik aquaponik mobil uygulaması	25
Şekil 4.6. Nesnelerin interneti sistem diyagramı.....	26
Şekil 4.7. Mobil aquaponik sistemin gerçek zamanlı sensör ölçümü	27
Şekil 5.1. Yaban çileği ve lepistes balığı büyüme gelişimi.....	35
Şekil 5.2. Farklı çalışmalar ile mobil aquaponik sistemin karşılaştırılması.....	40

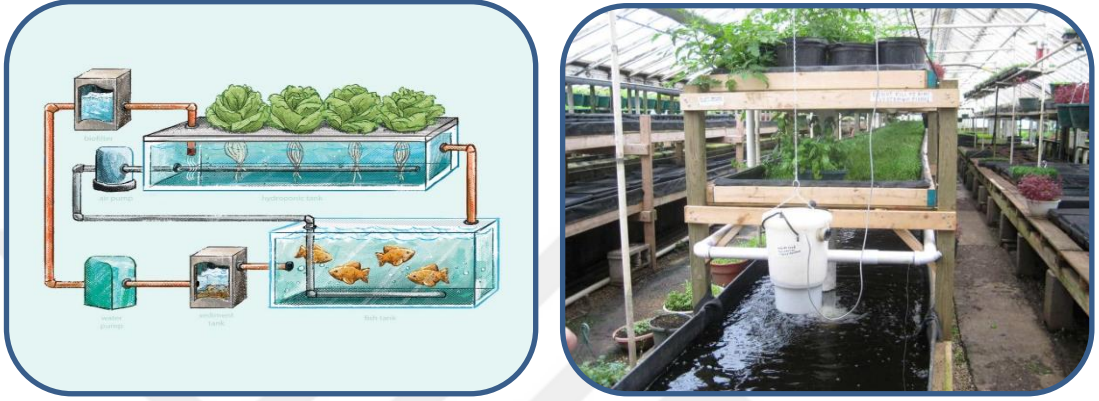
TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Esp32, Arduino Uno ve Raspberry Pi özellik karşılaştırma	21
Tablo 5.1. Mobil aquaponik sistem otomasyonu günlük ortalama balık yemi alımı, pH seviyesi, sıcaklık sensörü değerleri ve su seviyesinin veri kaydı	29
Tablo 5.2. Aquaponik sistem ve su kültüründe lepistes balığı ortalama büyümesi	30
Tablo 5.3. Lepistes balığı boy uzamasının T-Testi sonuçları	32
Tablo 5.4. Aquaponik ve hidroponik sistemlerde ortalama bitki büyümesi.....	33
Tablo 5.5. Yaban çileği boy uzamasının T-Testi sonuçları	34
Tablo 5.6. Bitki büyümesinin literatürdeki standart değerlerle ile karşılaştırılması	36
Tablo 5.7. Farklı bitki türlerinin büyümesine ait değerler	37
Tablo 5.8. Balık büyümesinin literatürdeki standart değerlerle ile karşılaştırılması	38

1. GİRİŞ

1.1. Aquaponik Sistemler ve Tarihçesi

Aquaponik sistem, topraksız bitki yetiştiriciliği ile balık havuzlarının entegre edildiği bir polikültür sistem kombinasyonudur. Aquaponik sistem, sürdürülebilir bir temelde bitki büyümesini, gıda üretimini, gıda egemenliğini ve gıda güvenliğini iyileştirmek için önemli bir potansiyel sunar (Bradley, 2014).



Şekil 1.1. Aquaponik Sistemler (Bradley, 2014)

Bitki ve balık üretimini bütünleşmiş bir sistemde birleştirme fikri çok eskiye dayanmaktadır. Entegre su ürünleri yetiştiriciliğinin en güzel örnekleri arasında Meksika'nın chinampaları ve Asya'nın bazı bölgelerindeki bütünleşmiş pirinç tarlaları sistemleri yer alır. Peki, bu kadim tarla sistemlerden aquaponik sistemlere nasıl geçildi? Aquaponik, 1970'lerde ortaya atılan bir terimdir; ancak uygulamanın kökeni çok eskilere dayanır; ancak ilk ortaya çıkışı konusunda bazı tartışmalar vardır.



Şekil 1.2. Meksika'nın Chinampaları (Bradley, 2014)

Bradley ve arkadaşlarına göre bu kolun en erken örneği, yaklaşık MS 1000 yılında bir gölün yüzeyinde sal üzerinde bitki yetiştiren Aztekler tarafından takip edilen ova mayaları olabilir. Aztekler, bazıları tarafından tarımsal kullanım için ilk aquaponik biçimi olarak kabul edilen bir sistemde chinampa olarak bilinen bir tarım adaları sistemi yetiştirdiler. Chinampalar, kanallardan gelen besin açısından zengin çamur ve suyu kullanarak adalarda ürün yetiştirdikleri kanallar ve sabit yapay adalar ağlarıdır. Erken chinampa sistemlerinde, bitkiler göl sığıllıklarındaki sabit (bazen hareketli) adalarda yetiştiriliyordu. Chinampa kanallarından ve çevre şehirlerden çıkarılan besin açısından zengin atık malzemeler daha sonra yukarıdaki bitkileri elle sulamak için kullanılıyordu (Bradley, 2014).

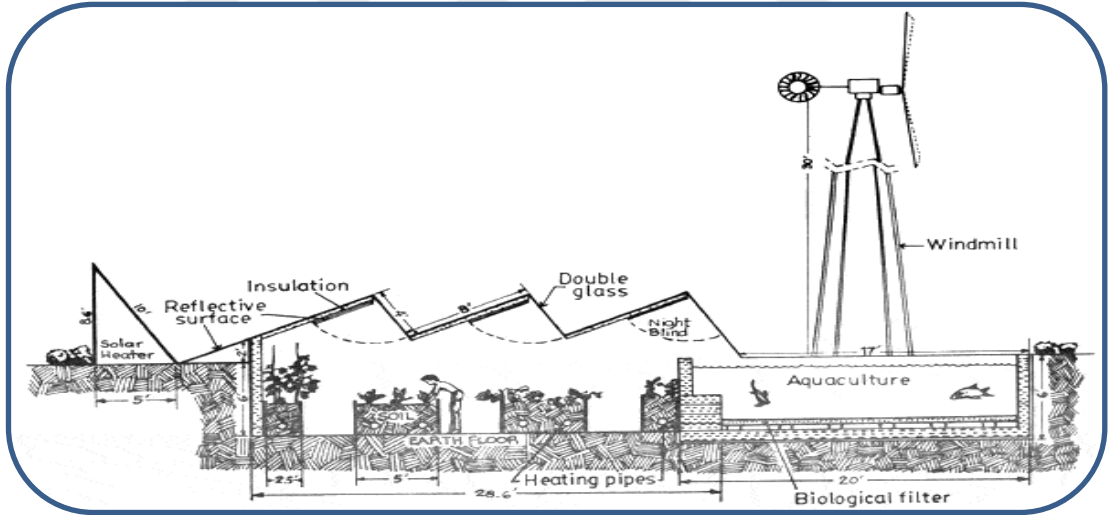


Şekil 1.3. Endonezya Balıkla Birlikte Pirinç Yetiştirilmesi (Bradley, 2014)

Başka bir dalın en erken örnekleri Güney Çin, Tayland ve Endonezya’da bulunmaktadır; buralarda pirinç tarlalarında balıkla birlikte pirinç yetiştirilmesi ve tarımı erken aquaponik sistemlere örnek olarak gösterilmektedir. Bu tür çok kültürlü tarım sistemleri birçok uzak doğu ülkesinde mevcuttu ve pirinç tarlalarında oryantal çopra balığı, bataklık yılan balığı, sazan ve havuz balığı ile gölet salyangozları gibi balıklar yetiştiriliyordu. Eski Çinliler, yüzgeçli balıkların, yayın balıklarının, ördeklerin ve bitkilerin simbiyotik bir ilişki içinde bir arada yaşadığı entegre bir su ürünleri yetiştiriciliği sistemi kullanıyorlardı. Ördekler yüzgeçli balık havuzlarının üzerindeki kafeslerde tutuluyordu ve yüzgeçli balıklar ördeklerin atıklarını işliyordu. Daha alttaki bir havuzda, yayın balıkları yüzgeçli balık havuzundan akan atıklarda yaşıyor. Sistemin alt kısmında yayın balığı havuzlarından gelen su, pirinç ve sebze tarlalarının sulanmasında kullanılıyordu (Bradley, 2014).

1.2. Modern Aquaponik Sistemlerin Gelişimi

Modern bağlamda, Aquaponik, balık çiftçilerinin karaya, suya ve diğer kaynaklara olan bağımlılıklarını azaltmaya çalışırken balık yetiştirme yöntemlerini keşfetmeleriyle su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinden ortaya çıkmıştır (John ve Nancy, 1969). Geleneksel olarak balıklar büyük göletlerde veya kıyı şeritlerinden uzaktaki ağ kafeslerde yetiştirilmektedir. Geçtiğimiz son 35 yılda geri dolaşimli su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri (RAS) konusunda çok ilerleme kaydedildi RAS'ın avantajı, balıkların çok daha yoğun bir şekilde stoklanabilmesidir. Dolayısıyla havuz veya ağ tabanlı sistemlerle aynı miktarda balığı yetiştirmek için suyun ve alanın çok daha az bir kısmı kullanılır. Dezavantajı ise hızla biriken büyük miktardaki atık su ve balıkların sağlıklı kalması için ihtiyaç duyulan antibiyotiklerdir. Bunların her ikisi de biyosferin geri kalanını etkiler. Hem RAS sistemlerinde hem de haliçlerde bulunan ağ tabanlı sistemlerde. 1969'da John ve Nancy Todd ve William McLarney New Alchemy Institute'u kurdular. Çabalarının doruk noktası bir prototip Bioshelter olan Ark'ın inşasıydı (John ve Nancy, 1969).



Şekil 1.4. Mini Ark'ın gelişmiş modeli (John ve Nancy, 1969)

Ark, dört kişilik bir ailenin balık, sebze ve barınak sağlamak için bütünsel yöntemler kullanarak yıl boyunca ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış, güneş enerjisiyle çalışan, kendi kendine yeten bir biyolojik barınaktı. Aynı zamanlarda, 1970'lerde, balık çiftliği sistemlerinde bitkilerin doğal filtre olarak kullanılması üzerine araştırmalar başladı. En dikkat çekeni Virgin Adaları Üniversitesi'nden Dr. James Rakocy'di. Rakocy ve meslektaşları büyük ölçekli bir aquaponik sistemde derin su kültürü hidroponik yetiştirme yataklarının kullanımını geliştirdiler. Bu arada

1980'lerin ortasında Mark McMurtry ve Profesör Doug Sanders bilinen ilk kapalı devre aquaponik sistemini yarattılar. Bu sistemde balık tanklarından gelen atık su, biyofiltre görevi de gören kum yetiştirme yataklarındaki domates ve salatalıkların damlama sulamasında kullanılıyordu. Kum yetiştirme yataklarından boşalan su, balık tanklarına geri döndürülüyordu. McMurtry'nin araştırması ve bulguları, aquaponik'in temelinde yatan arka plan biliminin çoğunu doğruladı ve işe yaradı (John ve Nancy, 1969).

1.3. Ticari Örnekler

İlk büyük ölçekli ticari aquaponik tesis olan Bioshelters, Amherst, Massachusetts'te 1980'lerin ortasında kuruldu ve bugün hala faaliyette. Daha sonra 1990'ların başında, Missouri çiftçileri Tom ve Paula Speraneo Biyoponik konseptlerini tanıttılar. Balık yetiştirdikleri 2200 litrelik bir tanktan gelen besin açısından zengin suyla sulanan gelgit çakıl yetiştirme yataklarında ot ve sebze yetiştirdiler. Çakıl yetiştirme yatakları onlarca yıldır hidroponik yetiştiriciler tarafından kullanılsa da, Speraneo ve arkadaşları bunları aquaponikte etkili bir şekilde kullanan ilk kişilerdi. Hatırlanacağı üzere, bundan önce kum, yeni ortaya çıkan aquaponik sistemlerde kullanılan ana yetiştirme ortamıydı. Sistemleri pratik ve üretkendi ve yaygın olarak taklit edildi. Evde aquaponiğin kökeni Speraneo'lara dayanmaktadır; dünyanın dört bir yanında kurulan birçok ev tabanlı sistem için sıçrama tahtası haline gelen bir nasıl yapılır kılavuzu yazmışlardır. Bu arada Kanada'da 1990'lı yıllar boyunca aquaponik sistemlerde artış görüldü; bu sistemler ağırlıklı olarak alabalık ve marul gibi yüksek değerli ürünler yetiştiren ticari tesislerdi (Somerville, 2014).

1.4. Gelişmekte Olan Ülkelerde Aquaponik Sistem Girişimleri

Karayipler'deki Barbados adası, ithal gıdalara olan bağımlılığı azaltmak amacıyla turistlere ürün satarak gelir elde ederek, ülkesinde aquaponik sistemler başlatmak için bir girişim başlattı. Bangladeş'te, Bangladeş Tarım Üniversitesi Mymensingh Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü'nden Profesör Dr. M.A. Salam liderliğindeki bir ekip, kimyasal içermeyen ürün ve balık sağlamak için düşük maliyetli bir aquaponik sistem için planlar oluşturdu. Bu girişim, tuzluluğa eğilimli güney bölgesi ve doğu bölgesindeki taşkın eğilimli Haor bölgesi gibi olumsuz iklim koşullarında yaşayan insanlara odaklanmıştır (Somerville, 2014).

1.5. Ülkemizde Aquaponik Sistem Girişimleri

Erzurum Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Abdulkadir Bayır liderliğindeki çalışma ekibi, 5 kıtadan 7 ülkedeki araştırmacılarla balık ve bitkilerin birlikte yetiştirildiği sistem olarak bilinen aquaponiki araştırmak ve yaygınlaştırmak için çalışma yapıyor (Bayır, 2023).



Şekil 1.5. Erzurum Üniversitesi Su Ürünleri Fakültede Aquaponik Sistem (Bayır, 2023)

Bayır ve ekibi, projede ilk olarak Sibirya mersin balığı ile marul yetiştiriciliğini denedi. Fakültenin Deneysel Araştırmalar Birimi'nde Sibirya mersin balığı üretimi yapılan tanklardaki atık su, marul üretiminde kullanılacak havuzlara aktarıldı. Havuz üzerine konulan straforlara marul tohumları yerleştirilerek üretim başlatıldı. Balıklara verilen yem, dışkı, bitkilerin yetiştirilmesinde gübre olarak kullanıldı. İlk denemelerde 45 günde ekilen marullar hasat edilecek düzeye geldi. Balıkların büyümesinin yüzde 70 oranında gerçekleştiği belirlendi. Üretilen ilk marulların hasadını yapan akademisyenler, ikinci dönem için marulla birlikte bir adet lale soğanı ekimi de gerçekleştirdi (Bayır, 2023).

2. LİTERATÜR TARAMA VE GENEL AMAÇLAR

2.1. Mobil Aquaponik Sistem

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü Aquaponik'i bitki ve balık yetiştiriciliğinin tek bir sistemde bütünleştirilmesi olarak tanımlamıştır. Su kültüründe, balık atıklarından gelen amonyağı kontrol etmek için su arıtılmalıdır. Hidroponikte ise suya bitkiler için besin maddeleri eklenmelidir. Aquaponik bu iki sistemi birleştirerek balık atıklarını bitkiler için besin görevi görür ve suyu temizler. Aquaponik, bitkilerin ve balıkların simbiyotik olarak birlikte büyüdüğü kapalı devre, tekrar dolaşan bir su sistemidir. Aquaponik sistem, kaynakların sınırlı hale geldiği günümüzde önemi artan sürdürülebilir bir teknolojidir. Gıda gibi ihtiyaç piramidinin temelinde radikal bir besin üretme yöntemi olan aquaponiğin uygulanabilirliği ayrıntılı olarak incelenmiştir (Somerville, 2014).

2.2. Tespit Edilen Sorun Beyanı

Aquaponik sistemin manuel kontrolünün zorlukları; balıkların beslenmesi, balık tankından yetiştirme yatağına veya tam tersine su döngüsünün sağlanması, sıcaklık ve pH seviyesinin korunması gibi zaman alıcı bir sistemdir. Üreticinin gözleme dayalı kontroldeki ihmali sistemin çökmesine neden olabilir. Bu nedenle, nesnelerin interneti kullanmadan, uzun süre gözetimsiz bırakmak sistemi zor ve bakımı külfetli hale getirir. Aquaponik sistemini otomatikleştirmek ve nesnelerin interneti (IoT) ile entegre etmek bu sorunları ortadan kaldıracaktır.

2.3. Amaçlar

Bu çalışmanın amacı, lepistes balığı ve çileğin simbiyotik olarak birlikte büyüdüğü kapalı devre aquaponik sistem oluşturmaktır. Esp32 kullanarak nesnelerin interneti aracılığıyla sistemin pH seviyesi ile sıcaklığına erişim ve kontrol sağlanacaktır. Böylelikle sistemde lepistes balığı ve dağ çileğinin büyümesi incelenecektir. Tez ile amaçlanan hedefler şunlardır;

- Suyun pH seviyesini, bitkinin ve suyun sıcaklığının kontrollü, bitki için ışık ve balıklar için otomatik yemliğin kontrolü ve sistemin suyunu otomatik olarak yeniden dolduran IoT tabanlı mobil aquaponik sistem inşa etmektir.
- Bir web ve mobil uygulama aracılığıyla otomatik aquaponik sisteme nesnelerin interneti ara yüzüne erişimi sağlamak.
- Uygulama ile aquaponik sistemin durumunu, balıkların gerçek zamanlı

görüntülerini, kontrolünü suyun pH seviyesini, suyun sıcaklığını, bitkilerin aydınlanma süresini ve balıkların otomatik yemliğı manuel olarak kontrol edilecektir.

- Otomatik aquaponik sistem ile geleneksel balık yetiştiriciliğinde lepestes balığının 4 haftalık büyüme uzunluğu farkını belirlemek.
- Otomatik aquaponik sistemde dağ çileğinin 4 haftalık büyüme uzunluğu farkını belirlemek.

2.4. Aquaponik Sistemin Önemi

Mobil Aquaponik sistemde nesnelerin interneti (IoT) kullanıldığında, sistemin evden veya internetin kullanıldığı herhangi bir yerden denetlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi ile zamandan tasarruf sağlanabilir. Mobil aquaponik sistem ile kontrollü bir ortamda balıklar ve bitkiler optimum koşullarında yetiştirilebilir. Ayrıca, Aquaponik kullanılarak yapraklı yeşil sebzeler ve tatlı su balıkları için ayrılmış tarım arazilerinin tükenmesine çözüm olabilir. Aynı anda iki ürün üretmek için gereken alan miktarı azalır. Aquaponik, hava koşullarından bağımsız olarak büyüme mevsimini yılda 365 güne uzatır. Mobil aquaponik sistem kapalı alanda olduğu için, öngörülemeyen iklim koşullarında tercih edilen bir çözümdür. Aquaponik ayrıca geleneksel çiftçiliğın akış ve buharlaşma nedeniyle kaybettiğı suyun büyük oranda korumaktadır (Somerville, 2014).

2.5. Aquaponikte Bitkiler

Bu bölümde, aquaponik sistemlerde başarılı bitki üretimi için gereken teori ve uygulama ele alınmaktadır. aquaponik için en önemli yönlere odaklanarak bazı temel bitki biyolojisi ve bitki beslenmesi kavramları tartışılmaktadır. Ardından, aquaponik ünitelerde yetiştirilecek sebzelerin seçilmesine yönelik öneriler hakkında kısa bir bölüm yer almaktadır. Son iki bölümde bitki sağlığı, bitki sağlığını koruma yöntemleri ve bitki yetiştirme alanından en iyi şekilde nasıl yararlanılacağına dair bazı tavsiyeler ele alınmaktadır. Birçok ticari aquaponik girişimde, sebze üretimi balıktan daha karlıdır. Ancak istisnalar vardır ve bazı çiftçiler özellikle değerli balıklardan daha fazla kazanmaktadır. Çoğunlukla Batıda ki ticari aquaponik ünitelerinden gelen tahminler, finansal kazançların %90'ının bitki üretiminden gelebileceğini göstermektedir. Bunun bir nedeni, sebzelerin balıklarla karşılaştırıldığında hızlı devir oranıdır (Somerville, 2014).

2.5.1. Temel Bitki Biyolojisi

Bu bölüm bitkinin ana kısımları hakkında kısa bir yorumda bulunmakta ve ardından bitki beslenmesini tartışmaktadır. Daha fazla tartışma bu yayının kapsamı dışındadır, ancak daha fazla bilgi kaynaklarda mevcuttur.

Kökler: Kökler topraktan su ve mineralleri emer. Küçük kök tüyleri kökten dışarı çıkarak emilim sürecine yardımcı olur. Kökler bitkinin toprağa tutunmasını sağlayarak devrilmesini önler. Kökler ayrıca gelecekte kullanılmak üzere ekstra yiyecek depolar. Topraksız kültürdeki kökler, standart yer altı bitkilerinden farklılıklar gösterir. Topraksız kültürde, bitkilere sürekli olarak su ve besin maddeleri sağlanır, bu da besin arama süreçlerinde kolaylık sağlar ve daha hızlı büyüyebilirler. Hidroponikte kök büyümesi, fosforun yoğun emilimi ve büyümelerini teşvik eden optimum iletimi için önemli olabilir. Köklerin bitkiler tarafından emilen demir, çinko ve diğer yararlı mikro besinleri içeren metallerin neredeyse yüzde 90'ını tuttuğunu belirtmekte fayda var.

Gövde: Saplar bitkinin ana destek yapısıdır. Ayrıca bitkinin tesisat sistemi olarak görev yapar, suyu ve besinleri köklerden bitkinin diğer kısımlarına iletir, aynı zamanda yapraklarından diğer bölgelere besin taşır.

Yapraklar: Bir bitkideki gıdanın çoğu yapraklarda üretilir. Yapraklar, bitkinin fotosentez adı verilen bir işlemle gıda üretmek için kullandığı güneş ışığını yakalamak üzere tasarlanmıştır. Yapraklar ayrıca suyun terlemesi için de önemlidir. Burada şunu ifade etmek gerekli bitki en iyi fotosentezi mor ışıktadır. Bu yüzden mobil aquaponik sistemlerin otomasyonunda mor ve gün ışığı led aydınlatma kullanılmıştır.

Çiçekler: Çoğu bitkinin üreme kısmıdır. Çiçekler polen ve ovül adı verilen minik yumurtalar içerir. Çiçeğin tozlaşması ve ovülün döllenmesinden sonra, ovül meyveye dönüşür. Topraksız tekniklerde, çiçeklenmeden önce potasyumun hızlı bir şekilde verilmesi bitkilerin daha iyi meyve ortamlarına sahip olmasına yardımcı olabilir.

Meyveler: tohum içeren çiçek yumurtalıklarının gelişmiş kısımlarıdır. Meyveler arasında elma, limon ve nar bulunur, ancak domates, patlıcan, mısır taneleri ve salatalık da bulunur. İkincisi, tohum içerdikleri için botanik anlamda meyve olarak kabul edilir, ancak bir mutfak tanımında genellikle sebze olarak

adlandırılırlar. Tohumlar bitkilerin üreme yapılarıdır. Meyveler bu tohumların yayılmasına yardımcı olur. Meyve veren bitkilerin yapraklı yeşil sebzelerden farklı besin gereksinimleri vardır. Özellikle daha fazla potasyum ve fosfora ihtiyaç duyarlar.

Fotosentez: Tüm yeşil bitkiler, fotosentez sürecini kullanarak kendi yiyeceklerini üretecek şekilde tasarlanmıştır. Fotosentez, oksijen, karbondioksit, su ve ışık gerektirir. Bitkinin içinde, atmosferdeki karbondioksiti (CO_2) parçalamak ve glikoz gibi yüksek enerjili şeker molekülleri oluşturmak için güneş ışığından gelen enerjiyi kullanan bir enzim olan klorofil içeren kloroplast adı verilen küçük organeller bulunur. Bu süreç için su (H_2O) esastır. Bu süreç oksijen (O_2) serbest bırakır ve tarihsel olarak atmosferdeki tüm oksijenden sorumludur. Bir kez oluşturulduktan sonra, şeker molekülleri bitki boyunca taşınır ve daha sonra büyüme, üreme ve metabolizma gibi tüm fizyolojik süreçler için kullanılır. Bitkiler geceleri büyüme için gereken enerjiyi üretmek için aynı şekerleri ve oksijeni kullanırlar. Bu sürece solunum adı verilir. Aquaponik sistemde her bitkinin ışığa erişebileceği bir yere harici aydınlatma ünitesi yerleştirmek büyük önem taşır. Bu, fotosentez için yeterli enerji sağlar. Sistem aracılığıyla köklere her zaman su sağlanmalıdır. Karbondioksit atmosferden serbestçe alınabilir, ancak çok yoğun iç mekân kültüründe bitkilerin kapalı alandaki tüm karbondioksiti kullanması ve havalandırmaya ihtiyaç duyması mümkündür (Somerville, 2014).

2.5.2. Besin Gereksinimleri

Bitkilerin fotosentez için temel gereksinimlere ek olarak, inorganik tuzlar olarak da adlandırılan bir dizi besine ihtiyacı vardır. Bu besinler, fotosentezi kolaylaştıran enzimler, büyüme ve üreme için gereklidir. Bu besinler topraktan elde edilebilir. Ancak, toprak olmadığında, bu besinlerin başka bir şekilde sağlanması gerekir. Aquaponikte, bu temel besinlerin tümü balık atıklarından gelir. İki ana besin kategorisi vardır: makro besinler ve mikro besinler. Her iki besin türü de bitkiler için gereklidir, ancak farklı miktarlarda. Altı makro besinin çok daha büyük miktarlarına, yalnızca eser miktarda ihtiyaç duyulan mikro besinlere kıyasla ihtiyaç duyulur. Bu besinlerin tümü katı balık atıklarında bulunsa da bazı besinler aquaponikte miktar olarak sınırlı olabilir ve eksikliklere neden olabilir, örneğin potasyum, kalsiyum ve demir. Her bir besinin işlevine dair temel bir anlayış, bitki büyümesini nasıl etkilediklerini bilmek çok önemlidir (Somerville, 2014).

2.5.2.1. Makro Besinler

Bitkilerin nispeten büyük miktarlarda ihtiyaç duyduğu altı besin maddesi vardır. Bu besinler azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve kükürttür. Aşağıdaki tartışma, bu makro besinlerin bitki içindeki işlevini ana hatlarıyla açıklamaktadır. Eksiklik belirtileri de sorunları belirlemeye yardımcı olmak için listelenmiştir.

Azot (N): Tüm proteinlerin temelidir. Yapıların inşası, fotosentez, hücre büyümesi, metabolik süreçler ve klorofil üretimi için gereklidir. Bu nedenle azot, havadan elde edilen karbon ve oksijenden sonra bir bitkideki en yaygın elementtir. Bu nedenle azot, aquaponik besin çözeltisindeki temel elementtir ve diğer besinler için ölçülmesi kolay bir ölçüt görevi görür. Genellikle çözünmüş azot nitrat formundadır, ancak bitkiler büyümelerini sağlamak için orta miktarda amonyak ve hatta serbest amino asitleri kullanabilirler. Azot eksikliği yaşlı yaprakların sararması, ince saplar ve zayıf canlılık içerir. Azot, bitki dokuları içinde yeniden tahsis edilebilir ve bu nedenle yaşlı yapraklardan harekete geçirilerek yeni büyümeye iletilir, bu nedenle eksikliğinde yavaş büyüme görülür. Aşırı azot, aşırı vejetatif büyümeye neden olabilir, bu da hastalıklara ve böcek zararlarına karşı hassas, yemyeşil, yumuşak bitkilerin oluşmasına yol açabilir, ayrıca çiçek ve meyve tutumunda zorluklara neden olabilir.

Fosfor (P): Bitkiler tarafından DNA'nın omurgası fosfolipid zarlarının yapısal bileşeni ve adenzin trifosfat (hücrelerde enerji depolama bileşeni) olarak kullanılır. Fotosentez, yağ ve şeker oluşumu için gereklidir. Fidelerde çimlenmeyi ve kök gelişimini teşvik eder. Fosfor eksiklikleri genellikle zayıf kök gelişimine neden olur çünkü enerji bitki boyunca düzgün bir şekilde taşınmaz; yaşlı yapraklar donuk yeşil veya hatta morumsu kahverengi görünür ve yaprak uçları yanmış görünür.

Potasyum (K): Zarlar boyunca kontrollü iyon akışı yoluyla hücre sinyalizasyonu için kullanılır. Potasyum ayrıca stoma açılmasını kontrol eder. Çiçek ve meyve oluşumunda rol oynar. Şeker üretimi ve taşınması, su alımı, hastalık direnci ve meyvelerin olgunlaşmasında rol oynar. Potasyum eksikliği, yaşlı yapraklarda yanık lekeleri ve zayıf bitki canlılığı olarak kendini gösterir. Potasyum olmadan çiçekler ve meyveler doğru şekilde gelişmez. Yaprakların kenarlarında damarlar arası sararma görülebilir.

Kalsiyum (Ca): Hem hücre duvarlarının hem de hücre zarlarının yapısal bir bileşeni olarak kullanılır. Gövdeleri güçlendirmede rol oynar. Kök gelişimine katkıda bulunur. Eksiklikler hidroponikte yaygındır ve kalsiyum bitki içinde hareketsiz olduğundan her zaman yeni büyümelerde belirgindir. Marulların uç yanığı ve domates ve kabakların çiçek ucu çürümesi eksikliğin örnekleridir. Genellikle, yeni yapraklar kancalı uçlar ve düzensiz şekillerle bozulur. Kalsiyum yalnızca aktif ksilem terlemesiyle taşınabilir, bu nedenle koşullar çok nemli olduğunda kalsiyum mevcut olabilir ancak bitkiler terlemediğinden kilitlenebilir. Havalandırma delikleri veya fanlarla hava akışını artırmak bu sorunu önleyebilir. Kalsiyum karbonat eklenmesi veya pH kontrolü aquaponikte kalsiyumu desteklemek için kullanılabilir.

Magnezyum (Mg): Klorofil moleküllerindeki merkez elektron alıcısıdır ve fotosentezde önemli bir unsurdur. Eksiklikler, özellikle bitkinin yaşlı kısımlarında, damarlar arasındaki yaprakların sararması olarak görülebilir. Magnezyum konsantrasyonu bazen aquaponikte düşük olsa da sınırlayıcı bir besin maddesi gibi görünmemektedir ve sisteme magnezyum eklenmesi genellikle gereksizdir.

Kükürt (S): Klorofil ve diğer fotosentetik enzimler de dahil olmak üzere bazı proteinlerin üretimi için gereklidir. Kükürt bazı proteinlerin üçüncül yapısına katkıda bulunur. Eksiklikler nadirdir, ancak yeni büyümede tüm yapraklar sararabilir, sertleşebilir, kırılabilir ve düşebilir (Somerville, 2014).

2.5.2.2. Mikro Besinler

Aşağıda yalnızca eser miktarda ihtiyaç duyulan besinlerin bir listesi bulunmaktadır. Demir, manganez ve çinko gibi çoğu mikro besin eksikliği yaprakların sararmasına neden olur. Bakır eksikliği ise yaprakların yeşil renginin koyulaşmasına neden olur.

Demir (Fe): Kloroplastlarda ve elektron taşıma zincirinde kullanılır ve düzgün fotosentez için kritik öneme sahiptir. Eksiklikler, ara sıra sararma olarak görülür, ardından tüm yapraklar soluk sarıya döner. Demir hareket ettirilemeyen bir element olduğundan, yeni yapraklar soluk sarıya yakın bir renk görünüyorsa demir eksiklikleri kolayca tespit edilir. Demir, pH 7'den büyük olduğunda çökelmeye meyillidir Eksikliklerden şüphelenildiğinde önerilen ekleme, 1 m² yetiştirme yatağı başına 5 mililitredir; daha büyük bir miktar sisteme zarar vermez, ancak tankların ve boruların renginin bozulmasına neden olabilir.

Manganez (Mn): Fotosentez sırasında suyun parçalanmasını katalize etmek için kullanılır. Bu nedenle manganez tüm fotosentez sistemi için önemlidir. Eksikliğinde azalan büyüme oranları, donuk gri bir görünüm ve yeşil kalan damarlar arasında ara sıra sararma ve ardından nekroz olarak kendini gösterir. Semptomlar demir eksikliklerine benzer. Manganez alımı pH 8'den büyük olduğunda çok zayıftır.

Bor (B): Bir tür moleküler katalizör olarak kullanılır, özellikle yapısal polisakkaritler ve glikoproteinler, karbonhidrat taşınması ve bitkilerde bazı metabolik yolların düzenlenmesinde rol oynar. Ayrıca hücreler tarafından üreme ve su alımında da rol oynar. Eksikliğinde, eksik tomurcuk gelişimi ve çiçek oluşumu, büyüme kesintisi, uç nekrozu, gövde ve kök nekrozu olarak görülebilir.

Çinko (Zn): Enzimler ve klorofil tarafından kullanılır. Genel olarak bitki boyutunu, büyümesini ve olgunlaşmasını etkiler. Eksikliğinde zayıf canlılık, azalmış yaprak boyutu ile bodur büyüme olarak fark edilebilir.

Bakır (Cu): Bazı enzimler tarafından, özellikle üremede kullanılır. Ayrıca gövdeleri güçlendirmeye yardımcı olur. Eksikliğinde arasında kahverengi veya turuncu yaprak uçları, meyvelerin azalan büyümesi yer alabilir. Bazen bakır eksikliği anormal derecede koyu yeşil büyüme olarak görülür (Somerville, 2014).

2.5.3. Bitkiler İçin Su Kalitesi

pH: Bir aquaponik sistemdeki bitkiler için en önemli parametredir. Çünkü bitkinin besinlere erişimini etkiler. Genel olarak, çoğu bitkinin tolerans aralığı 5,5-7,5'tir. Alt aralık balık ve bakterilerin toleransının altındadır ve çoğu bitki hafif asidik koşulları tercih eder. pH bu aralığın dışına çıkarsa, bitkiler besin kilitlenmesi yaşarlar; bu, besinler suda mevcut olsa bile bitkilerin bunları kullanamadığı anlamına gelir. Özellikle demir, kalsiyum ve magnezyum için geçerlidir. Bazen, bitkilerdeki belirgin besin eksiklikleri aslında sistemin pH'nın optimum aralığın dışında olduğunu gösterir. pH seviyesi ile bitkilerin belirli besinleri alabilme yeteneği arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Ancak, besin kilitlenmesinin aquaponik sistemlerde hidroponik sistemlere göre daha az olduğuna dair kanıtlar vardır. Hidroponik yarı steril bir girişim iken, akvaponik bütün bir ekosistemdir. Bu nedenle, bitki kökleri, bakteriler ve mantarlar arasında daha yüksek pH seviyelerinde bile besin alımına izin verebilecek biyolojik etkileşimler meydana gelir. Ancak, en iyi eylem yolu pH'ı hafif asidik (6-7) tutmaya çalışmaktır.

Çözünmüş Oksijen: Çoğu bitkinin suda yüksek seviyelerde (çözünmüş oksijen > 3 mg/litre) ihtiyacı vardır. Bitkiler solunum sırasında oksijeni emmek için gövdelerini ve yapraklarını kullanırlar, ancak köklerin de oksijene ihtiyacı vardır. Oksijen olmadan bitkiler kök çürümesi yaşayabilir, bu da köklerin öldüğü ve mantarın büyüdüğü bir durumdur.

Sıcaklık: Çoğu sebze için uygun sıcaklık aralığı 18-30 °C'dir. Ancak, bazı sebzeler belirli koşullarda büyümeye çok daha uygundur. Bu çalışma amaçları doğrultusunda, kış sebzeleri 8-20 °C, yaz sebzeleri ise 17-30 °C sıcaklık gerektirir. Örneğin, birçok yapraklı yeşil sebze daha serin koşullarda (14-20 °C), özellikle geceleri daha iyi büyür. 26 °C ve üzeri yüksek sıcaklıklarda, yapraklı yeşillikler çiçek açmaya ve tohum vermeye başlar, bu da onları acı ve pazarlanamaz hale getirir. Genellikle, bitkiler üzerinde hava sıcaklığından çok su sıcaklığının etkisi vardır. Yine de, optimum su sıcaklığı aralıklarını karşılamak için bitki ve balıkların doğru seçimine dikkat edilmelidir. Kısa gün bitkileri olarak adlandırılan bazıları, çiçeklenmeden önce belirli miktarda karanlığa ihtiyaç duyar. Bitkiye verilen bu sinyal, kışın yaklaştığını ve bitkinin büyümek yerine enerjisini üremeye harcadığını gösterir. Yaygın olarak yetiştirilen bazı kısa gün bitkileri arasında biber çeşitleri ve belirli tıbbi çiçekler bulunur.

Amonyak, nitrit ve nitrat: Amonyak, nitrit ve nitrat, bitkiler azotun bu üç formunu da alabilirler. Ancak nitrat en erişilebilir olanıdır. Amonyak ve nitrit balıklar için çok toksiktir. Her zaman 1 mg/litrenin altında tutulmalıdır. Aquaponik sistemde, amonyak ve nitrit 1 mg/litrenin altında olduğunda bitkiler için sorun oluşturmamaktadır (Somerville, 2014).

2.6. Aquaponikte Balıklar

2.6.1. Balık Anatomisi

Balıklar, solungaçları olan ve suda yaşayan çeşitli omurgalı hayvan grubudur. Tipik bir balık, sudan oksijen almak için solungaçlarını kullanırken aynı zamanda karbondioksit ve metabolik atıkları serbest bırakır. Tipik balık ektotermiktir veya soğukkanlıdır, yani vücut sıcaklığı su sıcaklığına göre dalgalanır. Balıklar, karasal hayvanlarla hemen hemen aynı organlara sahiptir; ancak bir yüzme kesesi de vardır. Karında konumlanan bu, hayvanı suda nötr bir şekilde yüzdüren hava içeren bir keseciktir. Çoğu balık hareket için yüzgeçlerini kullanır ve suda gezinmek için aerodinamik bir vücuda sahiptir. Genellikle derileri koruyucu pullarla kaplıdır. Çoğu

balık yumurtlar. Balıkların görmelerini, tatmalarını, duymalarını, koklamalarını ve dokunmalarını sağlayan iyi gelişmiş duyu organları vardır. Ayrıca çoğu balığın, sudaki basınç farklılıklarını algılayan yanal çizgileri vardır. Bazı gruplar, av türlerinin kalp atışları tarafından oluşturulanlar gibi elektrik alanlarını bile tespit edebilir. Ancak merkezi sinir sistemleri kuşlarda veya memelilerde olduğu kadar iyi gelişmemiştir (Somerville, 2014).

2.6.2. Balık Üreme ve Yaşam Döngüsü

Hemen hemen tüm balıklar, annelerinin vücudu dışında gelişen yumurtalar bırakır; aslında, bilinen tüm balıkların %97'si yumurtlayan balıklardır. Yumurtaların balık biyolojisinde milt olarak bilinen sperm tarafından döllenmesi de çoğu durumda dışarıda gerçekleşir. Erkek ve dişi balıklar her ikisi de cinsiyet hücrelerini suya bırakır. Bazı türler yuvaları korur ve yumurtalara ebeveyn bakımı ve koruma sağlar, ancak çoğu tür döllenmiş yumurtalarla ilgilenmez ve bunlar basitçe su sütununa dağılır. Tilapialar, yuvaları korumak ve yavruları dişilerin ağzında kuluçkaya yatırmak için zaman harcayan kapsamlı ebeveyn bakımına sahip balıklara bir örnektir. Balıkların üreme organları arasında sperm üreten testisler ve yumurta üreten yumurtalıklar bulunur. Bazı balıklar hermafrodittir. Yaşam döngülerinin farklı aşamalarında sahiptirler.

Yavru balıklar katı yiyecekler yemeye başlar. Vahşi doğada, bu yiyecek genellikle su sütununda bulunan plankton ve substrattan gelen alglerdir. Bu aşamalarda balıklar obur yiyicilerdir ve günde vücut ağırlıklarının yaklaşık %10'u kadar yiyecek yerler. Balıklar büyümeye devam ettikçe, günlük vücut ağırlığına düşen yiyecek yüzdesi azalır. Yavru, parmak balık ve yetişkin balıklar arasındaki kesin sınırlar türe ve çiftçiye göre farklılık gösterir. Genellikle yavru, parmak balık ve genç balıklar, daha büyük balıkların daha küçük balıkları yemesini önlemek için ayrı tutulmalıdır. Büyüme aşaması, aquaponiğin tipik olarak odaklandığı aşamadır. Çünkü bu aşamada balıklar bitkiler için yemek yer, büyür ve atıklarını dışarı atar. Çoğu balık büyüme aşamasında hasat edilir. Balıkların bu aşamayı geçmesine izin verilirse, cinsel olgunluğa ulaşmaya başlarlar ve burada balıklar cinsel organlarının gelişimine daha fazla enerji harcadıkça fiziksel büyümeleri yavaşlar. Üreme operasyonları sırasında bazı olgun balıkların döngüyü tamamlaması gerekir ve bu balıklara genellikle anaç balık denir. İpistesler son derece kolay üreyen balıklardır ve aslında küçük ölçekli bir sistem için çok fazla üreyebilirler. Yayın balığı, sazan

balığı ve alabalık daha dikkatli bir yönetim gerektirir.

2.6.3. Balık Yemi ve Beslenmesi

Balıkların büyümeleri ve sağlıklı olmaları için doğru protein, karbonhidrat, yağ, vitamin ve mineral dengesine ihtiyaçları vardır. Bu tür yemler tam yem olarak kabul edilir. Ticari olarak temin edilebilen balık yemi peletleri, özellikle başlangıçta, küçük ölçekli aquaponik için uygundur. Üretilen yemlere sınırlı erişimin olduğu yerlerde balık yemi oluşturmak mümkündür. Ancak, bu ev yapımı yemler özel ilgi gerektirir. Genellikle tam yem değildirler ve temel besin bileşenlerinden yoksun olabilirler. Protein, balık kütlesini oluşturmak için en önemli bileşendir. Büyüme aşamalarında, lepistes ve sazan gibi hepçil balıkların diyetlerinde %25-35 oranında proteine ihtiyacı varken, etçil balıkların optimum seviyelerde büyümeleri için %45'e kadar proteine ihtiyacı vardır. Genel olarak, daha genç balıklar (yavrular ve parmak balıklar) büyüme aşamasına göre protein açısından daha zengin bir diyet ihtiyacı duyarlar. Proteinler, tüm canlı organizmalardaki enzimlerin temelidir. Proteinler, bazıları balıkların vücutları tarafından sentezlenen, ancak diğerleri yiyeceklerden elde edilmesi gereken amino asitlerden oluşur. Bunlara esansiyel amino asitler denir. Esansiyel amino asitlerden metiyonin ve lizinin balıklar tarafından alınabilmeleri için sebze bazlı yemlerle desteklenmesi gerekir. (Somerville, 2014).

2.6.4. Balıklar İçin Su Kalitesi

Azot: Amonyak ve nitrit balıklar için son derece toksiktir. Bazen "görünmez katiller" olarak anılırlar. Amonyak ve nitrit, 1 mg/litre seviyelerinin üzerinde toksik olarak kabul edilir, ancak bu bileşiklerin herhangi bir seviyesi balık stresine ve olumsuz sağlık etkilerine katkıda bulunur. Deneyimli bir aquaponik sistemde bu ikisinin de tespit edilebilir seviyeleri neredeyse sıfır olmalıdır. Biyofiltre, bu toksik kimyasalları daha az toksik bir forma dönüştürmekten tamamen sorumludur. Tespit edilebilir herhangi bir seviye, sistemin yetersiz boyutlu bir biyofiltre ile dengesiz olduğunu veya biyofiltrenin düzgün çalışmadığını gösterir. Amonyak, sıcak bazı koşullarda daha toksiktir; pH yüksekse, tespit edilebilir herhangi bir amonyak miktarı özellikle tehlikelidir. Amonyak için su testlerine toplam amonyak nitrojeni (TAN) adı verilir ve her iki amonyak türü (iyonize ve iyonize olmayan) için test yapılır. Amonyak ve nitrit zehirlenmesinin belirtileri genellikle balık gövdesinde, solungaçlarda ve gözlerde kırmızı çizgiler, tankın kenarlarında sıyrıklar, hava almak için yüzeye doğru çırpınma, uyuşukluk ve ölüm olarak görülür. Öte yandan nitrat

çoğu balık için çok daha az toksiktir. Çoğu tür 400 mg/litreden daha yüksek seviyeleri tolere edebilir.

pH: Balıklar oldukça geniş bir pH aralığını tolere edebilir, ancak 6,5-8,5 seviyelerinde en iyi performansı gösterirler. 12-24 saatlik bir süre içinde 0,3'lük pH'ta meydana gelen değişiklikler balıklar için sorunlu hatta ölümcül olabilir. Bu nedenle, pH'ı mümkün olduğunca sabit tutmak önemlidir. Büyük pH dalgalanmalarını önlemek için karbonatla tamponlama önerilir.

Çözünmüş Oksijen: Genel olarak, aquaponik sisteme mümkün olduğunca fazla çözünmüş oksijen eklenmelidir. Pratikte, çoğu balık 4-5 mg/litre gerektirir. Çoğu yerli yetiştiricinin kontrol etme yeteneği yoktur. Ünitelerindeki oksijen seviyesi, dijital oksijen ölçerler pahalı olduğundan ve daha ucuz akvaryum test kitleri yaygın olarak bulunmadığından önerilere uymak yeterli çözünmüş oksijen seviyelerini sağlar. Bin litre suya 20 kg'dan fazla lepestes balığı eklemekten kaçınılmalıdır. Sisteme geri düşen kademeli su ile dinamik su akışı, suyun havalandırılmasına ve çözünmüş oksijen eklenmesine yardımcı olur. Mümkünse hava pompaları kullanılmalıdır. Önerilen hız, balık tankındaki farklı yerlerdeki en az 2 hava taşıdan gelen her metreküp su için dakikada 5-8 litre havadır. Yoğun şekilde doldurulmuş üniteler önemli ölçüde daha fazlasına ihtiyaç duyabilir. Suyun çok kuvvetli bir şekilde veya balıkların yüzmesini engelleyecek şekilde sistem dizayn edilmelidir. Oksijen eksikliğinin açık bir işareti, balıkların yüzeyde hava için çırpınmasıdır. Borulama adı verilen bu davranış, balıkların su yüzeyine yakın yüzdüğü ve ağızlarına hava aldığı zamandır. Bu, hemen ilgilenilmesi gereken acil bir durumdur.

Sıcaklık: Balıklar soğukkanlı hayvanlardır. Bu nedenle geniş bir su sıcaklığı aralığına uyum sağlama yetenekleri düşüktür. Doğru tolerans aralığı içindeki sabit bir sıcaklık, balıkları optimum koşullarında tutar ve hızlı büyümeye yardımcı olur. Ayrıca optimum sıcaklıklar hastalık riskini azaltır. Isı yalıtımı, su ısıtıcıları ve soğutucular sabit bir sıcaklık seviyesine ulaşmaya yardımcı olur. Ancak bunlar enerjinin pahalı olduğu bölgelerde maliyetli olabilir. Genellikle yerel çevre koşullarına adapte olmuş balıklar yetiştirmek daha iyidir. Her balığın, çiftçi tarafından araştırılması gereken optimum bir sıcaklık aralığı vardır. Genellikle tropikal balıklar 22-32 °C'de gelişirken, soğuk su balıkları 10-18 °C'yi tercih eder. Bu arada bazı ılıman su balıklarının geniş aralıkları vardır, örneğin sazan ve iri ağızlı

levrek 5-30 °C'ye dayanabilir.

Işık ve Karanlık: Balık tankındaki ışık seviyesi, yosun oluşumunun önlenmesi için azaltılmalıdır. Ancak, tamamen karanlık olmamalıdır. Çünkü tamamen karanlık bir tank da balıklar korku ve stres yaşar. İdeal koşullar, gölgeleme yoluyla dolaylı doğal ışıktır, bu hem yosun oluşumunu önler hem de balıkların stres girişini önler. Ayrıca balık stresini en aza indirme için balıkların toplanması veya sınıflandırılması önerilir.

2.7. Kapsam ve Sınırlamalar

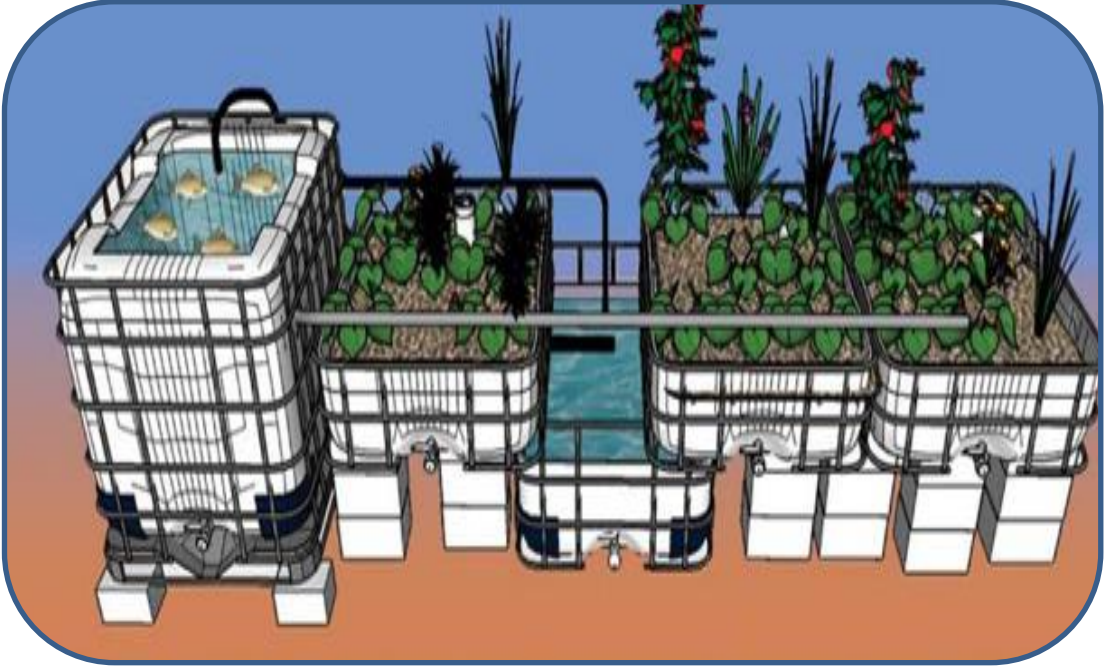
Bu çalışma sadece derin su kültürü yöntemi veya küçük ölçekli bir sistemde yüzen lepistes balığı ve dağ çileği meyvesinin büyümesinin incelenmesini dikkate alacaktır. Bu çalışma sadece 4 ile 5 cm başlangıç yüksekliğine sahip çileği fideleri ile 2,5 ile 2,7 cm başlangıç uzunluğuna sahip lepistes balığı yavrularını deney için kullanılmaktadır. Test sadece dört haftalık bir zaman diliminde yapılmıştır. Bu çalışma sadece sistemin belirli parametrelerini korumaya odaklanmıştır. Bunlar pH seviyesi, sistemin sıcaklığı ışık rengi ve seviyesi dâhildir. Nesnelerin interneti IoT gibi desteklenen Esp32 teknolojiler kullanılmıştır. Bu çalışma ayrıca nitrifikasyon konusunu ve pH seviyesi ve sıcaklık dışındaki diğer parametrelerin denetlenmesini de göz önünde bulundurmamaktadır (Somerville, 2014).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Veri Seti

Sebze, bitki ve meyvenin aquaponikte üretiminde, su ürünleri yetiştiriciliğinden atık sudan gelen besin maddeleri kullanılır. Besin açısından zengin atık suyun ikincil ürünlere yönlendirilmesi, hem maliyet açısından etkili hem de çevre dostu olan alternatif su arıtma yöntemidir (Ecotrope, 2013).

Aquaponikte çiftçi balıkları besler. Balıklar, yaşamaları için zararlı olan atık ve amonyak üretir. Balıklardan gelen atık su yararlı bakteriler ile amonyağı önce nitritlere sonra nitratlara parçalar ve bitkilere yönlendirilir. Bitkiler nitratlar ve diğer besin maddeleriyle beslenir, böylece su temizlenir. Katı atıklar, yetiştirme yataklarına veya ek bir filtre ile sudan filtrelenebilir. Temiz, oksijenli su balık tankına geri döndürülür (Kopsa, 2015). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne göre, aquaponikte bitki ve balık üretimi, hidroponik ve su kültürü sistemleriyle karşılaştırılabilir. Bu entegrasyon, aquakültür ve hidroponik sistemlerin bağımsız olarak çalıştırılmasının sorunlarını ortadan kaldırır; burada su kültürü yan ürünü olan veya arıtılması ya da bertaraf edilmesi gereken besin açısından zengin atık su, bitkiler için gübre olarak kullanılan hidroponik yoluyla yönlendirilir (Somerville, 2014).



Şekil 3.1. Aquaponik Sistem Otomasyonu (Somerville, 2014)

Derin Su Kùltürü (DSK) / Yüzen Sal sisteminde, bitkiler sadece bitkilerin sığması için deliklere sahip yüzen bir polistiren levhada yetiştirilir ve kökleri suya doğru sarkıtılır. Tüm sistemde faydalı bakteriler vardır ve bunlar süreç sırasında dolaşırlar (Somerville, 2014).

3.2. Parametreler ve Gereksinimler

3.2.1. Çilek

Çilek; kolay çoğaltılabilmesi, kısa sürede meyveye yatması, diğer meyve bahçelerinde ara ziraatı bitkisi olarak yetiştirilmesi gibi yetiştiricilik açısından önemli avantajlara sahiptir. Ayrıca tarım ilacının en çok kullanıldığı meyve olduğundan pestisit açısından temiz çilek meyvesi değerlidir. Çileklerin optimum gelişme sıcaklığı 15,5°C ile 26,5°C arasındadır. Çilek yetiştiriciliğinde pH 6,5-7.2 arasında olmalıdır. Yetiştiricilik yapılacak ortam hastalıklar ve nematod yönünden temiz olmalıdır (Somerville, 2014).

3.2.2. Lepistes Balık

Lepistes canlı yumurtlayabilen akvaryumlarda yetiştirilen tatlı su balığıdır. 17-28 derece sıcaklıkta beslenmesi gerekir. Balığın dayanıklılığı, genetik kalitesine, su sıcaklığına ve iyi beslenmesine bağlıdır. 20-40 gün gibi bir gebelik döneminden sonra gelişkin yavrular yumurtada çıkar. Dişi yumurtlamadan sonra kaliteli yemler ile beslenmelidir. Yavrular 3 ayda üreyecek hale gelirler ve renklenirler. 6 aydan itibaren eşleşebilirler. En az %75 hayatta kalma oranına sahiptir. Çeşitli yiyecekler yiyen ve düşük proteinli diyet uygulayabilen hızlı büyüyen bir balıktır. pH seviyesi birincil üreme için uygun değer 6,5 ila 9 arasındadır (Resources, 2006).

3.2.3. Çilek Yetiştirilmesi

Çilek, uzun bir güneş ışığına ihtiyaç duyar. Kapalı ortamda sonuç alabilmek için 12 saat boyunca iyi bir hidroponik aydınlatma sistemine ihtiyaç duyar. Topraksız çilek yetiştiriciliğinde, bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin maddelerini sağlamak ve verimliliği artırmak için besin solüsyonu yönetimi oldukça önemlidir. Açık sistemlerde besin solüsyonu uygulandıktan sonra dışarı atılırken, kapalı sistemlerde drene olan solüsyon toplanarak yeniden kullanılır. Günlük olarak bitki başına 150-300 ml besin solüsyonu uygulanabilir ve solüsyonun elektriksel iletkenliği (EC seviyesi) 1,2-2,2 µS/cm bitki köklerinin maksimum verimle çalışabileceği aralıkta tutulmalıdır. Çilek sıcaklık kontrolüne sahip bir hidroponik sistemde yıl boyunca

yetiştirilebilir, bu da 13-24 °C'dir. (Somerville, 2014).

3.2.4. Lepistes Beslenmesi

Lepistes balıkları yetiştirilirken yem miktarı çok önemlidir. Yeni doğmuş yavru lepistes balıklarını günde 5-6 defa, 2-3 aylık olduklarında günde 3-4 kez, 4-5 aylık olduklarında yetişkin balıklar gibi günde 1-2 kez bir dakika içinde yiyebilecekleri kadar yem verilmelidir. Dişiler haftada yaklaşık 6 mm erkekler 5 mm büyürler (Resources, 2006).

3.3. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin interneti (IoT) farklı nesne ve değişkenleri kontrol etmek için bilgi ve enerji süreçlerini birleştiren bir yapıdır. İnterneti gerçek dünyaya genişletmek, IoT'lerin hedefi ve vizyonudur. Nesnelerin interneti, internetin yeni bir devrimidir. Nesneler kendilerini tanımlanabilir hale getirir ve kendileri hakkında bilgi ileterek bağlamla ilgili kararlar alarak veya bu kararları etkinleştirerek zekâ kazanırlar. Sensörler ve işlemciler tarafından toplanmış bilgilere erişebilirler veya karmaşık hizmetlerin bileşenleri olabilirler (Vermesan, 2015).

3.4. Esp32 Geliştirme Kartı

Esp32 geliştirme kartı, güçlü Wi-Fi ve Bluetooth özellikleriyle donatılmıştır, bu sayede internet bağlantılı projeler kolayca geliştirebilir. 30 pinli geliştirme kartı, yüksek performanslı bir çift çekirdekli işlemciye sahiptir ve geniş bellek kapasitesi ile projeleri verimli bir şekilde yönetme imkânı sağlar.

Esp32 Geliştirme Kartı Özellikleri:

- ✓ CP2102 USB çevirici
- ✓ 2 kanal analog çıkış, 16 kanal analog giriş
- ✓ Dual core Xtensa LX6 32-bit mikroişlemci,
- ✓ 48.3 x 25.4 mm boyutlarında
- ✓ 2 DAC kanal 8 Bit, 10 kapasitif hassasiteli GPIO,
- ✓ 32 Digital I/O pini, 16 kanal PWM, 18 ADC kanal 12 bit çözünürlükte,
- ✓ 4 MB flash hafıza, 512kB RAM, 448 kB ROM, 26 tanesi kullanabilir,

- ✓ 160 MHz saat hızı,
- ✓ Mikro USB konnektör,

Tablo 3.1. Esp32, Arduino Uno ve Raspberry Pi özellik karşılaştırma

Özellik	Esp32	Arduino Uno	Raspberry Pi
İşlemci	Dual-core tensilica 240 MHz	Atmega328p, 16 MHz	Dual-core ARM cortex-m0+, 133 MHz
Hafıza	520 kB SRAM, 4 MB'a kadar flash	2 kB SRAM, 32kB kadar flash	264 kB SRAM 16 MB'a kadar flash
Bağlantı	Dahili Wi-Fi ve bluetooth	Dahili Wi-Fi ve bluetooth yok	Dahili Wi-Fi ve bluetooth yok
Giriş çıkış pin	20 dijital G/Ç, 18 analog G/Ç pini	14 dijital G/Ç pini, 6 analog giriş pini	26 çok işlevli G/Ç pini
Güç yönetimi	Düşük güç modlarını destekler	Özel düşük güç yönetimi yok	Düşük güç modlarını destekler
Geliştirme ortamı	Arduino IDE, Espressif Idf	Arduino IDE	Arduino IDE, Python, C++
Fiyat	Nispeten uygun fiyatlı	Uygun fiyatlı	Orta fiyatlı
Topluluk desteği	Geniş topluluk desteği ve kaynakları	Çok geniş topluluk desteği ve kaynakları	Topluluk desteği artıyor, ancak arduino kadar kapsamlı değil
Uygun projeler	Kablosuz iletişim gerektiren ileri düzey projeler	Eğitim projeleri, hızlı prototipleme	Maliyete duyarlı projeler, performans odaklı uygulamalar,

Mobil aquaponik sistemin otomasyonu Tablo 3.1'de karşılaştırması yapılan üç kart ile gerçekleştirilebilir. Çalışmamızda Esp32 tercih edilmiştir. Arduino Uno ve Raspberry pi Esp32 göre performans farkları bulunmaktadır. Arduino Kartında dahili Wi-Fi ve bluetooth özellikleri bulunmamaktadır. Evet, harici olarak eklenebilir ama ayrıca bir maliyet ve sistemde fazla bileşen oluşturacaktır. Fiyat olarakta diğer kartlar içerisinde en uygun olanıdır. Ancak hız ve hafıza olarak çok geri kalmaktadır.

Raspberry pi ise hız, işlemci ve hafıza açısından en üstün olanıdır. Fakat dahili Wi-Fi ve bluetooth özelliği bulunmamaktadır. Fiyat olarakta diğerlerine nazaran daha pahalıdır. İhtiyacımız olan tüm özellikleri Esp32 karşılamaktadır. Özellikle dahili Wi-Fi ve bluetooth özelliği geniş giriş çıkış pinleri ve 16 analog pin desteği ile esnek çalışma imkanı sağlamaktadır. Sistemde kullandığımız sensörlerden gelen bilgiyi rahatlıkla bulut sistemine göndermektedir. Blynk uygulaması ile sorunsuz çalışmaktadır. Çıkış kontrollerinde mosfet ile röle sürmek gerekmektedir. Hız ve hafıza özellikleri yeterli oldu için sistem çalışmasında Esp32 de ısınma olmamaktadır. Fiyat performans ve diğer tüm özellikleri ile beraber düşünüldüğünde Esp32, IoT uygulamalar için uygun bir kart olduğu değerlendirilmektedir.



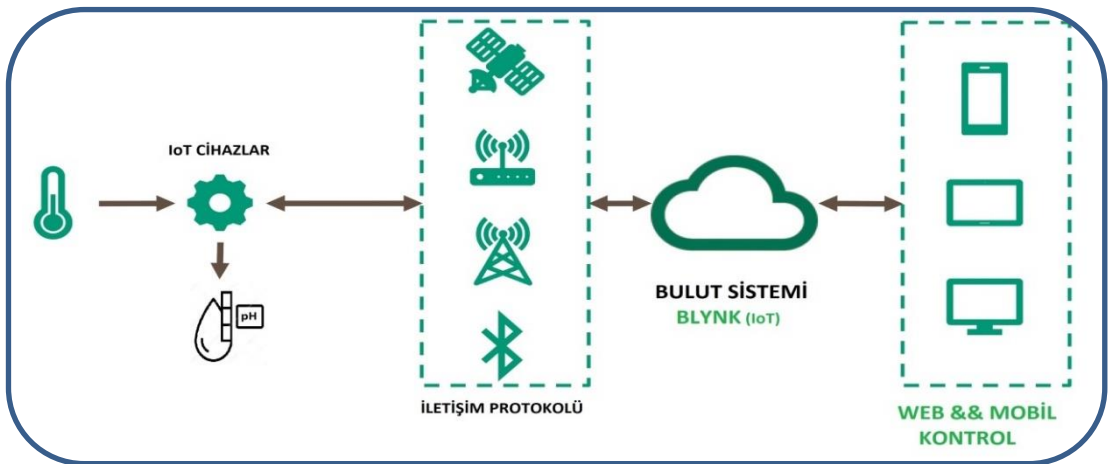
4. VERİ TOPLAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Kavramsal Çerçeve

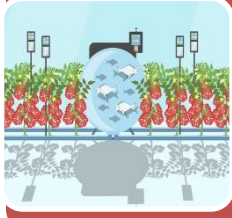
Kullanılan sistemin bulut topolojisi Şekil 4.1’de gösterilirken Şekil 4.2’de de çalışmanın kavramsal çerçevesini gösterilmektedir. Lepistes balığı yavruları ve çilek fidesi mobil aquaponik sistemde kullanılmıştır. Sistemin otomasyonu, suyun pH seviyesi ve sıcaklığı gibi belirli parametrelerin yanı sıra balıkların beslenmesi ve bitkilere sağlanan ışık maruziyeti otomatik veya manuel olarak kontrol edilebilir. Aquaponik sistemin genel görünümü için bir kamera kullanılmıştır. Sistemin kontrolünün çalışıp çalışmadığı ve balıkların hayatta olup olmadığını gerçek zamanlı olarak takip edilebilir. Sensörlerden ihtiyaç duyulan tüm veriler elde edildikten sonra, Esp32 tarafından internet üzerinden Blynk IoT bulut sistemi sitesine iletilerek veriler depolanacak ve oluşturulan uygulamayla daha sonra bu verilere erişilecektir.

4.2. Donanım Geliştirme

Mobil Aquaponik sistemin kurulumu ve otomasyonu için gereken donanımlar birleştirilmiştir. Sıcaklık sensörleri (DS18B20) yetiştirme yatağına, balık tankına ve pH sensörü akvaryuma yerleştirilmiştir. Ek olarak sıcaklık ve pH seviyesinde düzeltici eylemler sağlamak için aktüatörler yerleştirilmiştir. Şekil 4.3’de görüldüğü gibi sıcaklığı düzeltmek için ısıtıcı/fan ve pH seviyesini düzeltmek için peristaltik pompalar kullanılmıştır. Ayrıca otomatik bir besleyici ve bir IP kamera sisteme dâhil edildi. Su doldurmak için pompanın ne zaman etkinleştirileceğini datası için sisteme bir ultrasonik sensör yerleştirildi. Kullanılan mikrodenetleyici Esp32’dir.



Şekil 4.1. Kullanılan Sistemin Bulut Topolojisi



GİRDİLER

- Balık yavruları
- Çilek fidesi



SÜREÇ

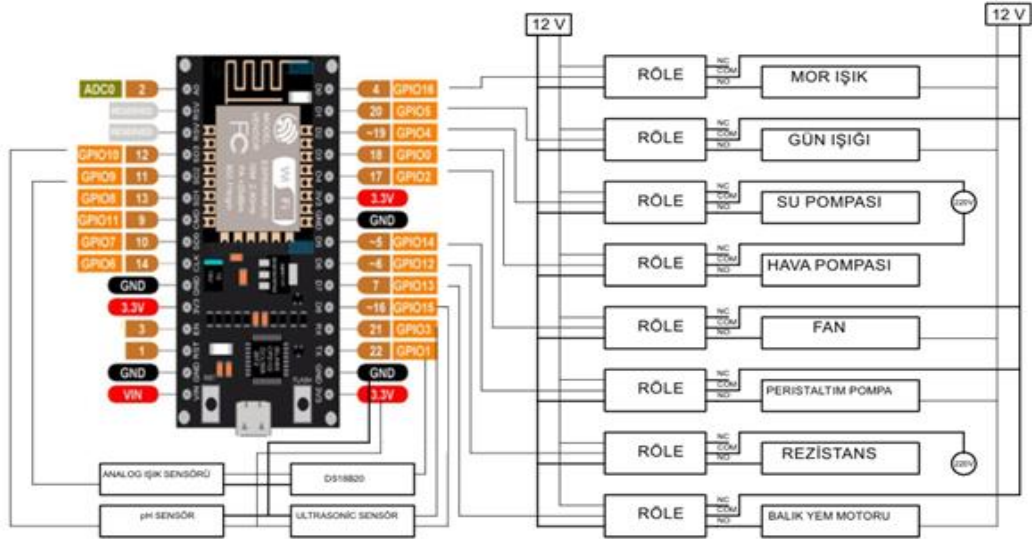
- Suyun pH seviyesini ve sıcaklığını, bitkinin aydınlanma süresini ve sıcaklığını, balıklar için yem miktarını, su seviyesini denetleyen mobil aquaponik sistemin otomasyonun kurulumu
- Balık ve bitkiyi mobil aquaponik sistemine koymak
- Nesnelerin interneti IoT üzerinden veri alışverişi sağlama



ÇIKTILAR

- Deney ve kontrol grubundaki lepidoteslerinin uzunluğundaki büyüme farkını belirlemek
- Deney ve kontrol grubundaki çilek fidelerinin uzunluğundaki büyüme farkını belirlemek
- İnternet üzerinden sistemin izlenmesi ve kontrolü

Şekil 4.2. Kavramsal Çerçeve



Şekil 4.3. Sensör ve Aktüatörlerin Kablolama Şeması

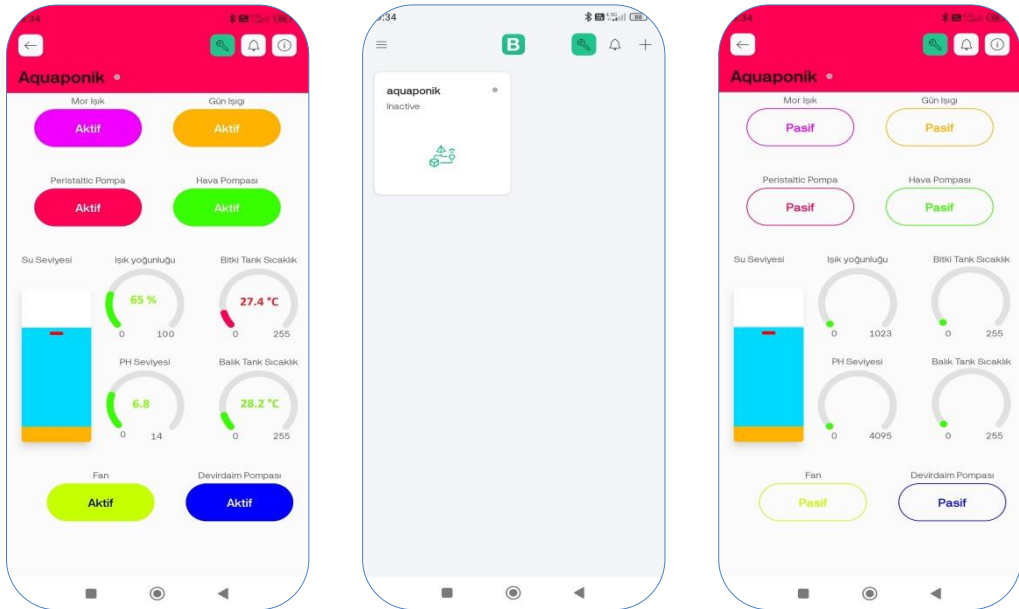
Şekil 4.4'de görüldü gibi mobil aquaponik sistem otomasyonunun kurulumu yapılmıştır. Gerçek zamanlı ölçümler yapılarak sistem kararlılığının analizi beşinci bölümde yapılmıştır.



Şekil 4.4. Gerçek Otomatik Aquaponik Sistem

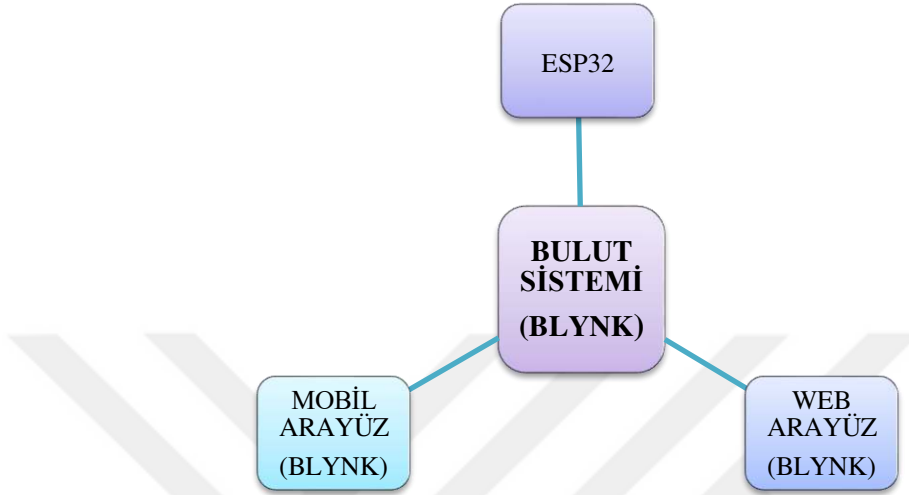
4.3. Yazılım Geliştirme

Araştırma tümleşik mobil aquaponik sisteme ait sensörlerden veri toplayan ve bu verileri Blynk uygulaması ile IoT özellikli bulutta depolayan Esp32 tarafından desteklenmektedir. Mobil aquaponik sistem IoT ile entegre etmeyi de içerir. Esp32 mobil aquaponik sistemin çevresel değişkenlerini izlemek ve bunları tercih edilen koşullarda tutmak üzere programlanmıştır. Sistem ayrıca, Şekil 4.1’de gösterilen bir web uygulamasını ve Şekil 4.5’te gösterilen, otomatik sistemin gerçek zamanlı sensör veri izleme özelliğine sahiptir. Ek olarak sisteme manuel kontrol sağlayan bir mobil uygulamayı içerir.



Şekil 4.5. Otomatik Aquaponik Mobil Uygulaması

Esp32’de geliştirme yapmak için Arduino IDE yazılımı kullanıldı. Şekil 4.6’da sistem diyagramı gösterilmiştir. Esp32 Blynk’te bilgi vermek ve almak için internete bağlanmak üzere kodlandı. Aşağıdaki parametreler, mikro denetleyicinin değişkenleri kontrol etmek üzere programlandığı parametrelerdir:



Şekil 4.6. Nesnelerin İnterneti Sistem Diyagramı

4.4. Kontrol Edilen Değişkenler ve Sabitesi

A. Aydınlanma Süresi ve Rengi

- ✓ 0 ile 6 saat arasında, mor ışık açık
- ✓ 6 ile 12 saat arasında, günışığı açık
- ✓ 12 ila 24 saat arasında, ışık kapalı

B. Suyun sıcaklığı

- ✓ Eğer sıcaklık < 24 ise ısıtıcı açılacaktır.
- ✓ Eğer sıcaklık > 28 ise ısıtıcı kapanacaktır.

C. Bitkinin sıcaklığı

- ✓ Eğer sıcaklık > 24 ise fan açılacaktır.

D. pH Seviyesi

- ✓ pH > 7.5 ise peristaltik pompa asit eklemek için çalışacaktır.
- ✓ pH < 6.5 ise peristaltik pompa duracaktır.

F. Otomatik besleyici

- ✓ Her 8 saatte bir, otomatik besleyici açılacaktır.

G. Otomatik su doldurma

- ✓ Su sensöründen gelen bilgi $\leq$ % 60 altında ise, su pompası açılacaktır.

Su sensöründen gelen bilgi $\geq$ % 95 üstü ise, su pompası kapanacaktır.

Şekil 4.7’de Mobil Aquaponik Sistemde kullanılan sensörlerin gerçek zamanlı veri iletimi ve bağlantıları görülmektedir.



Şekil 4.7. Mobil Aquaponik Sistemin gerçek zamanlı sensör ölçümü

4.5. Veri Toplama İçin Deneysel Prosedürler

Veri toplama için deneysel prosedürler araştırmacılar tarafından çalışmada kullanılan veri toplama yöntemi deneyseldir. Çalışmanın istikrarını kanıtlamak veya reddetmek ve lepistes balığı ve çilek bitkisi otomatik bir aquaponikte geleneksel hidroponik ve balık yetiştiriciliğine kıyasla büyümesini incelemek için kullanılmıştır. Sunulan verileri elde etmek için aşağıdaki veri toplama prosedürleri kullanılmıştır.

- ✓ pH metre kullanarak pH sensörünü kalibre edildi. Değerler eşleşmiyorsa, pH

probunun teorik ve gerçek davranışını arasındaki fark yazılımsal olarak telafi edilmiştir. Esp32 çıkış voltajı 3.3 volt olduğu için bu değeri 5 volt yerine 3.3 volt 1023 değerine eşitlenmiş ve kod bu şekilde yazılmıştır. pH metreyi kullanılan pH sensörünün mevcut özelliklerine uydurmak için bir kalibrasyon gereklidir.

✓ Sistemin sıcaklığını ölçmek için bir termometre (DS18B20) kullanarak sıcaklık sensörünü kalibre edildi. Yeni değerler Arduino IDE yazılımsal olarak düzenlenmiştir.

✓ Okuma parametrelerin optimum değerlerini karşılamıyorsa, sistem peristaltik pompa kullanarak pH'ı ve fanlı soğutucu ve ısıtıcı kullanarak sıcaklığı otomatik olarak ayarlandı.

✓ pH sensörünü ve sıcaklık sensörünü sisteme daldırıldı ve okuma otomatik olarak web ve mobil uygulamada görüntülenmiştir.

✓ Su seviyesi ayarlanan seviyenin altındaysa, su pompası tarafından otomatik olarak suyla dolduruldu.

✓ Sistemin pH ve sıcaklığını 4 hafta boyunca her gün sabah 10:00, öğleden sonra 16:00 ve akşam 23:00'de kaydedildi.

✓ Sistemin pH ve sıcaklığı için günlük ortalama değerler hesaplandı.

✓ Daha sonra, bitki uzunluğunu sapın altından en uzun yaprağı kadar ölçüldü.

✓ Çilek yüksekliğini aquaponikte ve hidroponikte her 7 günde bir kaydedildi ve ortalama bitki yüksekliğini hesaplandı.

✓ Bir balık ağı kullanarak lepistes balığını balık tankının duvarına yaklaştırıldı ve bir ölçüm cihazı kullanarak uzunluğu ölçüldü.

✓ Balığın uzunluğunu aquaponikte ve geleneksel balık yetiştiriciliğinde her 7 günde bir kaydedildi ve ortalama uzunluğu hesaplandı.

✓ Veri toplama prosedürünü 28 gün boyunca yapıldı.

✓ Karşılaştırmalar için t değeri, H_a ve H_0 hipotezleri oluşturuldu. T kritik değeri ölçüm sonuçlarına hesaplandı. Hesaplamalarda kullanılan formül ve yöntemler beşinci bölümde detaylı bahsedilmiştir.

5. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

5.1.Test Konusu

Lepistes balığı ve çilek bitkisi büyümesi yakından gözlemlendi, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemin pH seviyesi ve sıcaklığı optimum değerde tutuldu. Ayrıca su gerektiğinde otomatik olarak yeniden dolduruldu. pH seviyesi ve sıcaklık, web ve mobil uygulama kullanılarak gerçek zamanlı olarak izlendi.

Tablo 5.1. Mobil aquaponik sistem otomasyonu günlük ortalama balık yemi alımı, pH seviyesi, sıcaklık sensörü değerleri ve su seviyesinin veri kaydı

Gün	Günlük Balık Yem Tüketimi(g)	pH Seviyesi (0-14)	Akvaryum Sıcaklık (°C)	Bitki Üretim Yatağı Sıcaklık(°C)	Su Tank Seviyesi (%)
1	11	6.55	28.22	26.41	95
2	11	6.70	28.13	26.15	93
3	11	6.75	28.01	26.04	92
4	11	6.93	27.92	26.01	90
5	11	6.97	28.12	26.14	83
6	11	6.95	28.01	26.51	83
7	11	7.01	27.89	26.45	80
8	13	7.05	28.21	26.71	77
9	13	7.11	28.08	26.52	73
10	13	7.00	27.85	26.25	71
11	13	6.33	27.98	26.52	68
12	13	6.50	27.68	26.46	65
13	13	6.52	28.01	26.04	64
14	13	6.62	27.92	26.01	95
15	13	6.66	28.12	26.14	91
16	15	6.88	28.01	26.51	89
17	15	6.56	27.89	26.45	85
18	15	6.85	28.21	26.71	82
19	15	6.92	28.01	26.04	78
20	15	6.85	27.89	26.45	74
21	15	6.97	28.21	26.71	70
22	15	7.02	28.08	26.52	68
23	15	7.08	27.85	26.25	65
24	17	7.11	27.98	26.52	61
25	17	7.21	27.68	26.46	95
26	17	6.54	28.01	26.04	92
27	17	6.57	27.92	26.01	89
28	17	6.61	28.12	26.14	86

5.2. Test Süresi

Test 28 gün sürdü. Test çilek bitkisi biraz büyüdüğünde başladı ve balıklar için test balıklar yavruyken başladı. Ölçümler 4 hafta boyunca günde üç kez (3) alındı. Test her gün 10:00, 16:00 ve 23:00'da yapıldı.

5.3. Test Değişkenleri

Lepistes balığı ve çilek bitkisi, Lepistes (*Poecilia reticulata*) balığı ve çilek (*Fragaria vesca*) bitkisi, 28 gün süreyle oluşturulan IoT tabanlı otomatik aquaponik sisteme entegre edilmiştir. Deney süresince sistemin pH seviyesi ve su sıcaklığı sensörler aracılığıyla sürekli olarak izlenmiş ve kontrol edilmiştir. Çalışmanın bilimsel geçerliliğini korumak amacıyla deney boyunca sistem üzerinde herhangi bir insan müdahalesi gerçekleştirilmemiştir.

Deney süresi boyunca ölçülen ortalama pH seviyesi ve günlük sıcaklık değerleri Tablo 5.1'de sunulmuştur. Bu tablo, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemin çevresel parametrelerinin hedeflenen aralıklarda kararlı bir şekilde sürdürüldüğünü göstermektedir. Balıkların yem miktarı, bireysel büyüme oranları dikkate alınarak düzenlenmiştir. Dört haftalık test süresince, her 7 günde bir lepistes balıklarının ortalama boy uzunlukları ölçülmüştür. Aquaponik sistemdeki tüm balıkların başlangıçtaki ortalama uzunlukları, karşılaştırma amacıyla geleneksel balık yetiştirme sistemindeki (kontrol grubu) bireylerle eşit olacak şekilde belirlenmiştir.

Tablo 5.2. Aquaponik sistem ve su kültüründe lepistes balığı ortalama büyümesi

Hafta	Aquaponik Uzunluk (cm)	Aquaponik Büyüme (cm)	Su Kültürü Uzunluk (cm)	Su Kültürü Büyüme (cm)
1	2.4	-	2.4	-
2	3.3	0.9	2.8	0.4
3	4.3	1	3.6	0.8
4	5.6	1.3	4.7	1.1

İki sistemden elde edilen verilerin istatistiksel olarak karşılaştırılabilmesi amacıyla, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemde yetiştirilen lepistes (*Poecilia reticulata*) balıkları deney grubu, geleneksel balık yetiştiriciliğinde bulunanlar ise kontrol grubu olarak tanımlanmıştır. Kontrol grubunun çevresel koşullarının deney ortamına benzer biçimde sürdürülebilmesi için ayrı bir akvaryum sistemi kullanılmıştır.

Her iki sistemde gerçekleştirilen haftalık ölçümler, aşağıda belirtilen hipotezler doğrultusunda tek yönlü t testi yöntemiyle analiz edilmiştir. T testi, iki bağımsız örneklem grubunun aritmetik ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan parametrik bir analiz yöntemidir. Bu test, gruplar arasındaki farkın yalnızca rastlantısal mı yoksa istatistiksel olarak anlamlı mı olduğunu ortaya koyar. Başka bir ifadeyle, iki farklı grubun ortalama değerlerinin birbirinden anlamlı düzeyde farklı olup olmadığını değerlendirir.

T testi özellikle örneklem büyüklüğünün $n < 30$ olduğu küçük örneklem için güvenilir sonuçlar verdiğinden bu çalışmada tercih edilmiştir. Deney ve kontrol gruplarına ait lepistes balıklarının haftalık boy uzunluk verileri t testi ile analiz edilmiş olup elde edilen istatistiksel sonuçlar Tablo 5.3'te sunulmuştur. İki grubun ortalama değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla, aşağıdaki t değeri hesaplama formülü kullanılmıştır:

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{(s_1)^2}{n_1} + \frac{(s_2)^2}{n_2}}} \quad (5.1)$$

Burada n_1 deney grubundaki balık sayısını, x_1 deney grubundaki lepistes balıklarının ortalama uzunluğunu, s_1 deney grubunun standart sapmasını, n_2 kontrol grubundaki balık sayısını, x_2 kontrol grubundaki lepistes balıklarının ortalama uzunluğunu ve s_2 kontrol grubunun standart sapmasını ifade etmektedir.

t değerini bulmak için iki olası durumdan oluşan hipotez seti oluşturulmuştur. Bu hipotezler sırasıyla sıfır hipotez (H_0) ve alternatif hipotez (H_a) olarak tanımlanmıştır. Sıfır hipotez aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$H_0: u_1 - u_2 \leq 0 \quad (5.2)$$

Bu hipoteze göre IoT tabanlı mobil aquaponik sistemdeki lepistes balıklarının uzunluğundaki artış (u_1), geleneksel balık yetiştiriciliğinde gözlenen artışa (u_2) eşit veya daha azdır. Alternatif hipotez ise şu şekilde tanımlanmıştır:

$$H_a: u_1 - u_2 > 0 \quad (5.3)$$

Bu hipotez, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemdeki lepistes balıklarının uzunluğundaki büyümenin (u_1), geleneksel balık yetiştiriciliğinde elde edilen büyümeden (u_2) istatistiksel olarak daha fazla olduğunu göstermektedir.

Tablo.5.3. Lepistes balığı boy uzamasının t değeri sonuçları

Gruplar	1.Hafta	2.Hafta	3.Hafta	4.Hafta
Deney Grubundaki balık Sayısı (n1)	7	7	7	7
Kontrol Grubundaki balık Sayısı (n2)	7	7	7	7
Deney Grubunun balık uzunluğu (x1)	2.4	3.3	4.3	5.6
Kontrol Grubunun balık uzunluğu (x2)	2.4	2.8	3.6	4.7
Deney Grubunun Standart Sapması (s1)	0.421	0.337	0.467	0.440
Kontrol Grubunun Standart Sapması (s2)	0.342	0.227	0.297	0.382
Serbestlik dereceleri	-	6	9	8
Yönlendirme testi için önem düzeyi	.05	.05	.05	.05
Hesaplanan t değeri	0	3.3040	3.3485	4.0866
t-kritik	0	1.943	1.833	1.860

Tablo 5.3'te, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemdeki lepistes balıkları (deney grubu) ile geleneksel balık yetiştiriciliğindeki balıklar (kontrol grubu) arasında dört haftalık süreçte elde edilen t-testi sonuçları verilmiştir.

İlk hafta için hesaplanan t değeri ve t-kritik değeri sıfırdır. Bu durumda sıfır hipotezi (H_0) kabul edilmiştir. Bu sonuç, deneyin ilk yedi günü boyunca IoT tabanlı mobil aquaponik sistemdeki lepistes balıklarının uzunluk artışının, geleneksel sistemdeki büyüme ile istatistiksel olarak benzer düzeyde olduğunu göstermektedir. İkinci haftadan itibaren hesaplanan t değerlerinin t-kritik değerlerini aştığı görülmektedir ($t_{hesaplanan} > t_{kritik}$). Bu bulgu, alternatif hipotezin (H_a) kabul edildiğini ifade eder. Buna göre, 14. günden itibaren IoT tabanlı mobil aquaponik sistemdeki lepistes balıklarının uzunluğundaki büyüme, geleneksel balık yetiştiriciliğinde gözlenen büyümeden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha fazladır ($p < 0.05$).

Elde edilen sonuçlar, mobil aquaponik sistemin lepistes balıkları için daha uygun bir çevresel denge sağladığını ve balık gelişimi açısından geleneksel sisteme kıyasla daha yüksek bir verim sunduğunu göstermektedir.

Tablo.5.4. Aquaponik ve hidroponik sistemlerde ortalama bitki büyümesi

Hafta	Aquaponik Çilek Boy (cm)	Aquaponik Çilek Büyüme (cm)	Hidroponik Çilek Boy (cm)	Hidroponik Çilek Büyüme (cm)
1	4.48	-	4.40	-
2	5.45	0.65	5.00	0.60
3	7.21	1.76	6.71	1.41
4	8.24	1.03	7.58	0.87

Tablo 5.4'te verilen veriler incelendiğinde, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemde yetiştirilen çilek bitkilerinin ortalama boy uzunluklarının her hafta artış gösterdiği, benzer şekilde hidroponik sistemdeki bitkilerde de düzenli bir büyüme gözlemlendiği belirlenmiştir. Ancak üçüncü haftadan itibaren aquaponik sistemdeki çilek bitkilerinin ortalama boy değerleri, hidroponik sistemde yetiştirilen bitkilere kıyasla daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu durum, aquaponik sistemin bitki büyümesi için daha uygun bir besin döngüsü ve mikro-çevre koşulu sağladığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemin bitki gelişimini destekleme açısından hidroponik sisteme göre daha verimli bir ortam sunduğunu ortaya koymaktadır. İki sistemde yetiştirilen çilek bitkilerinin ortalama boy uzunlukları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla aşağıdaki t değeri hesaplama formülü kullanılmıştır:

$$t = \frac{b_1 - b_2}{\sqrt{\frac{(s_1)^2}{c_1} + \frac{(s_2)^2}{c_2}}} \quad (5.4)$$

Burada deney grubunun c_1 bitki sayısını, b_1 bitki uzunluğunu, s_1 standart sapması gösterirken; kontrol grubunun c_2 bitki sayısını, b_2 bitki uzunluğunu, s_2 standart sapması ifade etmektedir. Bu formül, aquaponik ve hidroponik sistemlerde yetiştirilen bitkilerin ortalama büyüme değerleri arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını değerlendirmek için kullanılmıştır. İstatistiksel analizde iki hipotez tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla sıfır hipotez (H_0) ve alternatif hipotez (H_a) olarak aşağıda verilmiştir:

$$H_0: y_1 - y_2 \leq 0 \quad (5.5)$$

Bu hipoteze göre, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemdeki bitki boyundaki büyüme (y_1), hidroponik sistemdeki büyümeden (y_2) eşit veya daha azdır.

Alternatif hipotez ise şu şekilde tanımlanmıştır:

$$H_a: y_1 - y_2 > 0 \quad (5.6)$$

Yaban çileği boy uzamasının t-testi sonuçları Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

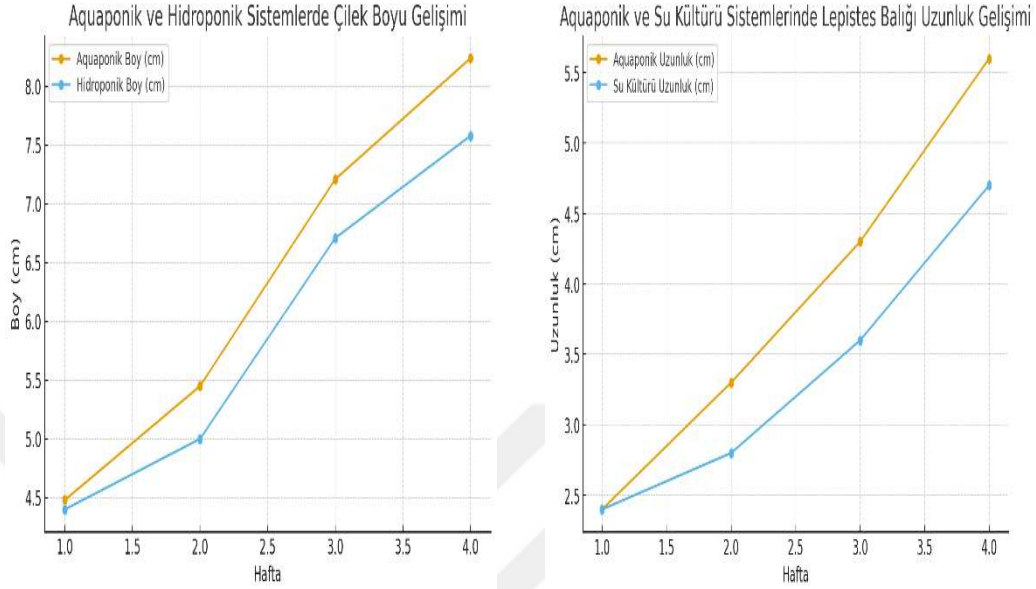
Tablo 5.5. Yaban çileği boy uzamasının T-Testi sonuçları

Gruplar	1.Haft a	2.Haft a	3.Haft a	4.Haft a
Deney Grubundaki Çilek Sayısı (c1)	6	6	6	6
Kontrol Grubundaki Çilek Sayısı (c2)	6	6	6	6
Deney Grubunun Bitki Büyüme Ortalaması (b1)	4.48	5.45	7.21	8.24
Kontrol Grubunun Bitki Büyüme Ortalaması(b2)	4.40	5.00	6.71	7.58
Deney Grubunun Standart Sapması (s1)	0.0758	0.1671	0.1841	0.3810
Kontrol Grubunun Standart Sapması (s2)	0.9	0.0213	0.3214	0.3012
Serbestlik dereceleri	8	5	7	6
Yönlendirme testi için önem düzeyi	.05	.05	.05	.05
Hesaplanan t değeri	0.2177	2.0756	3.3113	3.3420
t-kritik	1.860	2.015	1.895	1.943

Tablo 5.5'te verilen t-testi sonuçları incelendiğinde, ilk iki hafta için hesaplanan t değerlerinin t-kritik değerlerinden düşük olduğu, dolayısıyla sıfır hipotezinin (H_0) kabul edildiği görülmektedir. Bu durum, deneyin erken döneminde mobil aquaponik sistem ile hidroponik sistem arasında bitki büyümesi açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığını göstermektedir. Ancak üçüncü ve dördüncü haftalarda hesaplanan t değerlerinin t-kritik değerlerini aştığı belirlenmiştir ($t_{hesaplanan} > t_{kritik}$). Bu bulgu, alternatif hipotezin (H_a) kabul edildiğini ve IoT tabanlı mobil aquaponik sistemdeki çilek bitkilerinin boy uzamasının 21. günden itibaren hidroponik sistemdekilere göre anlamlı düzeyde daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır ($p < 0.05$).

Şekil 5.1'de, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemde yetiştirilen lepidistes balıkları ve çilek bitkilerinin büyüme eğrileri geleneksel sistemlerle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere, her iki türde de ilk hafta boyunca büyüme hızları birbirine yakın seyretmiştir. Ancak ikinci haftadan itibaren hem balıkların uzunluk artışında hem de bitkilerin boy uzamasında aquaponik sistem lehine belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu durum, aquaponik sistemin balık atıklarını bitkiler için besin kaynağı olarak etkin biçimde kullanabilmesi sayesinde sistemin döngüsel verimliliğini artırdığını göstermektedir. Sonuç olarak, IoT tabanlı mobil aquaponik

sistemin hem sucul canlıların hem de bitkilerin gelişimini destekleme açısından geleneksel yöntemlere kıyasla daha sürdürülebilir ve verimli bir çözüm sunduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. Yaban çileği ve lepistes balığı büyüme gelişimi

Elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, IoT tabanlı mobil aquaponik sistemin hem balık hem de bitki gelişimi üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturduğu belirlenmiştir. Deney süreci boyunca pH, sıcaklık ve besin döngüsü gibi çevresel parametrelerin otomatik olarak kontrol edilmesi, sistemin kararlılığını artırmış ve büyüme performansını optimize etmiştir. Geleneksel yöntemlere kıyasla aquaponik sistemde hem lepistes balıklarının hem de çilek bitkilerinin büyüme oranları daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar, IoT destekli aquaponik sistemlerin sürdürülebilir tarım ve su ürünleri yetiştiriciliği açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu, düşük insan müdahalesiyle verimli ve çevre dostu üretim süreçlerinin mümkün kılındığını göstermektedir.

5.4. Çilek Üretiminin Değerlendirilmesi ve Bulguların Tartışılması

Bu tez çalışmasında geliştirilen nesnelerin interneti tabanlı mobil aquaponik sistemde, çilek bitkisinin büyüme performansı ayrıntılı biçimde incelenmiş ve elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan hidroponik ve klasik aquaponik sistemlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerde amaç, sistemin otomasyon düzeyinin bitki gelişimine olan etkilerini hem biyolojik hem de istatistiksel açıdan değerlendirmektir. Tablo 5.6'daki veriler incelendiğinde, farklı araştırmalarda kullanılan bitki türlerinin birbirinden farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu durum, aquaponik sistemlerin çok çeşitli bitkilerin yetiştirilebildiği geniş bir uygulama alanına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda en fazla marul, domates, patlıcan, biber, salatalık, fesleğen ve çilek gibi türlerin tercih edildiği belirlenmiştir. Ancak çilek bitkisiyle ilgili araştırmaların sayıca az olması ve ekonomik değerinin yüksek oluşu nedeniyle bu çalışmada çilek yetiştiriciliği ön plana alınmıştır.

Tablo 5.6. Bitki büyümesinin literatürdeki standart değerlerle ile karşılaştırılması

Yapılan Çalışmalar	4 Haftalık Ortalama Büyüme	Final Büyüme	Oransal Artış (%)	Hayatta Kalma Oranı (%)
Aquaponik Sistemde Marul (Flordeliza L.)	8.3mm	80.8mm	10.27	100
Hidroponik Sistemde Marul (Flordeliza L.)	6.7mm	75.8mm	8.93	100
Mobil Aqu. Sist. Oto. (Çilek)	11.4 mm	82.4 mm	13.83	100
Aquaponik Sistemde Çilek (Fao)	25 mm	150mm	16.66	100

Elde edilen bulgulara göre, mobil aquaponik sistemde yetiştirilen çilek bitkileri dört haftalık sürede ortalama yüzde 13,83 oranında bir büyüme göstermiştir. Bu oran, hidroponik sistemde elde edilen yüzde 8,93'lük büyümeden belirgin biçimde yüksektir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün verilerine göre klasik aquaponik sistemlerde çilek bitkisinin ortalama büyüme oranı yüzde 16,66'dır. Bu karşılaştırma, mobil sistemin referans değerlere oldukça yakın sonuçlar verdiğini ve sınırlı alan koşullarında dahi yüksek verimlilik sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Literatürdeki çalışmalarda bitki gelişiminin bazı durumlarda gram cinsinden kütle

artışıyla, bazı durumlarda ise santimetre veya milimetre olarak uzunluk artışıyla ölçülmesi, doğrudan karşılaştırma yapmayı güçleştirmiştir. Bu nedenle büyümenin oransal artış üzerinden değerlendirilmesi, farklı türler arasındaki farkları daha doğru şekilde yansıtmaktadır. Deney süresince sistemin pH değeri yedi düzeyinde, sıcaklık ise yaklaşık yirmi beş derecede sabit tutulmuş; böylece çilek bitkisinin gelişimi için en uygun çevresel koşullar sağlanmıştır. Kurulan mobil sistemde otomasyonun sağladığı avantaj, çevresel değişkenlerin insan müdahalesine gerek kalmadan kararlı biçimde kontrol edilmesini mümkün kılmıştır. Esp32 mikrodenetleyicisi aracılığıyla çalışan sensörlerin anlık veri toplaması ve bu veriler doğrultusunda otomatik düzeltmeler yapması, bitkinin büyüme hızında gözlenen farkın temel nedenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Yapılan istatistiksel analizler, sistemin hidroponik yöntemle kıyasla anlamlı düzeyde daha başarılı olduğunu göstermiştir. Böylece araştırmada alternatif hipotezin desteklendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 5.7. Farklı bitki türlerinin büyümesine ait değerler

Farklı Bitki Çalışmaları	1. Hafta Ortalama Bitki Boyu	4. Hafta Ortalama Bitki Boyu	Oransal Artış (%)	Hayatta Kalma Oranı (%)
Semizotu	3.7 cm	9.5 cm	257	80
Su teresi	6.4 cm	18.6 cm	291	100
Marul	4.3 cm	8.7 cm	202	100
Fesleğen	7.1 cm	15.5 cm	218	90

Tablo 5.7’de yer alan veriler bu bulguları desteklemektedir. Semizotu, su teresi, marul ve fesleğen bitkilerinin sırasıyla yüzde 257, yüzde 291, yüzde 202 ve yüzde 218 oranlarında büyüme gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum, mobil aquaponik sistemin yalnızca çilek üretiminde değil, farklı bitki türlerinde de yüksek adaptasyon kapasitesine sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Özellikle su teresi ve fesleğen bitkilerinde gözlenen yüksek büyüme oranları, simbiyotik yetiştiriciliğin verim artışına olan katkısını açıkça ortaya koymaktadır. Fesleğen bitkisinin çilek ile birlikte yetiştirilmesi, doğal uçucu bileşenleri sayesinde zararlılara karşı biyolojik bir koruma sağlamaktadır. Bu etki, pestisit kullanımını azaltmakta ve çevreye duyarlı, temiz üretim hedefini desteklemektedir. Dolayısıyla mobil aquaponik sistem,

yalnızca verimlilik açısından değil, sürdürülebilir tarım uygulamaları bakımından da önemli bir potansiyele sahiptir. Genel değerlendirme sonucunda, yapılan t-testi ve karşılaştırmalı analizler mobil aquaponik sistemin hidroponik sisteme göre çilek büyümesinde istatistiksel olarak anlamlı bir üstünlük sağladığını göstermiştir. Bulgular, sistemin otomasyon yapısının doğruluğunu ve aquaponik ortamın biyolojik verimliliğini destekler niteliktedir. Bu yönüyle geliştirilen sistemin düşük maliyetli, az bakım gerektiren ve yüksek verim sağlayan bir model olarak özellikle şehir içi ortamlarda sürdürülebilir gıda üretimi için uygulanabilir bir seçenek sunduğu sonucuna varılmıştır.

5.5. Balık Üretiminin Değerlendirilmesi ve Bulguların Tartışılması

Yapılan analizler sonucunda Tablo 5.8’de yer alan veriler, farklı çalışmalarda kullanılan balık türlerinin çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durumun temel nedeni, araştırmaların gerçekleştirildiği bölgelerde yetiştiricilerin kendi coğrafi koşullarına uygun türlerle çalışmış olmalarıdır. Balık türleri, yaşadıkları ortamın su sıcaklığı, pH seviyesi, oksijen oranı ve beslenme alışkanlıkları bakımından farklı biyolojik özellikler gösterdiğinden, sonuçlar arasında doğal farklılıklar oluşmaktadır.

Tablo 5.8. Balık büyümesinin literatürdeki standart değerlerle ile karşılaştırılması

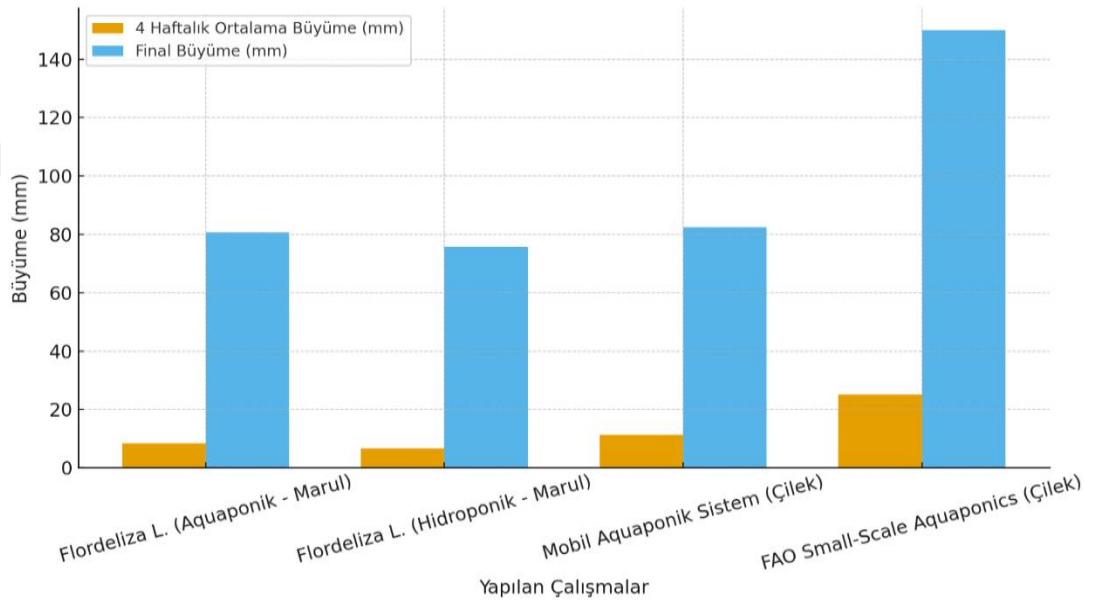
Yapılan Çalışmalar	4 Haftalık Ortalama Büyüme	Final Büyüme	Oransal Artış (%)	Hayat Kalma Oranı (%)
Nil Tilapyası (Rakocy, J. E. 1997).	123,2 g	813.8 g	15.13	98.3
Kırmızı Tilapya (Rakocy, J. E. (1997).	75.6 g	512.5 g	14.75	89.9
Lepistes (Aqu. Sist. Oto. 2025)	10.6 mm	56 mm	18.92	100
Sazan (FAO)	66.6 g	600 g	11.1	100

Şekil 5.2’de farklı çalışmalar ile mobil aquaponik sistemin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu tez çalışmasında ise temel amaç, tür karşılaştırması yapmak yerine sistemin nesnelerin interneti tabanlı otomasyonunun etkinliğini ortaya koymak olmuştur. DeneySEL süreç boyunca otomatik kontrol mekanizmalarının, özellikle yemleme, su tamamlama ve çevresel parametrelerin kararlılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Balık gelişimi bazı çalışmalarda gram cinsinden ağırlık artışı, bazılarında ise milimetre cinsinden uzunluk artışıyla değerlendirilmiştir. Bu nedenle,

farklı ölçüm yöntemleri arasında anlamlı bir karşılaştırma yapabilmek için büyüme artışının oransal olarak ifade edilmesi daha doğru bir yaklaşım olarak benimsenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, mobil aquaponik sistemde yetiştirilen lepestes balıkları dört haftalık süreçte ortalama yüzde 18,92 oranında büyüme göstermiştir. Bu oran, literatürde yer alan diğer türlerin büyüme oranlarıyla karşılaştırıldığında dikkat çekici bir düzeydedir. Örneğin Rakocy tarafından yapılan çalışmalarda Nil tilapyasının büyüme oranı yüzde 15,13, kırmızı tilapyanın ise yüzde 14,75 olarak raporlanmıştır. FAO verilerine göre küçük ölçekli sistemlerde yetiştirilen sazan balıklarında bu oran yüzde 11,1 civarındadır. Dolayısıyla mobil aquaponik sistemde elde edilen sonuçların bu değerlerin üzerinde olduğu ve sistemin verimli bir büyüme ortamı sunduğu görülmektedir. Balıkların tamamı deneme süresince yüzde yüz hayatta kalma oranına ulaşmıştır. Bu sonuç, sistemin otomasyonunun kararlılığını ve su kalitesinin sürdürülebilir biçimde korunabildiğini göstermektedir. Deney boyunca balık tankı sıcaklığı yirmi sekiz derece, bitki yatağı sıcaklığı yirmi beş derece ve pH seviyesi yedi civarında sabit tutulmuştur. Bu parametrelerin istikrarlı seyretmesi, balıkların stres düzeyinin düşük kalmasını sağlamış ve büyüme performansına olumlu yansımıştır. Sistemde kullanılan otomatik yemleme mekanizması, balıkların günün belirli saatlerinde düzenli ve yeterli miktarda beslenmesini sağlamıştır. Aynı zamanda su seviyesi sensörleri, buharlaşma veya sızıntı nedeniyle azalan suyu otomatik olarak tamamlamış, böylece tank içi denge korunmuştur. Bu durum, insan müdahalesine gerek kalmadan sistemin sürekli ve güvenilir biçimde çalışabildiğini göstermektedir. Otomasyon sayesinde hem iş gücü ihtiyacı azalmış hem de sistemin hata payı minimuma inmiştir. Bununla birlikte, pH ölçümlerinde kullanılan sensörün hassasiyet düzeyi elde edilen sonuçları sınırlayan bir etken olarak belirlenmiştir. Suyun içerisindeki kireç miktarının sensör probunda zamanla tortu oluşturması, ölçüm doğruluğunu kısmen etkilemiştir. Bu nedenle ilerleyen çalışmalarda, daha yüksek çözünürlüklü pH sensörlerinin kullanılmasıyla veri doğruluğunun artırılması önerilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, mobil aquaponik sistemin otomatik kontrol yapısı sayesinde hem balık sağlığının korunabildiği hem de büyüme oranlarının literatürdeki değerlerle kıyaslandığında rekabetçi düzeyde olduğu görülmüştür. DeneySEL veriler, sistemin insan müdahalesi olmadan kararlı biçimde çalışabildiğini ve aquaponik üretimde otomasyonun başarısını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, bu

Çalışma göstermektedir ki nesnelerin interneti tabanlı mobil aquaponik sistemler, küçük ölçekli balık üretiminde güvenilir, sürdürülebilir ve verimli bir model sunmaktadır. Sistem, optimum çevresel koşulları koruyarak yüksek hayatta kalma oranı ve istikrarlı büyüme performansı sağlamış; aynı zamanda enerji ve iş gücü tasarrufu açısından da önemli bir avantaj yaratmıştır. Bu özellikleriyle geliştirilen sistemin, özellikle kentsel alanlarda alternatif gıda üretim yöntemleri arasında uygulanabilir bir örnek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5.2. Farklı çalışmalar ile Mobil Aquaponik Sistemin karşılaştırılması

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Esp32 mikrodenetleyicisi kullanılarak geliştirilen nesnelerin interneti tabanlı mobil aquaponik sistemde, pH seviyesi ve sıcaklık değerleri başarıyla izlenmiş ve kontrol edilmiştir. Bu sistem aracılığıyla lepistes balığı ve çilek bitkisinin büyüme performansı gözlemlenmiş, elde edilen veriler otomatik kontrolün üretim üzerindeki olumlu etkisini doğrulamıştır. Sistem, balıklar ve bitkiler için uygun çevresel koşulları sağlayacak biçimde programlanmıştır. pH değerinin 6,5 ile 7,5 aralığında, sıcaklık değerlerinin ise çilek için 27 derecenin altında, lepistes balıkları için 24 ile 28 derece arasında tutulması hedeflenmiştir. Deney süresince oluşturulan bu kararlı ortamda, balıklar için otomatik yemleme, bitkiler için ışık maruziyeti ve suyun otomatik olarak doldurulması sağlanmıştır. Tüm sistem, 28 gün boyunca Esp32 kartı aracılığıyla Blynk bulutuna veri ileterek sürekli izlenmiş ve mobil uygulama üzerinden gerçek zamanlı kontrol edilmiştir. Lepistes balıklarının ilk hafta boyunca büyüme oranı, geleneksel su kültürüyle benzer düzeyde gerçekleşmiştir. Ancak ikinci haftadan itibaren büyüme hızında belirgin bir artış gözlenmiş ve dördüncü haftanın sonunda geleneksel yetiştiricilik yöntemine kıyasla daha yüksek bir büyüme oranına ulaşılmıştır. Benzer biçimde, çilek bitkisinde ilk iki haftada anlamlı bir fark görülmezken, üçüncü ve dördüncü haftalarda mobil aquaponik sistemde yetiştirilen bitkilerin hidroponik sisteme göre daha fazla gelişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, her iki canlı türü için de büyümenin pH ve sıcaklık dengesinin korunmasına doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir. Balık ve bitki gelişiminin hızlanması için sistem parametrelerinin sabit tutulmasının büyük önem taşıdığı görülmüştür. İlk haftalarda uyum süreci nedeniyle büyüme sınırlı kalmış, ancak sonraki haftalarda yapılan t-testi analizleri, mobil aquaponik sistemdeki artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, optimum koşulların sağlandığı mobil sistemlerde, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve sağlıklı gelişim sağlanabileceğini göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, IoT tabanlı aquaponik sistemlerin yalnızca üretim verimliliğini değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik potansiyelini de artırdığını kanıtlamaktadır. Türkiye’de özellikle kırsal kesimden kente göç eden bireyler için, düşük maliyetli ve temiz gıda üretimi amacıyla bu tür sistemlerin uygulanabilirliği oldukça yüksektir. Balkon, teras ve bodrum gibi küçük alanlarda kurulabilecek mobil

sistemler, ailelerin kendi gıdalarını üretmelerine olanak tanımaktadır. Güncel hesaplamalara göre yaklaşık 50 metrekarelik bir alan, ortalama 15 ila 20 bin liralık bir bütçeyle bu sistemin kurulumu için yeterlidir. Sistemin ekonomik geri dönüş süresinin altı ila sekiz ay arasında değişeceği öngörülmektedir. Ayrıca model yalnızca üretim yönüyle değil, sosyal etkisi bakımından da değerlidir. Özellikle kent yaşamının yoğun temposundan bunalan bireyler için aquaponik sistem, bir uğraş terapisi işlevi görebilir. Çocukların aileleriyle birlikte üretime katılması hem çevre bilinci hem de sağlıklı beslenme alışkanlığı açısından olumlu katkılar sağlayacaktır. İklim değişikliği, düzensiz göç ve tarım alanlarının daralması gibi faktörler göz önüne alındığında, mobil aquaponik sistemlerin gelecekte kentsel tarımda daha önemli bir konuma ulaşacağı öngörülmektedir. Evlerin çatılarında, teraslarda veya kapalı alanlarda kurulabilecek bu sistemler sayesinde, temiz ve organik gıdaya ekonomik biçimde erişmek mümkün hale gelecektir.

Sonuç olarak, geliştirilen nesnelerin interneti tabanlı mobil aquaponik sistem, sürdürülebilir, çevre dostu ve ekonomik bir üretim modeli olarak değerlendirilmektedir. Hem teknolojik yenilik hem de biyolojik verimlilik açısından sağladığı avantajlar, gelecekte tarımsal üretimde otomasyonun ve dijital dönüşümün vazgeçilmez bir parçası olacağını göstermektedir.

6.2. Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen deneyim ve bulgular, geliştirilen sistemin hem teknolojik hem de biyolojik açıdan gelecekte daha kapsamlı biçimde uygulanabileceğini göstermektedir. Öncelikle, sensörlerin kalibrasyon ve ölçüm doğruluğunun artırılması gerekmektedir. pH sensörlerinde zamanla oluşan kireç birikiminin ölçüm sonuçlarını etkilememesi için daha hassas ve kendi kendini temizleyebilen sensörlerin tercih edilmesi önerilmektedir. Ayrıca sistemin uzun dönemli performansını daha sağlıklı değerlendirebilmek amacıyla dört haftalık deney süresinin en az altı aya kadar uzatılması ve mevsimsel değişkenlerin etkisinin izlenmesi yararlı olacaktır. Bu sayede hem ekosistem verimliliği hem de sistemin farklı türlere uyum kabiliyeti bilimsel olarak daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilecektir. Sistemin sürdürülebilirliğini güçlendirmek için enerji optimizasyonu ve yapay zekâ entegrasyonu önem taşımaktadır. Güneş enerjisi destekli güç sistemlerinin entegre edilmesiyle enerji bağımsızlığı artırılabilir. Aynı zamanda, sensörlerden elde edilen verilerin yapay zekâ algoritmalarıyla analiz

edilmesi, sistemin kendi kendine öğrenebilen ve öngörüs el kararlar alabilen bir yapıya dönüşmesine olanak sağlayacaktır. Mobil aquaponik sistemlerin balkon, teras ve çatı gibi kentsel yaşam alanlarına uyarlanması, bireysel üretim modellerinin yaygınlaşmasını destekleyecektir. Bu süreçte eğitim kurumları, belediyeler ve yerel yönetimler tarafından düzenlenecek uygulamalı eğitim programları, özellikle genç kuşakların tarımsal farkındalığının artmasına katkı sunacaktır. Ayrıca, yerel üretim politikalarının geliştirilmesiyle, mobil aquaponik sistemlerin ev tipi tarım projelerine dâhil edilmesi mümkün olacak; böylece yerel gıda güvenliği ve sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşmada önemli bir adım atılmış olacaktır.

6.3. Genel Değerlendirme

Bu çalışma, mobil aquaponik sistemlerin teknolojik, biyolojik ve ekonomik boyutlarını bütüncül biçimde inceleyen yenilikçi bir araştırma olarak değerlendirilmektedir. Araştırmada geliştirilen IoT tabanlı otomasyon altyapısı, hem bitkisel hem de hayvansal üretim süreçlerini gerçek zamanlı izleme ve kontrol edebilme kabiliyeti kazandırmıştır. Sistem, düşük enerji tüketimi, yüksek verimlilik ve sürdürülebilir üretim hedeflerini aynı anda karşılayabilmiştir. Bu durum, özellikle kentsel tarımın yaygınlaşması ve temiz gıdaya erişimin artırılması açısından önemli bir potansiyel ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgular, aquaponik sistemlerin yalnızca bir üretim tekniğı değil, aynı zamanda geleceğın akıllı tarım altyapısının öncüsü olabileceğini göstermektedir. Çilek ve lepestes örneğı üzerinden yapılan denemelerde, sistemin otomatik denge mekanizmaları sayesinde hem büyüme performansının arttığı hem de çevresel istikrarın korunduğı görülmüştür. Bu sonuç, nesnelerin interneti temelli tarım uygulamalarının yalnızca verim artışı sağlamadığını, aynı zamanda insan hatasını azaltarak kaynak kullanımını optimize ettiğini de kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak, geliştirilen mobil aquaponik sistemin hem bilimsel hem de uygulamalı açıdan güçlü bir yenilik sunduğı söylenebilir. Sistem; düşük maliyetli, az bakım gerektiren, çevre dostu ve sürdürülebilir bir üretim modeli olarak özellikle şehir yaşamında uygulanabilir bir alternatif oluşturmaktadır. Bu çalışma, gelecekte akıllı şehirlerin gıda üretim stratejilerinde yer alabilecek nitelikte bir model önermekte ve aquaponik teknolojilerin tarımsal dönüşümdeki rolünü vurgulamaktadır.

7. KAYNAKÇA

- Abraham, S., Shahbazian, A., Dao, K., Tran, H., Thompson, P. (2017) "An Internet of Things (IoT)-based aquaponics facility" In Proceedings of the 2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), San Jose, CA, USA.
- Ali, O.; Ishak, M.K.; Bhatti, M.K.L.; Khan, I.; Kim, K. (2022) "A Comprehensive Review of Internet of Things" Technology Stack, Middlewares, and Fog/Edge Computing Interface. *Sensors*.
- Bayır, Turhan ve H. Bayır, (2023). Sürdürülebilir tarımda alternatif akvakültür sistemlerinden aquaponik sistemlerin lise öğrencilerine tanıtılması. Atatürk Üniversitesi Toplumsal Duyarlılık Projeleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, (s. 4-5).
- B. Yep and Y. Zheng, "Aquaponics trends and challenges: A review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 228, pp. 1586–1599, Aug. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>
- Bradley, K. (2014). Aquaponics: a brief history. *Artikel i Milkwood d*, (s 08-15)
- Blom, T.; Straver, W.; Ingratta, F.; Khosla, S.; Brown, W. (1984). "Carbon Dioxide in Greenhouses; Ministry of Agriculture and Food" Guelph, on, Canada.
- Somerville C., Stankus, Lovatelli, (2014). Small-scale aquaponic food production. *Food And Agriculture Organization Of The United Nations*, (s. 100-164).
- Jose D.C., Lettuce Production Guide, Department of Agriculture Bureau of Plant Industry. Bureau of Fisheries and Aquatic Resources, Techno Guide Series - Tilapia In Ponds, Tacloban City.
- Ecotrope, (2013). "Aquaponics: Growing Fish and Plants Without Soil," .
- Elsokah, M.M.; Sakah, M. (2019). "Next generation of smart aquaponics with internet of things solutions." In Proceedings of the 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Sousse, Tunisia.
- F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, "Fog computing and its role in the Internet of Things," in *Proc. 1st MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, Helsinki, Finland, Aug. 2012, pp. 13–16, <https://doi.org/10.1145/2342509.2342513>
- Garcia, R.; Prados, R.; Quintana, J.; Tempelaar, A.; Gracias, N.; Rosen, S.; Vågstøl, H.; Løvall, K.J. (2020). "Automatic segmentation of fish using deep learning with application to fish size measurement." *ICES J*.
- Hasan, N.; Ibrahim, S.; Aqilah Azlan, A.J. (2022). "Fish diseases detection using convolutional neural network" (CNN). *Int. J. Nonlinear Anal*.
- I. Gjesteland, (2013). "Study of Water Quality of Recirculated Water in Aquaponics Systems," Norwegian University of Science and Technology, Department of Chemistry.
- Jalal, A.; Salman, A.; Mian, A.; Shortis, M.; Shafait, F. (2020). "Fish detection and species classification in underwater environments using deep learning with temporal information." *Ecol. Inform.*
- Lee, C.; Wang, Y. (2020). "Development of a cloud-based IoT monitoring system for Fish metabolism and activity in aquaponics"
- L. Ibrahim, "Comparative evaluation of water quality properties: A case study of coupled commercial aquaponics system," *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, vol. 11, no. 2, pp. 164–175, 2024, <https://doi.org/10.19159/tutad.1432401>
- Mandap, J.P.; Sze, D.; Reyes, G.N.; Dumlao, S.M.; Reyes, R.; Chung, W.Y.D. (2018). "Aquaponics pH level, temperature, and dissolved oxygen monitoring and control

- system using raspberry pi as network backbone. Conference, Jeju, Korea,
- Mohammad Z., (2015.). "Principle Application and Vision in Internet of Things (IoT)," International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA).
- Monkman, G.G.; Hyder, K.; Kaiser, M.J.; Vidal, F.P.(2019). "Using machine vision to estimate fish length from images using regional convolutional neural networks. *Methods Ecol.*
- Bari N. Mani G. and S. Berkovich, (2013). "Internet of Things as a Methodological Concept", Fourth International Conference on Computing for Geospatial Research and Application (COM. Geo): IEEE Conference Publications.
- National Freshwater Fisheries Technology Center Technology and Information Services, Basic Biology of Tilapia, Munoz, Nueva Ecija: Bureau of Fisheries and Aquatic Resources, 2006.
- N. D. Lane, S. Bhattacharya, P. Georgiev, C. Forlivesi, L. Jiao, L. Qendro, and F. Kawsar, "DeepX: A software accelerator for low-power deep learning inference on mobile devices," in *Proc. 15th ACM/IEEE Int. Conf. Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*, Vienna, Austria, Apr. 2016, pp. 1–12, <http://dx.doi.org/10.1109/IPSN.2016.7460664>
- O. Vermesan (2015). "Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems," River Publisher, Oslo, Norway.
- Odema, M.; Adly, I.; Wahba, A.; Ragai, H. (2017) "Smart aquaponics system for industrial Internet of Things (IIoT)." In *Proceedings of the International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics*, Cairo, Egypt.
- P. Kopsa, (2015). "Aquaponics," HAMK University of Applied Sciences.
- R. Beirnatzki and R. Meinecke, (2014). "Closed Greenhouse Concept Integrating Thermal Energy Storage (TES) Applied to Aquaponics Systems," in *IEEE Conference Publications*.
- R. Mahmoud, T. Yousuf, F. Aloul, and I. Zualkernan, "Internet of Things (IoT) security: Current status, challenges and prospective measures," in *Proc. 10th Int. Conf. Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)*, London, UK, Dec. 2015, pp. 336–341, <https://doi.org/10.1109/ICITST.2015.7412116>
- S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, and G. M. Burnell, *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2019, p. 619, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
- Smith, I.G. (2012) "The Internet of Things 2012 New Horizons; CASAGRAS2" Halifax, UK.
- W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, "Edge computing: Vision and challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, Oct. 2016, <https://doi.org/10.1109/IIOT.2016.2579198>
- Web-1. <https://aquasprouts.com/> Erişim tarihi: 12.01.2025
- Web-2. <https://medium.com/> Erişim tarihi:12.03.2025
- Web-3. <https://www.aquaponics.net.au/>Erişim tarihi: 01.02.2025.
- Wolter, D.; Kirsch, A.(2017) "Smart environments: What is it and why should we care?" *KI-Künstliche Intell.*(s 231–237).

8. ETİK KURULU KARARI



9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Adil CEYLAN
Eğitim Durumu:	2023-2025 Gaziantep İslam Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. (Yüksek Lisans; Devam Ediyor) 2007-20011 Marmara Üniversitesi Mekatronik Öğretmenliği (Lisans)
İş Deneyimleri:	2017- Halen: Kızılhisar Mesleki Teknik Anadolu Lisesi Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Alanı Bölüm Şefi, 2016-2017: Hacı Sani Konukoğlu Mesleki Teknik Anadolu Lisesi Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Alanı öğretmeni, 2015-2016: Yavuz Selim Ortaokulu Bilgisayar Teknolojileri Alanı Öğretmeni,
Sertifikalar:	İletişim, Sınai Mülkiyet, Kalite Ve Yönetim, TICMET25 ve ISMSIT25 konferansları.
Yabancı Diller:	İngilizce (Orta)
Bilgisayar Bilgileri:	Solidworks, Proteus, C#, C++, Python (İyi)

