

T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ
TARIM MAKİNELERİ VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

SERA OTOMASYONUNA ENTEGRE YAPAY ZEKA DESTEKLİ
KOMPOST ÇAYI ÜRETİM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ahmet SÜSLÜ

Danışman
Prof. Dr. Recep KÜLCÜ

ISPARTA - 2024

© 2024 [Ahmet SÜSLÜ]

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

17/07/2024

Ahmet SÜSLÜ

.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Tarım ve Teknolojinin Tarihsel Gelişimi.....	4
2.2. Tarım.....	6
2.2.1. Akıllı tarım.....	7
2.2.2. Sürdürülebilir tarım.....	8
2.3. Seracılık.....	10
2.3.1. Seralarda otomasyon ve kontrol sistemleri	14
2.4. Kompost Çayı	16
2.4.1. Kompost çayının tanımı ve önemi	16
2.4.2. Havalandırılmalı kompost çayı (ACT) ve üretim süreci	18
2.4.2.1. Üretim süreci adımları.....	20
2.4.3. Havalandırmaz kompost çayı (NCT) ve üretim süreci.....	21
2.4.3.1. Üretim süreci adımları.....	22
2.4.4. Mikrobiyal aktivite.....	23
2.4.4.1. Kompost çayında bulunan mikroorganizmaların türleri	25
2.4.4.2. Kompost çayı mikroorganizmalarının toprak sağlığına etkileri	29
2.4.5. Kompost çayının uygulama yöntemleri	30
2.4.5.1. Toprağa doğrudan uygulama.....	30
2.4.5.2. Yapraktan uygulama	31
2.4.5.3. Dilüsyon oranları.....	32
2.4.6. Mevcut kompost çayı üretim sistemleri	33
2.4.6.1. Ticari olarak üretilmiş sistemler.....	33
3. MATERYAL VE YÖNTEM	36
3.1. Materyal	38
3.1.1. Kompost çayı üretim sistemini oluşturan bileşenler	38
3.1.1.1. Konstrüksiyon	39
3.1.1.2. Reaktör (demleme tankı).....	40
3.1.1.3. Devirdaim pompası	40
3.1.1.4. Havalandırma sistemi.....	41
3.1.1.5. Peristaltik pompa.....	42
3.1.1.6. Filtre torba	43
3.1.2. Kompost materyali	44
3.1.3. Su ve besin çözeltileri	46
3.1.3.1. Su	46
3.1.3.2. Besin çözeltisi	47
3.1.4. Sensörler.....	48
3.1.4.1. Reaktör sıcaklığı sensörü	49
3.1.4.2. Toplam çözünmüş katı madde (TDS) sensörü	50
3.1.4.3. Bulanıklık sensörü.....	51

3.1.4.4. Çözünmüş oksijen sensörü.....	52
3.1.4.5. pH, EC ve ortam sıcaklığı sensörleri	53
3.1.5. Otomasyon sistemi	54
3.1.5.1. Otomasyon sisteminin tasarımı ve bileşenleri.....	55
3.1.5.2. Elektriksel bağlantılar	57
3.1.5.3. Kullanıcı arayüzü	58
3.1.5.4. PLC yazılımının programlanması	59
3.1.5.5. PC yazılımı ve teknolojik entegrasyon	60
3.1.6. Yapay zeka entegrasyonu.....	62
3.1.6.1. Simülasyon programının geliştirilmesi	63
3.1.6.2. Otomasyon sisteminin makine öğrenmesi ile kontrolü	65
3.1.7. Sera otomasyon sistemi.....	66
3.2. Yöntem	69
3.2.1. Ön denemelerin yürütülmesi	69
3.2.1.1. Manuel kontrol ve veri kayıt denemeleri	70
3.2.1.2. Reaktör sistemi üzerinde yapılan denemeler.....	70
3.2.1.3. Parametrelere bağlı yapılmış ön denemeler	72
3.2.2. Denemelerin gerçekleştirilmesinde izlenen yöntemler	72
3.2.2.1. Reaktör temizliği	73
3.2.2.2. Devirdaim hattının temiz su ile temizlenmesi.....	74
3.2.2.3. Sensör bakım ve kalibrasyonları	74
3.2.2.4. Gerekli materyallerin hazırlanması	74
3.2.2.5. Şebeke suyunun klordan arındırılması	75
3.2.2.6. Kompostun sisteme eklenmesi.....	76
3.2.3. Denemelerin planlanması.....	77
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	79
4.1. Bulgular.....	79
4.1.1. DP1 denemesinde elde edilen veriler	79
4.1.2. DP2 denemesinde elde edilen veriler	85
4.1.3. DP3 denemesinde elde edilen veriler	88
4.1.4. Simülasyon uygulaması	91
4.1.5. Makine öğrenmesinde elde edilen veriler	94
4.2. Tartışma.....	97
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
5.1. Sonuç.....	99
5.2. Öneriler	100
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	110

ÖZET

Doktora Tezi

SERA OTOMASYONUNA ENTEGRE YAPAY ZEKA DESTEKLİ KOMPOST ÇAYI ÜRETİM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ahmet SÜSLÜ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recep KÜLCÜ

Bu doktora tezi, sürdürülebilir tarımı desteklemek ve kimyasal gübre kullanımını azaltmak amacıyla, sera otomasyon sistemlerine entegre edilebilen yenilikçi bir kompost çayı üretim sisteminin geliştirilmesini konu almaktadır. Çalışma, tarım makineleri, çevre mühendisliği ve bilgi teknolojilerini birleştiren multidisipliner bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen sistem, kompost çayı üretim sürecini sürekli izleyen ve kontrol eden sensörler, aktüatörler ve bir otomasyon yazılımı içermektedir. pH, elektriksel iletkenlik (EC), çözünmüş oksijen, sıcaklık, bulanıklık ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) gibi kritik parametreler gerçek zamanlı olarak ölçülüp kaydedilmektedir. Farklı üretim stratejilerinin kompost çayı kalitesi üzerindeki etkilerini belirlemek için üç farklı deneme (DP1, DP2, DP3) gerçekleştirilmiştir. Bu denemeler, devirdaim pompası, blower ve peristaltik pompanın çalışma sürelerinin kompost çayının fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Sistemin yenilikçi yönlerinden biri, üretim sürecini optimize etmek için makine öğrenmesi modelinin entegre edilmesidir. Geliştirilen model, farklı üretim parametrelerinin etkilerini öğrenerek optimal üretim koşullarını belirleyebilme yeteneği göstermiştir. Ayrıca, sistem mevcut sera otomasyon sistemlerine entegre edilebilme özelliğine sahiptir. Bu entegrasyon, kompost çayının tarımsal üretimde daha yaygın ve etkin kullanımını sağlamaktadır.

Geliştirilen sistem kompost çayı üretiminde daha kontrollü, optimize edilmiş ve verimli bir süreç sunmakta, kimyasal gübre kullanımının azaltılmasına yönelik alternatif bir çözüm oluşturmaktadır. Gelecek çalışmalar, farklı kompost materyalleri ve besin maddeleriyle denemelerin yapılmasını, makine öğrenmesi modelinin geliştirilmesini ve sistemin daha geniş ölçekli uygulamalarda test edilmesini içermelidir.

Anahtar Kelimeler: Kompost çayı, Sera otomasyonu, Yapay zeka, Fertigasyon, Sürdürülebilir tarım, Organik gübre

2024, 111 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Dissertation

DEVELOPMENT OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED COMPOST TEA PRODUCTION SYSTEM INTEGRATED WITH GREENHOUSE AUTOMATION

Ahmet SÜSLÜ

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Agricultural Machinery and Technology Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Recep KÜLCÜ

This doctoral thesis focuses on the development of an innovative compost tea production system that can be integrated with greenhouse automation systems, aiming to support sustainable agriculture and reduce chemical fertilizer usage. The study employs a multidisciplinary approach, combining agricultural machinery, environmental engineering, and information technologies.

The developed system incorporates sensors, actuators, and automation software that continuously monitor and control the compost tea production process. Critical parameters such as pH, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen, temperature, turbidity, and total dissolved solids (TDS) are measured and recorded in real-time. Three distinct experiments (DP1, DP2, DP3) were conducted to determine the effects of different production strategies on compost tea quality. These experiments elucidated the impacts of recirculation pump, blower, and peristaltic pump operation durations on the physicochemical properties of compost tea. One of the innovative aspects of the system is the integration of a machine learning model to optimize the production process. The developed model demonstrated the ability to determine optimal production conditions by learning the effects of various production parameters. Furthermore, the system possesses the capability to integrate with existing greenhouse automation systems. This integration facilitates more widespread and effective use of compost tea in agricultural production.

In conclusion, the developed system offers a more controlled, optimized, and efficient process for compost tea production, presenting an alternative solution for reducing chemical fertilizer use. Future studies should include experiments with different compost materials and nutrients, further development of the machine learning model, and testing the system in larger-scale applications.

Key Words: Compost tea, Greenhouse automation, Artificial intelligence, Fertigation, Sustainable agriculture, Organic fertilizer

2024, 111 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin her aşamasında ilham verici liderliği ve sürekli desteği ile bu noktaya gelmemi sağlayan, sadece tez konusunda değil, aynı zamanda hayatımın pek çok alanında da bir mentor olan değerli hocam, saygıdeğer tez danışmanım Prof. Dr. Recep KÜLCÜ'ye en derin teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Fakültemizin değerli öğretim üyeleri, özellikle de bölümümüzdeki hocalarım, lisans eğitimimden bu yana akademik yolculuğumda önemli bir rol oynadılar. Aldığım derslerde ve çeşitli akademik süreçlerde gösterdikleri destek ve rehberlik, mesleki gelişimime kayda değer katkılar sağladı. Bilgi ve deneyimlerini cömertçe paylaşan bu kıymetli akademisyenlere içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim süresince maddi destek sağlayan YÖK 100/2000 Programı Koordinatörlüğü'ne, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Başkanlığı'na ve 2020-BTAP1-0076 No'lu proje kapsamında katkı sunan Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Üniversite eğitimim boyunca hiçbir zaman esirgemedikleri desteklerinden dolayı aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ahmet SÜSLÜ
İSPARTA, 2024

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. 21. Yüzyılda tarımsal üretim yöntemleri	7
Şekil 2.2. Türkiye'nin sera alanları ve sebze meyve üretimi	12
Şekil 2.3. Mevcut ticari kompost çayı üretim sistemleri.....	34
Şekil 3.1. Sistem bileşenlerinin ve işleyişin şematik gösterimi	39
Şekil 3.2. Sistem bileşenlerinin genel görünümü.....	39
Şekil 3.3. Kompost çayı üretimi için özelleştirilmiş HDPE Tank	40
Şekil 3.4. Devirdaim pompasının sistemdeki işleyişi	41
Şekil 3.5. Blower ve difüzörün sistemdeki işleyişi	41
Şekil 3.6. Peristaltik pompa	43
Şekil 3.7. Deneme öncesi ve esnasında kompost materyali doldurulmuş filtre torbası	44
Şekil 3.8. Kullanılan mantar kompostu.....	46
Şekil 3.9. Sensörlerin montajı	48
Şekil 3.10. Sensörler ve transdüserlerin yerleşimleri.....	49
Şekil 3.11. Sistemde kullanılan K tipi termokapl sıcaklık sensörü.....	50
Şekil 3.12. Kullanılan TDS sensörü.....	51
Şekil 3.13. Sistemde kullanılan bulanıklık sensörü	51
Şekil 3.14. Sistem üzerinde kullanılan çözünmüş oksijen sensörü.....	52
Şekil 3.15. Çözünmüş oksijen sensörüne kimyasal ekleme işlemi adımları.....	53
Şekil 3.16. Reaktör üzerine montaj edilmiş çözünmüş oksijen sensörü	53
Şekil 3.17. pH, EC ve ortam sıcaklığı ölçen IoT cihazı	54
Şekil 3.18. Otomasyon sistemini oluştururken izlenen iş akışı.....	55
Şekil 3.19. Otomasyon sistemini oluşturan donanımlar.....	57
Şekil 3.20. Reaktör tarafındaki elektriksel bağlantılar ve giriş portu	58
Şekil 3.21. Oluşturulan arayüz tasarımı	59
Şekil 3.22. PC yazılımına ait ekran görüntüsü	61
Şekil 3.23. Makine öğrenmesi ile kontrol edilmiş sistemin simülasyon grafikleri	65
Şekil 3.24. Sera otomasyon sistemine ait ekran görüntüleri	66
Şekil 3.25. Sera otomasyon sisteminin yönetmesi için oluşturulmuş sera.....	67
Şekil 3.26. Sera otomasyon sistemine ait görüntüler	67
Şekil 3.27. Geliştirilen sera otomasyonu kontrolü ile elde edilmiş bitkiler	68
Şekil 3.28. Fertigasyon sistemi için eklenmiş ayarlara ait ekran görüntüsü	69
Şekil 3.29. Ön denemelerin yapıldığı manuel kontrol ekranına ait görüntü	70
Şekil 3.30. Sızdırmazlık testi esnasında çakılmış görüntüler.....	71
Şekil 3.31. Blower'ın çözünmüş oksijen üzerindeki etkisi	71
Şekil 3.32. Otomatik kontrol sayfasına ait ekran	72
Şekil 3.33. Deneme sonrası kapak ve difüzörde oluşan kalıntılar	73
Şekil 3.34. Devirdaim hattının temizlenmesi.....	74
Şekil 3.35. Materyallerin eklenmesine ilişkin görüntüler	75
Şekil 3.36. Devirdaim pompası ile yapılmış klordan arındırma işlemi.....	76
Şekil 3.37. Deneme başlangıcına ait görüntü.....	76
Şekil 3.38. Deneme sonuna ait görüntü	77
Şekil 4.1. Bileşenlerin çalışma durumu	79
Şekil 4.2. Ortam ve reaktör sıcaklıkları	80
Şekil 4.3. TDS değişimi	80
Şekil 4.4. Devirdaim pompasının çalıştığı esnada yaşanan TDS'deki değişim..	81

Şekil 4.5. Bulanıklık değişimi.....	81
Şekil 4.6. Çözünmüş oksijen değişimi	81
Şekil 4.7. Peristaltik pompa ile yapılan beslemenin çözünmüş oksijen seviyesi üzerindeki etkisi.....	82
Şekil 4.8. pH değişimi.....	82
Şekil 4.9. Besleme anlarının pH üzerindeki etkisi	83
Şekil 4.10. Elektriksel iletkenlik değişimi	84
Şekil 4.11. Bileşenlerin çalışma durumu.....	85
Şekil 4.12. Ortam ve reaktör sıcaklıkları	85
Şekil 4.13. TDS değişimi	86
Şekil 4.14. Bulanıklık değişimi.....	86
Şekil 4.15. Çözünmüş oksijen değişimi	87
Şekil 4.16. pH değişimi.....	87
Şekil 4.17. Elektriksel iletkenlik değişimi	88
Şekil 4.18. Bileşenlerin çalışma durumu.....	88
Şekil 4.19. Ortam ve reaktör sıcaklıkları	89
Şekil 4.20. TDS değişimi	89
Şekil 4.21. Bulanıklık değişimi.....	90
Şekil 4.22. Çözünmüş oksijen değişimi	90
Şekil 4.23. pH değişimi.....	91
Şekil 4.24. Elektriksel iletkenlik değişimi	91
Şekil 4.25. Motor ve sensör korelasyonları.....	92
Şekil 4.26. Simülasyon programının ekran görüntüleri	93
Şekil 4.27. Bileşenlerin çalışma durumu.....	94
Şekil 4.28. Ortam ve reaktör sıcaklıkları	94
Şekil 4.29. TDS değişimi	95
Şekil 4.30. Bulanıklık değişimi.....	95
Şekil 4.31. Çözünmüş oksijen değişimi	96
Şekil 4.32. pH değişimi.....	96
Şekil 4.33. Elektriksel iletkenlik değişimi	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Kompost çayında bulunan bazı mikroorganizma türleri ve fonksiyonları.....	27
Çizelge 3.1. Kullanılan mantar kompostuna ait analiz sonuçları.....	45
Çizelge 3.2. Denemelerde gerçekleştirilen işlemler.....	73
Çizelge 3.3. Deneme planı	78



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

COM	İletişim Portu
DO	Çözünmüş Oksijen
DQN	Deep Q-Network
EC	Elektriksel İletkenlik
GDO	Genetiği Değiştirilmiş Organizma
GPS	Küresel konumlama sistemi
IoT	Nesnelerin İnterneti
PC	Kişisel Bilgisayar
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrolör
RTU	Remote Telemetry Unit
TDS	Toplam Çözünmüş Katı Madde



1. GİRİŞ

Tarım, insanlık tarihi boyunca sürekli bir evrim süreci içinde olmuş ve teknolojik ilerlemelerle birlikte kendini yeniden şekillendirmiştir. İlk dönemlerde insan ve hayvan gücüne dayalı basit aletlerle gerçekleştirilen ve geleneksel yöntemlere bağlı kalan tarım, Sanayi Devrimi ile birlikte mekanizasyonun getirdiği köklü bir dönüşüm yaşamıştır (Topal, 2010). 20. yüzyılın ortalarında, kimyasal gübrelerin ve pestisitlerin yaygınlaşmasıyla tarımda ikinci bir devrim gerçekleşmiştir. "Yeşil Devrim" olarak adlandırılan bu süreç, dünya çapında gıda üretimini önemli ölçüde artırmış ancak aynı zamanda çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir (Ayla ve Altıntaş, 2017). Bu dönemde, geleneksel tarımın sınırlılıklarını aşmak ve yıl boyunca istikrarlı bir üretim sağlamak amacıyla, kontrollü çevre koşullarını sağlayan örtü altı yetiştiricilik giderek yaygınlaşmaya başlamıştır (Dernek, 2006).

Seracılık, bitkileri dış hava koşullarından koruyarak, ısı, nem ve ışık gibi faktörleri düzenleyebilme imkânı sunmuştur. Seracılık, özellikle iklimi değişken veya elverişsiz bölgelerde tarım yapılabilmesini sağlamış ve verimliliği artırmıştır. 20. ve 21. yüzyıllarda, sera teknolojilerindeki yenilikler, birim alandaki üretim kapasitesini ve verimliliğini büyük ölçüde artırmıştır (Pakdemirli vd., 2021). Otomatik iklim kontrol sistemleri, damla sulama, yapay aydınlatma ve ısıtma gibi teknolojiler, seralarda daha hassas ve verimli bir üretim ortamı sağlamıştır (Kürklü ve Çağlayan, 2005).

Bu teknolojik yeniliklerin ötesinde, seracılıkta derinlemesine bir dönüşümü tetikleyen gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle, çeşitlenen sensör teknolojileri ve dijitalleşme sayesinde, bitkisel ve çevresel parametrelerin izlenmesi ve kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi, seralardaki uygulamaların sadece daha etkin değil, aynı zamanda daha entegre ve duyarlı olmasını sağlamıştır (Öztürk vd., 2021). Bu dönüşüm, topraksız tarım yöntemleri gibi yenilikçi uygulamaların ortaya çıkmasına olanak tanımıştır. Topraksız tarım sistemleri, bitkileri besin zengini su çözeltisi ile yetiştirerek toprağa bağlı kısıtlamaları ortadan kaldırmış ve üretimi daha kontrollü bir hale getirmiştir (Başar, 2000). Bu yöntemler, su kullanımını optimize ederek bitki hastalıklarını minimize etme ve yıl boyunca istikrarlı üretim yapabilme gibi önemli avantajlar sağlamıştır (Karadağ vd., 2020).

Sürdürülebilir tarım uygulamalarının önemi artarken, seracılıkta organik gübrelerin ve doğal kaynaklı ürünlerin kullanımı, çevresel zararları minimize etme ve doğal kaynakları koruma hedefleri doğrultusunda ön plana çıkmıştır. Bu kapsamda, kompost çayı gibi sıvı organik gübre alternatifleri, pratik bir çözüm sunmaktadır. Kompost çayı, kompostun su içerisinde fermantasyona uğratılmasıyla elde edilen bir sıvı gübredir. Bu süreç, kompostun mikrobiyal yaşamını aktif hale getirme ve sıvı formda bitkilere uygulanabilir bir gübre üretimidir. Kompost çayının üretimi, fermantasyon süreçlerinin doğru yönetilmesini gerektirmektedir. Bu sürecin doğru yönetimi, kompost çayının içeriğindeki faydalı mikroorganizmaların çoğalmasını sağlayarak, bitki sağlığı ve toprak kalitesi üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır (Karaçal ve Tüfenkçi, 2010; Bayram ve Kaya, 2021).

Gelişmiş sensör teknolojileri ve otomatik dozajlama sistemleri gibi yeni kontrol stratejileri, kompost çayının etkinliğini ve kullanım kolaylığını artırmaktadır. Bu teknolojik ilerlemeler, fermantasyon sürecinin daha dinamik ve adaptif bir şekilde yönetilmesine olanak tanırken, bitkilerin ihtiyaç duyduğu anda uygun miktarlarda kompost çayının uygulanmasını sağlamaktadır. Bu entegrasyon, sürdürülebilir tarım uygulamalarının daha da geliştirilmesine olanak tanırken, çevresel sürdürülebilirliği ve ekolojik dengenin korunmasına katkıda bulunmaktadır (Masour vd., 2014).

Bu bağlamda, seracılık ve tarım uygulamalarındaki teknolojik ilerlemeler ve yenilikçi yöntemler, sürdürülebilir tarımın desteklenmesi ve doğal kaynakların korunması yolunda kritik öneme sahiptir. Kompost çayı ve benzeri sürdürülebilir uygulamalar, gelecekteki tarım stratejilerinde merkezi bir rol oynayarak, tarımsal üretim sistemlerinin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu entegrasyon ve yenilikçi yaklaşımlar, sürdürülebilir tarım uygulamaları için etkin bir çözüm olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, sera otomasyon sistemlerine entegre edilebilecek ve kompost çayı üretim parametrelerinin optimize edilebilmesine imkan tanıyan bir kompost çayı üretim sisteminin geliştirilmesidir. Bu doktora tezinin yapısı ve kapsamı, seracılıkta sürdürülebilir uygulamaları geliştirmek için teknolojik yeniliklerin ve organik yöntemlerin entegrasyonunu uygulama ve bu doğrultuda teknolojik bir ürün geliştirme niteliklerine sahiptir. Tez aşamaları, literatür taraması, mekanik tasarım ve

Üretim, donanım ve sensör kontrolü, masaüstü yazılım geliştirilmesi, farklı parametre yönetim sistemleri kullanılarak kompost ayı retim süreçlerinin yönetilmesi ve harici bir otomasyon sistemine (Sera Otomasyonu) entegrasyonunu içermektedir. İlk olarak, kompost ayı retimi ile ilgili literatür incelenmiş, ardından kompost ayı retim sisteminin mekanik tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Sistemin donanım ve sensörler üzerindeki kontrolleri ile veri okumaları yapılmış, PC üzerinden kontrol ve takip imkanı sağlayan bir masaüstü yazılımı geliştirilmiştir. Periyodik kontrollü denemelerle elde edilen veri setleri kullanılarak bir makine öğrenmesi modeli eğitilmiş ve bu model nerisi ile kompost ayı retimi denemesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu tez kapsamında geliştirilen yazılımın, daha önceden tez yazarının geliştirmiş olduğu hidroponik üretim sistemini ve sera ortam kontrollerini sağlayan tam otomasyonlu bir sera kontrol sistemi ile entegrasyonu da gerçekleştirilmiştir. Teknolojik ürünün geliştirileceği konu itibariyle; tarım makinaları, evre mühendisliği ve bilgi teknolojileri alanlarını birleştiren multidisipliner bir yaklaşımla hem teorik erevesleri hem de pratik uygulamaları kapsayacak şekilde tasarlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Tarım ve Teknolojinin Tarihsel Gelişimi

Tarım, insanlık tarihi boyunca sürekli evrim geçiren ve teknolojik ilerlemelerle şekillenen bir sektör haline gelmiştir. İlk tarım pratikleri, insanların yerleşik hayata geçiş yapmalarıyla başlamış ve zamanla gelişen araçlar ve tekniklerle dönüşmüştür. İnsanlık tarihinin en önemli dönüm noktalarından biri tarımın keşfedilmesiyle başlamıştır. Bu dönem, birçok araştırmacının hemfikir olduğu yaklaşık 10 000 yıl önce, dünyanın farklı bölgelerinde tarımın ortaya çıkışı ve yaygınlaşmasıyla tanımlanmıştır (Martin-Merino, 2021). Bu süreçten önce insanlar, hayatlarını idame edebilmek için avcı-toplayıcı tekniklerini kullanmışlardır. Tarıma geçiş, daha sonra ilk kentsel medeniyetlerin ortaya çıkışına, gelişimine yol açmış ve yerleşik topluluklar için o dönemde hayal edilmesi güç bir zenginlik ve maddi refah sağlamıştır. Bu süreç, "Neolitik Devrim" olarak adlandırılmıştır (Svizzero, 2017; Shavit ve Sharon, 2023).

Tarımın tarihsel gelişiminde, 18. yüzyılda başlayan, tarım ve toplum üzerinde derin etkiler bırakan bir dönüşüm süreci daha yaşanmıştır. Bu süreç ise Sanayi Devrimi olarak adlandırılmıştır. Bu dönem, tarım tekniklerinde ve üretim yöntemlerinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Bu yolla oluşan tarımsal üretimdeki artış, nüfusun hızla artmasına ve kentsel alanların genişlemesine sebep olmuştur (Weisdorf, 2006). Sanayi Devrimi sırasında, tarım teknolojilerindeki gelişmeler, özellikle buhar gücünün ve daha sonra içten yanmalı motorların kullanımı, tarımsal üretimde büyük bir sıçrama yaratmıştır. Bu dönemde, tarım makineleri ve ekipmanları, toprak işleme, ekim ve hasat süreçlerini hızlandırmış ve daha verimli hale getirmiştir. Bu teknolojik ilerlemeler, tarım işçilerinin sayısını azaltırken, tarımsal üretimi artırmış ve kırsal alanlardan kentsel alanlara göçü teşvik etmiştir (Roberts, 2013).

Sanayi Devrimi, aynı zamanda tarım ürünlerinin işlenmesi ve dağıtım alanlarında da yenilikler getirmiştir. Gıda işleme ve saklama teknolojilerindeki gelişmeler, ürünlerin daha uzun süre tazeliğini korumasını ve geniş pazarlara ulaşmasına olanak tanımıştır (Koutchma ve Ezzatpanah, 2021). Demiryolu ve buharlı gemiler gibi ulaşım teknolojilerinin gelişmesi, tarım ürünlerinin daha hızlı ve daha geniş alanlara taşınmasına da olanak sağlamıştır (Jideani vd., 2020).

Sanayi Devrimi'nin tarım üzerindeki etkileri, sadece teknolojik yeniliklerle sınırlı kalmamış, toplumsal ve ekonomik yapıda da önemli değişikliklere yol açmıştır. Kırsal alanlardan kentlere göç, kentsel nüfusun artmasına ve yeni sosyal sınıfların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Tarımın mekanizasyonu, kırsal alanlarda işsizliği artırmanın yanı sıra kentsel alanlarda iş gücü arzını da artırmıştır. Bu süreç, kentsel alanlardaki sanayi işletmelerinin gelişmesine ve genişlemesine katkıda bulunmuştur. Sanayi Devrimi, tarım sektörünü ve toplumu köklü bir şekilde dönüştürmüş; tarım tekniklerindeki ve üretim yöntemlerindeki yaşanan yenilikler, nüfusun artmasına, kentsel alanların genişlemesine ve toplumsal yapının değişmesine yol açmıştır. Bu dönem, modern tarım anlayışının doğuşuna neden olmuş ve günümüzdeki tarım ve toplum yapısının şekillenmesinde önemli bir rol oynamıştır (Küçükkalay, 1997).

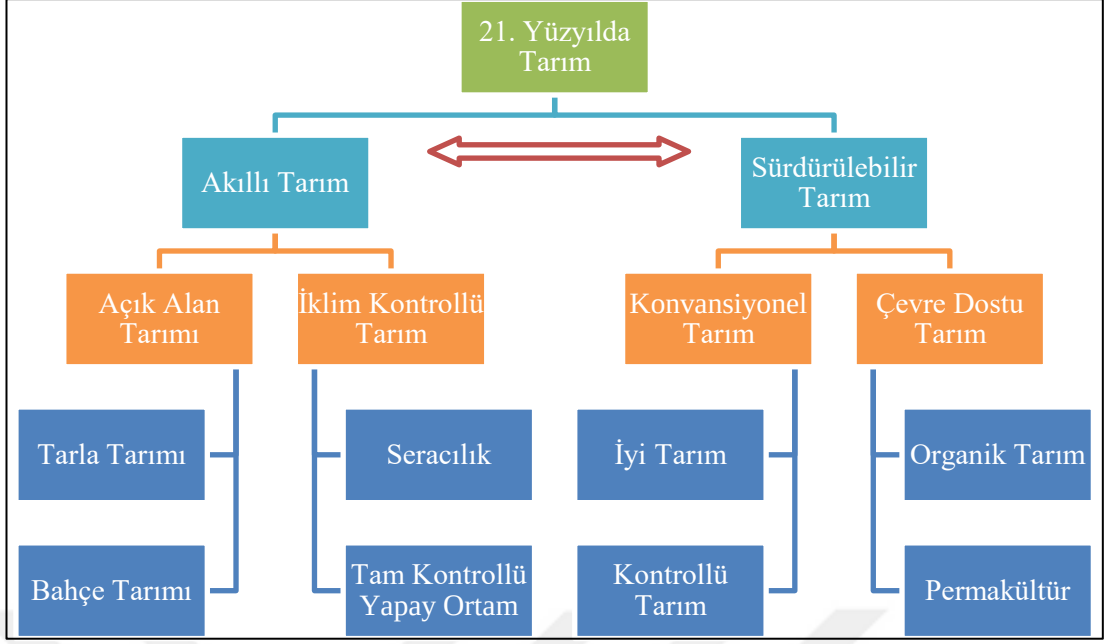
20. yüzyılın ortalarında başlayan Yeşil Devrim, küresel tarım sektöründe önemli bir dönüşümü temsil etmiştir. Bu dönem, özellikle gelişmekte olan ülkelerde gıda üretimini artırmak ve gıda güvenliğini sağlamak amacıyla yüksek verimli tohumlar, kimyasal gübreler ve gelişmiş sulama tekniklerinin kullanımını içermektedir. Yeşil Devrim, dünya genelinde tarımsal üretimi önemli ölçüde artırmış, ancak aynı zamanda çevresel ve sosyal sorunlara da yol açmıştır. Bu süreçte, geleneksel tekniklerin yanı sıra mutasyon yetiştiriciliği, DNA rekombinant teknolojisi ve genom düzenleme teknikleri gibi yenilikçi yöntemler de kullanılmaya başlanmış, bu yöntemler bitkilerin verimini, kalitesini ve stres direncini artırmıştır (Hamdan vd., 2022). Farklı bölgelerde yapılan çalışmalar, tarımsal üretim sistemlerinde geniş çaplı değişikliklerin ve verimlilik artışlarının yaşandığını ortaya koymuştur (Murgai, 2001; Stepha, 2022). Yeşil Devrim'in etkileri, sonraki dönemlerde Biyoteknolojik Devrim, Organik Tarım Hareketi, Sürdürülebilir Tarım, Dijital ve Hassas Tarım ve İklim Akıllı Tarım gibi yeni tarımsal yaklaşımların ortaya çıkmasına öncülük etmiştir.

Bu tarihsel gelişmeler, günümüzün akıllı tarım ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının temelini oluşturmuştur. Neolitik Devrim'den başlayarak, Sanayi Devrimi ve Yeşil Devrim ile devam eden teknolojik ilerlemeler, modern seracılık tekniklerinin ve kompost çayı gibi organik gübreleme yöntemlerinin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu tarihsel perspektif, günümüz tarım uygulamalarını daha iyi anlamamıza ve geleceğin sürdürülebilir tarım çözümlerini geliştirmemize yardımcı olmaktadır.

2.2. Tarım

Tarım, insanların bitkisel ve hayvansal ürünler üretmek, yetiştirmek ve hasat etmek için doğal kaynakları yönettiği bir süreçtir. Bu süreç, toprağın işlenmesi, bitkilerin ekilmesi ve büyütülmesi, hayvanların beslenmesi ve bakımı gibi faaliyetleri içerir. Tarım, insanlık tarihi boyunca sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan büyük bir öneme sahip olmuştur (Pimentel ve Pimentel, 2008). Tarımın temel amacı, insanların gıda ihtiyacını karşılamak olsa da tarım aynı zamanda lif, biyoenerji ve diğer birçok temel malzemenin üretimini de sağlar (FAO, 2020). Gıda güvenliği, tarımın en kritik yönlerinden biridir ve tarımın sürdürülebilir yöntemlerle yapılması, artan dünya nüfusunu besleme kapasitesini korumak için hayati öneme sahiptir. Ayrıca ekonomik açıdan da büyük bir öneme sahiptir. Birçok ülke için önemli bir gelir kaynağı olan tarım, milyonlarca insan için istihdam sağlar ve ulusal ekonomilerin temel taşlarından biridir (World Bank, 2008). Ayrıca, tarım, kırsal alanların gelişimini destekleyerek, kırsal ve şehir arasındaki ekonomik farklılıkları azaltmada da önemli bir role sahiptir (FAO, 2020). Çevresel açıdan değerlendirildiğinde tarım, doğal kaynakların yönetimi ve korunması açısından çift yönlü bir etkiye sahiptir. Doğru yönetildiğinde, toprak koruma, su yönetimi ve biyoçeşitliliğin korunması gibi çevresel faydalar sağlayabilir. Ancak, yanlış uygulamalar erozyon, su kirliliği ve habitat kaybı gibi çevresel sorunlara yol açabilir (Tilman vd., 2002). Bu bağlamda, tarım, insanların temel ihtiyaçlarını karşılayan, ekonomik kalkınmayı destekleyen ve çevresel sürdürülebilirliği etkileyen kritik bir insan faaliyetidir. Bu nedenle, tarımın sürdürülebilir yöntemlerle yapılması, gelecek nesiller için gıda güvenliğini, ekonomik istikrarı ve çevresel sağlığı korumak açısından büyük bir öneme sahiptir.

Günümüzde, tarımsal üretim yöntemleri hızla gelişmekte ve değişen teknolojilerle birlikte yeni boyutlar kazanmaktadır. 21. yüzyılda tarım yöntemleri akıllı tarım ve sürdürülebilir tarım olmak üzere iki ana eksen etrafında şekillenmektedir. Bu eksenler arasında karşılıklı bir ilişki bulunmaktadır; yani, bu gruplandırmalar birbirinden bağımsız değildir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, bu iki ana eksen altında çeşitli alt kategoriler ve uygulamalar yer almakta, bunlar arasında da karşılıklı etkileşimler bulunmaktadır.



Şekil 2.1. 21. Yüzyılda tarımsal üretim yöntemleri

2.2.1. Akıllı tarım

Akıllı tarım, tarımsal üretim süreçlerinin optimizasyonu ve verimliliğin artırılması amacıyla ileri teknolojilerin kullanımını içeren yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu kavram, sensör teknolojileri, IoT (Nesnelerin İnterneti, Internet of Things), yapay zeka, büyük veri analitiği ve robotik gibi teknolojilerin tarımsal uygulamalara entegrasyonunu kapsar. Akıllı tarım, geleneksel tarım yöntemlerini dönüştürerek, kaynakların daha etkin kullanımını, çevresel etkilerin azaltılmasını ve üretim verimliliğinin artırılmasını hedefler.

Akıllı tarımın temelinde, tarımsal verilerin toplanması, analizi ve yorumlanması yatmaktadır. Hassas tarım uygulamaları, akıllı tarımın önemli bir bileşenidir ve GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi, Global Positioning System) teknolojisi, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak, tarla içi değişkenlikleri dikkate alan hedeflenmiş müdahalelere olanak tanır (Wolfert vd., 2017). Bu yaklaşım, gübreleme, sulama ve ilaçlama gibi işlemlerin optimizasyonunu sağlayarak, girdi kullanımını azaltır ve çevresel etkileri minimize eder.

Hassas tarım uygulamalarından elde edilen büyük miktardaki veriyi işlemek ve anlamlı sonuçlara dönüştürmek için gelişmiş analiz yöntemlerine ihtiyaç

duyulmaktadır. Bu veri işleme ihtiyacını karşılamak için, yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmaları, akıllı tarımda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu teknolojiler, bitki hastalıklarının erken teşhisi, verim tahmini ve otomatik karar destek sistemleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır (Liakos vd., 2018). Örneğin, derin öğrenme algoritmaları, drone veya uydu görüntülerinden bitki sağlığı ve stres durumlarını tespit edebilmekte, çiftçilere önden müdahale imkanı sunmaktadır.

Robotik ve otomasyon sistemleri, akıllı tarımın bir diğer önemli bileşenidir. Otonom traktörler, hasat robotları ve insansız hava araçları, işgücü verimliliğini artırırken, hassas ve tekrarlanabilir işlemler gerçekleştirmeyi mümkün kılmaktadır (Shamshiri vd., 2018). Bu teknolojiler, özellikle işgücü sıkıntısı yaşanan bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmakta ve işlem hassasiyetini artırmaktadır.

Bu teknolojik ilerlemelerin bütünü göz önüne alındığında, akıllı tarım, tarımsal üretimde verimliliği artıran, çevresel sürdürülebilirliği sağlayan ve gıda güvenliğine katkıda bulunan yenilikçi bir yaklaşımdır. Hassas tarım, yapay zeka, robotik, açık alan tarımı ve iklim kontrollü tarım gibi bileşenleri ile tarımsal üretimde devrim yaratmakta ve geleceğin tarım yöntemlerini şekillendirmektedir. Bu teknolojilerin etkin kullanımı, tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin ve verimliliğin artırılması için büyük bir potansiyel sunmaktadır.

2.2.2. Sürdürülebilir tarım

Sürdürülebilir tarım, mevcut ve gelecek nesillerin gıda ihtiyaçlarını karşılarken, doğal kaynakları koruyan ve çevresel etkileri minimize eden bir tarım yaklaşımıdır. Bu kavram, ekolojik dengeyi gözetken, ekonomik olarak uygulanabilir ve sosyal açıdan adil tarımsal uygulamaları kapsar. Sürdürülebilir tarım, biyoçeşitliliğin korunması, toprak ve su kaynaklarının etkin yönetimi ve iklim değişikliğine adaptasyon gibi birçok hedefi bünyesinde barındırır.

Sürdürülebilir tarımın gelişimi, konvansiyonel tarım uygulamalarının çevresel etkilerinin anlaşılmasıyla yakından ilişkilidir. Konvansiyonel tarım, 20. yüzyılın ortalarından, özellikle 1960'lardan itibaren Yeşil Devrim'le birlikte yaygınlaşmış, yüksek verimlilik ve büyük ölçekli üretimi hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu sistem,

sentetik gübreler, pestisitler ve yoğun mekanizasyon kullanımına dayanır. Ancak, bu yoğun kimyasal kullanımı ve tek ürün yetiştirme sistemi, toprak ve su kirliliği, biyoçeşitlilik kaybı ve insan sağlığı üzerinde potansiyel riskler gibi sorunları beraberinde getirmiştir (Tilman vd., 2002).

Sürdürülebilir tarımın temel prensiplerinden biri, toprak sağlığının korunması ve iyileştirilmesidir. Bu bağlamda, minimum toprak işleme, örtü bitkileri kullanımı ve ekim nöbeti gibi uygulamalar önem kazanmaktadır. Bu yöntemler, toprak erozyonunu azaltırken, organik madde içeriğini artırır ve toprak mikrobiyal aktivitesini destekler (Lal, 2020). Sağlıklı topraklar, karbon tutma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle, iklim değişikliği ile mücadelede de önemli bir rol oynamaktadır.

Su kaynaklarının etkin yönetimi, sürdürülebilir tarımın bir diğer kritik bileşenidir. Damla sulama, yağmur suyu hasadı ve hassas sulama teknikleri gibi uygulamalar, su kullanım verimliliğini artırırken, su stresini azaltmaktadır (Chartzoulakis ve Bertaki, 2015). Bu yaklaşımlar, özellikle su kıtlığı yaşanan bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamada hayati öneme sahiptir.

Biyoçeşitliliğin korunması ve artırılması, sürdürülebilir tarımın önemli hedeflerinden biridir. Çoklu bitki yetiştirme sistemleri, tarım-orman birlikteliği ve yerel tohum çeşitlerinin kullanımı, tarımsal ekosistemlerdeki biyolojik çeşitliliği artırır (Altieri ve Nicholls, 2017). Biyoçeşitlilik, ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesi, zararlı ve hastalık kontrolü ve iklim değişikliğine adaptasyon açısından kritik öneme sahiptir.

Sürdürülebilir tarım, kimyasal girdilerin azaltılmasını ve doğal süreçlerin optimize edilmesini hedefler. Entegre zararlı yönetimi, biyolojik mücadele yöntemleri ve organik gübreleme uygulamaları, bu yaklaşımın önemli bileşenleridir (Pretty ve Bharucha, 2014). Bu uygulamalar, çevresel etkileri azaltırken, gıda güvenliğini ve kalitesini artırmayı amaçlar.

evre dostu tarım uygulamaları, sürdürülebilir tarımın önemli bir parçasıdır. Bu yaklaşım, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik eder. Güneş enerjisi sistemleri, biyokütle enerjisi ve rüzgar türbinleri gibi teknolojiler, tarımsal üretimin karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olur (Shamshiri vd., 2018).

Sürdürülebilir tarımın yaygınlaşması, çiftçilerin eğitimi, uygun politika ve teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi gibi sosyo-ekonomik faktörlere de bağlıdır. Ayrıca, tüketici bilinçlendirme çalışmaları ve sürdürülebilir gıda sistemlerinin desteklenmesi de bu süreçte önemli rol oynamaktadır (Wezel vd., 2014).

Sonuç olarak, sürdürülebilir tarım, konvansiyonel tarımın verimlilik avantajlarını korurken, çevre dostu uygulamaları entegre ederek, ekolojik sürdürülebilirlik ile tarımsal üretkenlik arasında bir denge kurmayı amaçlar. Bu yaklaşım, gıda güvenliğini sağlarken doğal kaynakları korur ve çevresel etkileri en aza indirir. Sürdürülebilir tarım yaklaşımları, akıllı tarım teknolojileriyle entegre edildiğinde, tarımsal üretimin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini daha da artırma potansiyeline sahiptir. Bu entegrasyon, geleceğin tarım sistemlerinin şekillenmesinde kritik bir rol oynayacaktır.

Bu tez çalışması ile, sera otomasyon sistemlerine entegre edilebilecek ve kompost çayı üretim parametrelerinin optimize edilmesine imkan tanıyan bir kompost çayı üretim sistemi geliştirilmiştir. Bu bağlamda, akıllı tarım ve sürdürülebilir tarım eksenlerinin bir arada kullanımı için gerekli bağ tez kapsamında geliştirilmiş olan otomasyon sistemi ile sağlanmıştır.

2.3. Seracılık

Seracılığın tanımı ve tarihçesi, tarımın en yenilikçi ve teknolojik yönlerinden birini temsil etmektedir. Seracılık, bitkilerin kontrollü bir çevre içinde yetiştirilmesini sağlayan bir tarım yöntemidir. Bu yöntem, bitkiler için ideal büyüme koşullarını yaratmayı amaçlar ve böylece dış hava koşullarının olumsuz etkilerinden korur. Seracılığın tarihçesi, insanların bitkileri korumak ve mevsim dışı ürünler yetiştirmek için yaratıcı çözümler aradığı antik zamanlara kadar uzanır. Bu konuda yapılan çalışmalarda, seraların ilk kullanımlarının antik Roma'da başladığı belirtilmiştir, bu dönemde egzotik bitkileri yetiştirmek için küçük seralar kullandıkları bilinmektedir (Balas vd., 2010). Ortaçağ'da Avrupa'da seralar, özellikle tıbbi bitkilerin yetiştirilmesi için manastırlarda kullanılmaya başlanmıştır (Nemali, 2022).

Son iki yüzyıl içinde, sera teknolojileri önemli ölçüde gelişmiştir. 19. yüzyılda İngiltere'de başlayan cam seralar, özellikle botanik araştırmalar için popüler bir araç haline gelmiştir. Bu dönemde, seralar daha gelişmiş hale gelerek ve geniş cam yapılar kullanılarak daha büyük ve daha düzenli bitki koleksiyonları yetiştirilmeye başlanmıştır (Chebanov vd., 2021).

Dünya genelinde seracılık, farklı iklim ve toprak koşullarında tarımsal üretim yapılabilmesini sağlamış ve gıda güvenliğine önemli katkılarda bulunmuştur. Gelişmekte olan ülkelerde seracılığın yaygınlaşması, yerel ekonomilere destek sağlamakta ve tarımsal üretimde verimliliği artırmaktadır (Aznar-Sánchez vd., 2020). Ayrıca, seracılık teknolojilerindeki yenilikler, su ve gübre kullanımını optimize ederek çevresel etkileri azaltmakta ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmektedir (Liu vd., 2020).

Sanayileşmiş ülkelerde ise seracılık, özellikle sebze ve süs bitkileri üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu bölgelerde seracılık, yüksek teknolojiye sahip otomasyon sistemleri ve gelişmiş iklim kontrol mekanizmaları ile donatılmıştır, bu sayede yıl boyunca düzenli üretim yapılabilmesi mümkün olmaktadır (Badu, 2023).

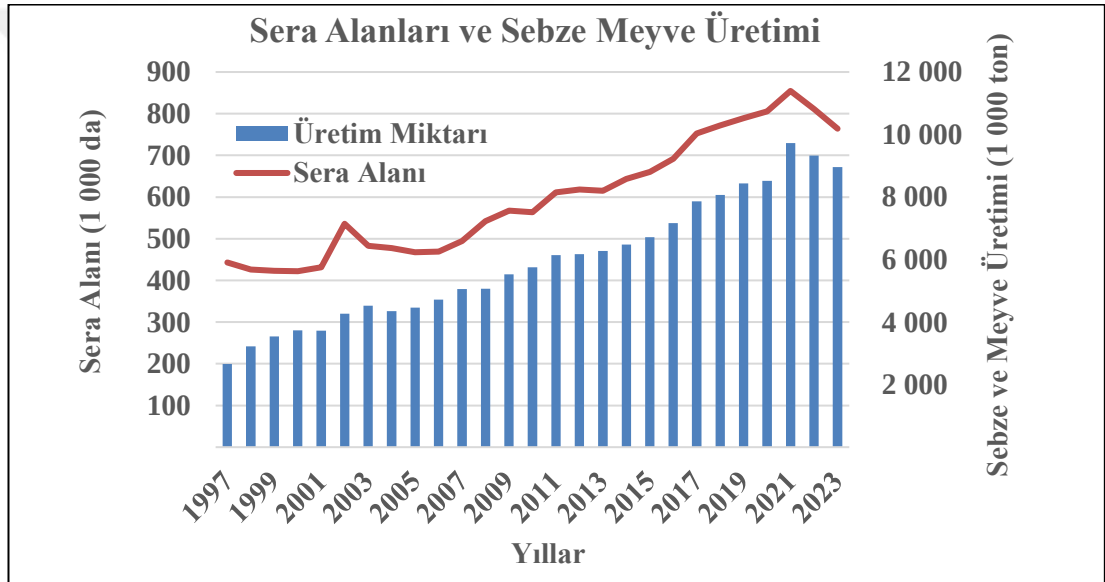
Seracılığın küresel düzeyde yayılmasını sağlayan faktörler arasında, artan nüfus ve şehirleşme, tarımsal arazilerin azalması, iklim değişiklikleri gibi çevresel baskılar bulunmaktadır. Bu faktörler, seracılık teknolojilerine yapılan yatırımların artmasına ve bu alanda inovasyonların hız kazanmasına neden olmaktadır (Campbell vd., 2017).

Türkiye'de seracılığın durumu ve gelişimi, özellikle son yıllarda hız kazanmıştır. Ülkedeki sera alanlarının genişlemesi, tarımsal üretimdeki verimliliği artırmış ve ihracat potansiyelini güçlendirmiştir. Türkiye, Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bölgelerde seracılığı yaygınlaştırarak, özellikle sebze ve meyve üretiminde önemli bir üretici haline gelmiştir (Fenkli ve Filiz, 2013). Ayrıca, seracılık teknolojilerinde yapılan yenilikler ve devlet tarafından sağlanan destekler, bu alandaki gelişmeleri daha da hızlandırmıştır.

Seracılık, Türkiye'de genellikle aile işletmeleri tarafından yürütülen küçük ve orta ölçekli işletmelerde görülmektedir. Bu işletmeler, modern seracılık tekniklerini

benimseyerek ürün kalitesini ve çeşitliliğini artırmışlardır. Buna ek olarak, özellikle Antalya, İzmir ve Mersin gibi illerde seracılık, yerel ekonomi için büyük bir gelir kaynağı oluşturmaktadır (Karkacier, 2020).

Seracılığın Türkiye'deki gelişimi, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre son yıllarda dikkate değer bir artış göstermiştir. Bu artış, hem sera alanlarının genişlemesi hem de üretilen ürün miktarı ve ürün miktarındaki artışla kendini göstermektedir. Şekil 2.2'deki grafik, 1997 yılından 2023 yılına kadar Türkiye'deki seralarda üretilen sebze ve meyve miktarındaki ve sera alanlarındaki değişimi göstermektedir.



Şekil 2.2. Türkiye'nin sera alanları ve sebze meyve üretimi (TÜİK, 2024).

Bu artışın arkasında yatan temel faktörlerden biri, seracılık teknolojilerindeki gelişmeler ve devletin tarımsal destek politikalarıdır. Modern sulama sistemleri, otomatik iklim kontrol mekanizmaları ve geliştirilmiş hastalık önleme stratejileri sayesinde verimlilik önemli ölçüde artırılmıştır. Ayrıca, devletin sağladığı teşvikler ve yatırımlar, seracılık sektörünün büyümesine önemli katkılarda bulunmuştur. Türkiye'deki seracılık sektörü, sürekli gelişmekte ve genişlemekte olup, hem iç piyasa ihtiyaçlarını karşılamakta hem de ihracat potansiyelini artırmaktadır. Bu trendin gelecek yıllarda da devam etmesi beklenmektedir (Gürpınar ve Aktürk, 2023).

Bu artışla birlikte, seracılıkta kullanılan gelişmiş teknolojiler ve otomasyon sistemleri, sektörün sürdürülebilir ve verimli bir şekilde büyümesine olanak sağlamıştır. Modern seracılık teknolojileri, bitki büyümesini optimize etmek, kaynak kullanımını azaltmak ve üretim süreçlerini daha verimli hale getirmek için tasarlanmaktadır. Özellikle otomatik iklim kontrol sistemleri, istenen sıcaklık ve nem koşullarını sürekli olarak sağlayarak bitkilerin sağlıklı büyümesini amaçlamaktadır. Bu sistemler, aynı zamanda enerji tüketimini minimize etmeyi ve sera içi iklim şartlarını ideal düzeyde tutarak oluşabilecek hastalık risklerindeki azaltmayı hedeflemektedir.

Otomatik sulama sistemleri, suyun daha etkin kullanılmasını sağlayarak, su tasarrufuna katkıda bulunur. Bu sistemler, bitkilerin ihtiyaç duyduğu su miktarını doğru bir şekilde hesaplayarak, yalnızca gerekli olduğunda sulama sistemini devreye almaktadır. Bu da hem su israfını önler hem de bitkilerin sağlıklı gelişimine yardımcı olur. Ayrıca, otomatik gübreleme sistemleri, bitkilerin besin ihtiyaçlarını karşılamak için gereken gübreyi doğru dozlarda ve zamanlarda uygulama işlemini gerçekleştirir. Bu da, toprakta besin dengesini koruyarak bitki büyümesini teşvik eder.

Gelişmiş hastalık ve zararlı kontrol yöntemleri, seralarda kullanılan diğer önemli otomasyon sistemleridir. Bu sistemler, hastalık ve zararlıların erken teşhisini sağlayarak, hızlı ve etkili müdahalelerle zararın önüne geçebilmektedir. Bu da, ürün kaybını azaltarak bitki sağlığını korumaya yardımcı olur.

Sonuç olarak, seracılıkta kullanılan bu otomasyon sistemleri, Türkiye'de ve dünya genelinde seracılık sektörünün büyümesine ve gelişimine büyük katkılar sağlamaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde seralar, daha az kaynakla daha fazla ürün üretebilir hale gelmiş ve bu da hem ekonomik hem de çevresel açıdan faydalar sağlamıştır. Bu trendin gelecek yıllarda daha da ileriye taşınması ve seracılığın daha yenilikçi çözümlerle donatılması beklenmektedir.

2.3.1. Seralarda otomasyon ve kontrol sistemleri

Seralarda otomasyon ve kontrol sistemleri, bitki yetiştiriciliğinin verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir tarımı desteklemek için kritik bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, sera içi ortam koşullarını otomatik olarak düzenleyerek ideal büyüme koşullarını sağlar ve işgücü ihtiyacını azaltarak kaynak kullanımını optimize eder. Shirsath vd. (2017) tarafından yapılan çalışmalar, bu sistemlerin sera yönetimini tamamen otomasyona taşıyarak daha akıllı ve verimli üretim ortamları yaratılmasını sağladığını göstermektedir. Silva vd. (2016) tarafından geliştirilen ileri otomasyon sistemi, sıcaklık, nem, toprak nemi ve ışık yoğunluğu gibi önemli çevresel koşulları sürekli izleyip kontrol ederken, Yang vd. (2023) tarafından Çin'deki sera ortamları için geliştirilen otomatik kontrol sistemi, tam otomatik sera ortamı kontrolünü hedefleyerek işlevsellik ve düşük maliyet sunmayı amaçlamaktadır. Sensör teknolojilerinin günümüzde geldiği noktaya bağlı olarak, optimal bitki büyümesi ve verimliliği sağlamak amacıyla seralarda kontrol edilebilen başlıca uygulamalar ve işlevler şunlardır (Badu, 2023):

- **Sıcaklık:** Bitkilerin büyümesi için ideal sıcaklık koşullarının sağlanması ve aşırı sıcak veya soğuk koşullardan korunması.
- **Nem:** Yüksek veya düşük hava neminin kontrol altında tutulması, bitki sağlığı ve hastalık önleme.
- **Karbon Dioksit (CO₂) Seviyesi:** Fotosentez için gerekli olan karbon dioksit seviyesinin optimize edilmesi.
- **Işık:** Bitkilerin büyümesi için gerekli olan ışık miktarının ve süresinin kontrolü.
- **Toprak Nem ve pH Değerleri:** Toprak nem seviyesinin ve pH değerinin izlenmesi ve düzenlenmesi, sağlıklı kök gelişimi.
- **Havalandırma:** Sera içerisindeki hava sirkülasyonunun kontrolü, aşırı sıcaklık ve nemin önlenmesi.
- **Sulama:** Su miktarının ve sulama zamanlamasının doğru bir şekilde ayarlanması, su tasarrufu ve bitkilerin ihtiyaçlarına uygun sulama sağlanması.
- **Gübreleme:** Bitkilerin besin ihtiyacına göre gübrelemenin dozajlanması ve uygulanması.
- **Hastalık ve Zararlı Kontrolü:** Zararlı böcek ve hastalıklara karşı koruyucu önlemlerin alınması ve gerektiğinde müdahale edilmesi.

Seralarda kullanılan otomasyon sistemleri, su ve gübre kullanımını daha verimli yönetmek, bitkilerin büyüme koşullarını ideal seviyede tutmak ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla çeşitli cihazları ve teknolojileri üretime entegre eder. Sensörler aracılığıyla toplanan veriler, bitkilerin suya ve besine olan ihtiyaçlarını gerçek zamanlı olarak analiz eder ve otomatik sulama ve gübreleme sistemleri bu verilere dayanarak devreye girer. Böylece, su ve gübre kullanımı maksimum düzeyde verimlilikle gerçekleştirilirken, bitki sağlığı ve ürün kalitesi de artırılır. Ayrıca, bu sistemler enerji tüketimini düşürerek işletme maliyetlerini azaltır ve daha sürdürülebilir bir üretim süreci sağlar.

Sera otomasyonunda kullanılan cihazlar arasında, çevresel koşulları izleyen sensörler, bu verilere dayanarak işlem yapan aktüatörler ve süreçleri koordine eden kontrol üniteleri bulunur. Programlanabilir Mantık Kontrolörleri (PLC) bu sistemlerin merkezinde yer alır. PLC'ler, çeşitli girdileri alarak karmaşık kararlar verebilir ve aktüatörleri uygun şekilde yönlendirir. Bu cihazlar, enerji verimliliğini artırmak, kaynak tüketimini azaltmak ve üretim süreçlerini otomatikleştirmek için kritik öneme sahiptir (Yang vd., 2023). Otomasyon sistemlerinin temeli, yüksek düzeyde programlanabilir ve esnek olan PLC gibi mikroişlemciler üzerine kuruludur. Bu sistemler, sensörlerden gelen verileri işleyerek, gerektiğinde aktüatörleri harekete geçirir.

Günümüz seracılık otomasyon sistemleri, yapay zeka ve makine öğrenmesi teknolojileri ile entegre edilmekte, bu sayede daha akıllı ve adaptif kontrol mekanizmaları geliştirilmektedir. Örneğin, çeşitli parametreleri gerçek zamanlı olarak ayarlayabilen ve bitki sağlığına en uygun koşulları otomatik olarak sağlayabilen yapay zeka destekli algoritmalar, seralarda kullanılmaktadır. Bu sistemler, aynı zamanda enerji kullanımını optimize etmekte ve toplam operasyonel maliyetleri düşürmektedir (Fernando vd., 2020).

2.4. Kompost Çayı

2.4.1. Kompost çayının tanımı ve önemi

Kompost çayı, organik atıkların su içinde demlenmesiyle elde edilen, mikroorganizmalar açısından zengin bir sıvı gübredir. Bu biyolojik olarak aktif çözelti, bitki beslenmesi ve hastalık kontrolünde kullanılır. Bu özel gübre türü, organik atıkların su içinde çözündürülmesi ve mikrobiyal aktivitenin artırılması için oluşturulmuş süreçleri içerir. Kompost çayının üretimi sırasında, kompost materyali belirli bir süre su içerisinde tutularak, çeşitli mikroorganizmaların çoğalması sağlanır ve bu mikroorganizmaların toprak ve bitkilerle etkileşimi, bir dizi yararlı biyolojik etkinin ortaya çıkmasına yardımcı olur (Ingham, 2005).

Kompost çayının üretiminde izlenen 2 temel yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler, havalandırmalı kompost çayı (Aerated Compost Tea - ACT) ve havalandırmaz kompost çayı (Non-aerated Compost Tea - NCT) olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir. ACT, kompost materyalinin su içerisine yerleştirildiği ve sürekli olarak hava verilerek mikroorganizmaların aerobik koşullarda çoğalmasının teşvik edildiği bir yöntemdir. Bu yöntem, çayın mikrobiyal aktivitesini artırarak bitki sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini maksimize eder (Scheuerell ve Mahaffee, 2004). Öte yandan, NCT ise ekstra hava verilmeden, kompostun su içerisinde demlenmesine izin verilerek hazırlanır; bu süreçte anaerobik mikroorganizmalar baskın hale gelir (Kim vd., 2015). Her iki yöntem de, kullanılan kompostun kaynağına, olgunluğuna ve demleme süresine bağlı olarak farklı mikrobiyal popülasyonlar ve biyoaktif maddeler içerebilir, bu da çayın bitki hastalıklarıyla mücadeledeki etkinliğini değiştirebilir (Martin vd., 2012). Bu çeşitlilik, kompost çayının tarımsal uygulamalarda nasıl kullanılacağına dair stratejiler geliştirilmesinde önemli bir faktördür.

Kompost çayı denildiğinde akla ilk gelen yöntem genellikle havalandırmalı kompost çayı (ACT) olmaktadır. Bunun nedeni, ACT'nin havalandırma süreci sırasında oksijenin mikrobiyal aktiviteyi teşvik etmesi ve bu sayede faydalı mikroorganizmaların çoğalmasına yardımcı olmasıdır. Bu aerobik mikroorganizmalar, toprak ve bitki sağlığı için gerekli olan biyolojik süreçleri destekler ve patojenlere karşı doğal bir direnç oluşturur (Scheuerell ve Mahaffee, 2004). Ayrıca, havalandırma

sayesinde, insan sağlığına zararlı olabilecek anaerobik patojenlerin üremesi engellenmiş olur, bu da ACT'nin tercih edilmesinin başka bir nedenidir (Vail vd., 2020).

Öte yandan, havalandırmasız kompost çayı (NCT) yönteminde hava verilmediği için anaerobik koşullar hakimdir. Bu koşullar bazı zararlı bakteri ve patojenlerin üremesi için uygun bir ortam sağlayabilir, bu da NCT'nin popülerlik açısından ACT'nin gerisinde kalmasına neden olmaktadır. NCT, özellikle patojen baskılamada ACT kadar etkili olmayabilir çünkü anaerobik koşullar, insan sağlığı için potansiyel riskler taşıyan patojenik mikroorganizmaların gelişimine izin verebilir (Scheuerell ve Mahaffee, 2002; Palmer vd., 2010).

Kompost çayının hazırlanış biçimi, son elde edilen ürünün kalitesini ve işlevselliğini büyük ölçüde etkiler. Aerobik koşullarda yapılan demleme işlemi, çayın mikrobiyal içeriğini ve dolayısıyla bitki sağlığı üzerindeki etkilerini optimize eder. Örneğin, Martin vd. (2020) çalışması, aerobik koşullarda hazırlanan kompost çayının, toprak mikrobiyotasını zenginleştirerek bitkilerin hastalıklara karşı direnç kazanmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca, Scheuerell ve Mahaffee (2002) tarafından yürütölen çalışma, kompost çayının, patojenik organizmalarla biyolojik olarak mücadele ederek bitkiler üzerinde koruyucu bir etki yaratabileceğini ortaya koymuştur. Bu etkiler, çayın mikrobiyal çeşitliliğine ve demleme sürecinde kullanılan materyallerin kalitesine bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Kompost çayı kullanımının temel nedeni, sürdürölebilir tarım uygulamalarına destek sağlamak ve kimyasal gübrelerin yol açabileceği çevresel zararları en aza indirmektir. Bu materyal, hem toprağa uygulanarak hem de yaprak püskürtme yöntemleriyle uygulanabilir, her iki yöntem de bitkilerin besin alımını ve genel sağlığını iyileştirmede etkili olabilir (Eudoxie ve Martin, 2019). Sonuç olarak, kompost çayı, organik tarımın vazgeçilmez bir parçası olarak görölebilir ve bu yöntem, ekolojik dengenin korunmasına katkıda bulunarak modern tarımın karşılaştığı birçok zorluğa çözüm sunar.

2.4.2. Havalandırılmalı kompost çayı (ACT) ve üretim süreci

Havalandırılmalı kompost çayının (ACT) üretim süreci, çeşitli malzemeleri ve aşamaları içeren karmaşık bir işlemi kapsar. Öncelikle, kullanılacak kompost materyalinin yüksek kaliteli olgunlaşmış olması gerekmektedir. Bu materyal, bitkisel atıklar, hayvan gübresi veya solucan dışkısı gibi organik maddelerin kompostlanmasıyla elde edilebilir (Vukobratović vd., 2013; Azim vd., 2018). İkinci önemli nokta ise, su olarak genellikle klor içermeyen temiz su tercih edilir çünkü klor, yararlı mikroorganizmaları öldürebilir. ACT'nin hazırlanışında, su ve kompost karışımına genellikle hava pompası yardımıyla sürekli hava verilir; bu, oksijen seviyesini artırarak aerobik mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik eder (Scheuerell ve Mahaffee, 2004; Lanthier ve Peters, 2013).

ACT hazırlığında kullanılan ilave besinler arasında, deniz yosunu, melas ve humik asit gibi maddeler bulunur. Bu besinler, mikrobiyal aktiviteyi ve çayın genel besleyicilik değerini artırmak için eklenir. Örneğin, Ou-zine vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, organik katkı maddelerinin eklenmesinin, kompost çayının patojenlere karşı etkinliğini artırdığı ve bitki büyümesi üzerinde olumlu etkiler gösterdiği belirtilmiştir (Ou-zine vd., 2022). Bu ilave besinler, kompost çayının mikrobiyal çeşitliliğini artırarak, hastalıklarla mücadelede daha etkili hale gelmesini sağlamakta ve bitkilerin daha sağlıklı büyümesine katkıda bulunmaktadır.

Demleme sürecinde, genellikle kompostun suya oranı, demleme süresi ve sıcaklık gibi faktörler dikkate alınır. Demleme süresi, kompost çayının etkinliği ve mikrobiyal çeşitliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İdeal demleme süresi ortam sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genellikle, sıcaklık 15°C üzerinde olduğunda 12-24 saat arasında bir demleme süresi yeterlidir. Ancak, daha soğuk koşullarda, mikrobiyal aktivitenin yavaşlaması nedeniyle bu sürenin 48-72 saate kadar uzatılması önerilmektedir. Bu süre zarfında, kompost çayının sürekli olarak havalandırılması mikroorganizmaların sağlıklı bir şekilde çoğalmasını sağlar ve böylece çayın toprak ve bitkiler üzerindeki biyolojik etkinliğini artırır (Garden Tea Company, 2024). Kompost çayının demleme süresi uzadıkça, çaydaki mikrobiyal topluluk yapısında önemli değişiklikler meydana gelir. Garden Tea Company (2004)'e göre, 48 saate kadar olan süreçte özellikle mantarlar ve bakteriler gibi mikroorganizmalar çoğalırken,

48 saatten sonra protozoa gibi farklı mikroorganizmaların aktivitesi artmaya başlar. Bu süre zarfında, çaydaki mikrobiyal çeşitlilik zenginleşir ve çeşitli mikroorganizmalar arasındaki etkileşimler artar. Protozoalar, özellikle bakterileri tüketmeleriyle bilinmektedir ve bu özellikleri, bakteri popülasyonlarını düzenleyerek ekosistemdeki mikrobiyal dengenin korunmasına yardımcı olmaktadır. Bu süreç, kompost çayının toprak ve bitkiler üzerindeki genel faydalarını artırır, çünkü mikroorganizmalar arası bu dinamik etkileşimler toprakta besin döngüsünün iyileştirilmesine ve hastalıklara karşı direncin artırılmasına katkıda bulunur (Garden Tea Company, 2024). Bu nedenle, demleme süresinin doğru ayarlanması, kompost çayının kalitesi ve etkinliği açısından hayati öneme sahiptir.

Bu bilgiler, kompost çayı kullanımının maksimize edilmesi için kritik öneme sahiptir ve uygulayıcıların çayın faydalarından en iyi şekilde yararlanmalarını sağlar. Bu süre zarfında, mikrobiyal aktivite maksimize edilir ve su, komposttan çözünebilen besinleri alır. Demleme sürecinin sonunda, karışım süzülerek büyük partiküllerden arındırılır; böylece sıvı, bitkiler üzerine doğrudan püskürtülebilir hale gelir (Sujesh vd., 2017).

Kompost çayı üretiminde optimal pH değerinin 6.5 olması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu pH seviyesi, çayın mikrobiyal aktivitesi ve bitki sağlığı üzerinde olumlu etkiler yaratır (Matouk vd., 2017). Ayrıca, çözünmüş oksijen (DO) seviyesi de kritik bir parametredir. Aerobik koşulların korunması için çözünmüş oksijen seviyesinin minimum 5 mg/L olması gerektiği belirtilmiştir (Kannangara vd., 2006). Yeterli oksijen seviyeleri, mikrobiyal faaliyeti destekler ve böylece bitki hastalıklarının baskılanmasına yardımcı olur. Özellikle aktif havalandırma ile üretilen kompost çayları, *Pythium ultimum* gibi patojenlere karşı daha etkili bulunmaktadır (Scheuerell ve Mahaffee, 2004).

Elektriksel iletkenlik (EC) değeri de dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli parametredir. Kompost çayında optimal elektriksel iletkenlik değeri, genellikle çayın besin maddesi yoğunluğu ve çözünmüş tuz seviyelerini belirlemede kullanılır. Ancak, mevcut literatür spesifik bir optimal EC değeri sunmamaktadır. Bununla birlikte, kompost çayının etkinliğini ve bitki büyümesini artırmak için genellikle düşük EC seviyeleri önerilmektedir (Martin vd., 2012).

Bu hazırlık ve demleme süreci, ACT'nin bitki sağığı ve hastalık kontrolünde etkili bir araç olmasına katkıda bulunur. Deniz yosunu ve humik asit gibi katkı maddeleri eklenmesi, ACT'nin hastalık üzerindeki baskılayıcı etkisini artırabilir ve bitkilerin genel sağığını iyileştirebilir (Scheuerell ve Mahaffee, 2004). Bu detaylı ve düzenli süreç, ACT'nin popülerliğinin ve tarımsal uygulamalardaki öneminin ana nedenlerinden biridir.

2.4.2.1. Üretim süreci adımları

1. **Kompost Seçimi:** Demleme işlemine başlamadan önce yüksek kaliteli, olgunlaşmış kompost seçmek önemlidir. Kullanılan kompost, bitkisel atıklar, hayvan gübresi veya solucan gübresi gibi çeşitli organik maddelerden elde edilebilir. Kompostun zengin mikrobiyal yaşam içermesi gerekir (Pant vd., 2011).
2. **Su Hazırlığı:** Klor içermeyen temiz su kullanmak önemlidir. Musluk suyu kullanımında, klorun buharlaşması için suyun 24 saat boyunca açık bir kapta bekletilmesi faydalı olabilir (Matouk vd., 2017).
3. **Demleme Kabı Hazırlığı:** Elde edilecek kompost çayına uygun hacimde bir demleme kabı seçmek önemlidir (Dearborn, 2011).
4. **Hava Pompası Bağlantısı:** Kompost ve su karışımına sürekli hava sağlamak için bir hava pompası ya da yüksek basınçlı blower kullanılabilir. Bu, oksijen seviyesini artırarak aerobik mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik eder ve anaerobik koşulların oluşmasını önler (Al-obaidi vd., 2019).
5. **İlave Besinler Ekleme:** Demleme sürecine yardımcı olmak ve mikrobiyal çeşitliliği artırmak için deniz yosunu, melas, humik asit gibi organik besinler eklenebilmektedir. Bu maddeler mikroorganizmaların beslenmesine yardımcı olur ve çayın bitkiler üzerindeki besleyicilik değerini artırır (Ou-zine vd., 2022).
6. **Demleme Süreci:** Karışımı 24 ila 72 saat boyunca havalandırarak demlemek, mikroorganizmaların aktif hale getirilmesini ve çoğalmalarını sağlamaktadır (Ou-zine vd., 2022).
7. **Karışımın Süzülmesi:** Demleme sürecinin sonunda, kompost çayını büyük partiküllerden arındırmak için süzme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem,

çayın bitkiler üzerine püskürtülmesini kolaylaştırmakta ve tıkanıklıkları önlemektedir (Hung vd., 2017).

- 8. Kullanım:** Hazırlanan havalandırılmalı kompost çayı en kısa sürede kullanılmalıdır. Elde edilen çay, toprağa doğrudan veya yaprağa püskürtme yöntemleri ile uygulanabilmektedir. Çayın tazeliğini korumak ve mikrobiyal aktivitenin azalmasını önlemek için, hazırladıktan sonraki 4-6 saat içinde kullanılması önerilmektedir (Du vd., 2023).

2.4.3. Havalandırmasız kompost çayı (NCT) ve üretim süreci

Havalandırmasız kompost çayı (non-aerated compost tea, NCT), aerasyon teknikleri kullanmadan hazırlanan ve özellikle organik tarımda hastalık kontrolü ve bitki sağlığına destek sağlamak için kullanılan biyolojik bir gübredir. Bu üretim yöntemi, basitçe su ile kompostun karıştırılmasını ve belirli bir süre bekletilmesini içerir. Havalandırmanın olmaması, farklı bir mikrobiyal aktivite profili oluşturur ve bu da bitkiler üzerinde farklı etkilere yol açabilir (Marín vd., 2013).

Havalandırmasız kompost çaylarının bitki hastalıkları üzerindeki baskılayıcı etkileri çeşitli çalışmalarla belgelenmiştir. Örneğin, bir çalışma havalandırmasız kompost çayının, domates kök hastalığı patojenleri olan *Pythium ultimum* ve *Rhizoctonia solani*'nin miselyal büyümesini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Bu uygulama, aynı zamanda domates fidesinin taze ve/veya kuru kütlesini artırarak damping-off hastalıklarına karşı koruma sağlamıştır (Dionne vd., 2012).

Havalandırmasız kompost çayının başka bir çalışmada, bakteriyel solgunluk hastalığını baskılamada etkili olduğu bulunmuştur. Bu çalışma, havalandırmasız kompost çaylarının bitki hastalıklarını yönetmede potansiyel yararlarını ve mikrobiyal aktivitenin önemini vurgulamaktadır (Mengesha vd., 2017a).

Bunun yanı sıra, havalandırmasız kompost çayları, inorganik fungusitlere alternatif olarak kullanılabilecek doğal mikrobiyal aktiviteleri destekleyerek bitki sağlığını artırmada potansiyel faydalar sunmaktadır. Özellikle, havalandırmasız kompost çayının bakla üzerindeki mantar hastalıklarını azaltma kapasitesi, *Botrytis fabae*,

Uromyces vicia fabae ve Ascochyta fabae'nin şiddetini ve insidansını azaltarak gösterilmiştir (Tegegn, 2017).

Bu bilgiler, havalandırmasız kompost çayının bitki sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini ve tarımsal uygulamalarda kullanımının potansiyelini göstermektedir. Havalandırmasız çayın düşük maliyetli ve çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkması, organik tarım pratiklerinde daha sürdürülebilir yöntemler arayan üreticiler için cazip bir alternatif oluşturmaktadır. Ancak, NCT'nin anaerobik koşulları, bazı zararlı bakteri ve patojenlerin üremesi için uygun bir ortam sağlayabilir. Bu nedenle, ACT'nin sağladığı avantajlar ve güvenlik önlemleri göz önünde bulundurulduğunda, havalandırmalı kompost çayı daha güvenilir ve etkili bir seçenek olarak değerlendirilmelidir.

2.4.3.1. Üretim süreci adımları

1. **Kompost Seçimi:** NCT için kullanılan kompostun organik maddeler açısından zengin ve biyolojik olarak aktif olması gerekir. Bu, bitkisel atıklar, hayvan gübresi veya solucan gübresi gibi çeşitli organik maddelerden elde edilebilir. İyi bir kompost, çeşitli anaerobik mikroorganizmaları barındıracak şekilde dengeli bir yapıya sahip olmalıdır (Ingham, 2005).
2. **Su Hazırlığı:** Klor içermeyen, temiz su kullanılmalıdır. Bu, anaerobik mikroorganizmaların su içinde aktif kalabilmesi için gereklidir. Musluk suyu kullanılacaksa, klorun buharlaşması için suyun bir süre açıkta bekletilmesi önerilir (Ingham, 2005).
3. **Demleme Kabı Hazırlığı:** Kapalı bir demleme kabı kullanmak, oksijenin çayın içine girmesini engelleyerek anaerobik koşulların korunmasını sağlar. Bu, mikroorganizmaların oksijensiz ortamda çoğalmasına olanak tanır (Kim vd., 2015).
4. **Demleme Süreci:** Karışım, oksijensiz koşullar altında 48 ila 72 saat boyunca demlenir. Bu süre, anaerobik mikroorganizmaların çoğalması ve metabolik faaliyetleri için optimaldir. Sıcaklık, mikrobiyal aktiviteyi etkileyebileceğinden, bu süre zarfında stabil bir sıcaklık korunmalıdır (Vail vd., 2020).

5. **İlave Besinler Ekleme:** Demleme sürecini desteklemek ve mikrobiyal çeşitliliği artırmak için melas, humik asit gibi organik besinler eklenebilir. Bu maddeler, anaerobik mikroorganizmaların beslenmesini destekler ve çayın toprak üzerindeki etkilerini artırır (Ou-zine vd., 2022).
6. **Karışımın Süzülmesi:** Demleme sürecinin sonunda, büyük partiküllerden arındırmak için çay süzülür. Bu, uygulama sırasında tıkanıklıkları önler ve çayın bitkiler üzerine daha kolay püskürtülmesini sağlar (Scheuerell ve Mahaffee, 2002).
7. **Kullanım:** Hazırlanan havalandırmasız kompost çayı, anaerobik mikroorganizmaların faydalarını maksimize etmek için hızla kullanılmalıdır. Çay, toprağa doğrudan veya yaprak üzerine püskürtme yöntemiyle uygulanabilir. Çayın tazeliğini korumak ve mikrobiyal aktivitenin azalmasını önlemek için, hazırlamadan sonraki 24 saat içinde kullanılması önerilir (Tateda vd., 2007).

Bu üretim süreci, havalandırmasız kompost çayının bitki sağlığı ve hastalık kontrolünde etkili bir araç olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır.

2.4.4. Mikrobiyal aktivite

Kompost çayı, sürdürülebilir tarım uygulamalarında, özellikle kimyasal gübre ve pestisit alternatifleri arayışında, giderek artan bir ilgi görmektedir. Mikrobiyal aktivite, kompost çayının tarımsal etkinliğinin merkezinde yer almakta ve bu aktivitenin nasıl optimize edilebileceği geniş bir araştırma konusu haline gelmektedir. Literatürde, çeşitli mikrobiyal besin kaynakları eklenerek demlenen kompost çaylarının, tarımsal ürünler üzerindeki sağlık ve verimlilik açısından faydalarını araştıran birçok çalışmaya rastlanmıştır. Bu kısımda kompost çayının mikrobiyal aktivitesi ve çeşitli demleme metodlarının bu aktivite üzerindeki etkilerini incelenmiştir.

Lanthier ve Peters (2013), tarafından yürütülen çalışmada, ACT yöntemi ile hazırlanan kompost çaylarında farklı bileşenlerin ve demleme süreçlerinin mikrobiyal içerik üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları, kompost çayına eklenen humik asit, yosun (*Ascophyllum nodosum*), ve balık gübresi gibi çeşitli bileşenlerin, demleme süresinin uzatılması ile birlikte mikrobiyal aktiviteyi, özellikle

protozoa ve mantar popölasyonlarını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Örneğin, humik asit ilavesi, mantar aktivitesini; yosun eklenmesi ise protozoa aktivitesini artırmıştır. Balık gübresi eklenmesi hem mantar aktivitesini artırırken aynı zamanda çayın besin içeriğini de yükseltmiştir. Ayrıca, kompost çayına solucan gübresi eklenmesi, mantar içeriğini arttırmış ve kompostun proteinli gıda ile önceden karıştırılması protozoa aktivitesini yükseltmiştir. Bu sonuçlar, kompost çayının bileşenlerinin ve demleme yöntemlerinin, çayın mikrobiyal profili üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu ve bu faktörlerin doğru bir şekilde optimize edilmesi durumunda kompost çayının tarımsal etkinliğinin artırılabilirliğini ortaya koymuştur.

Vail vd. (2020), gerçekleştirdiği çalışmada, farklı kompost çayı hazırlama tekniklerinin organik bir mavi yaban mersini yetiştiriciliği sistemindeki toprak nitrojen düzeyleri ve mikrobiyal aktiviteler üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırma, ısıtılmış ve havalandırma ile zenginleştirilmiş kompost çayının, diğer yöntemlere kıyasla toprak nitrojenini anlamlı derecede artırdığını ve aynı zamanda β -1,4-N-asetilglukosaminidaz enziminin aktivitesini azalttığını ortaya koymuştur. Bu enzim, kitin bozunumunda kritik bir role sahiptir ve aktivitesinin azalması, kitin içeren patojenik mantarların baskılanmasına katkıda bulunabilir. Çalışmanın bulguları, kompost çayının hazırlanma yöntemlerinin, toprak nitrojen seviyelerini iyileştirebileceğini ve mikrobiyal topluluk üzerinde seçici etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

Allahyari vd. (2015), yürüttüğü çalışmada, kompost çaylarının üretimi ve kullanımıyla ilgili geniş kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışma, kompost çaylarının bitki sağlığı ve verimliliği üzerindeki olumlu etkilerini belirtmekle birlikte, bu etkilerin üretim metodolojisine göre değişkenlik gösterdiğini vurgulamaktadır. Araştırma özellikle ACT ve NCT demleme yöntemleri kullanılarak hazırlanan kompost çaylarının, eklenen mikrobiyal gıdaların türüne bağlı olarak farklı mikrobiyal aktivite profilleri sergilediğini ortaya koymuştur. ACT esasıyla yürütülen yöntemler, oksijen seviyesinin artırılmasıyla mikrobiyal çeşitliliği ve aktiviteyi teşvik ederken, NCT esasıyla yürütülen yöntemlerde ise anaerobik mikroorganizmaların baskın hale geldiği gözlenmiştir. Bu farklılıklar, kompost çayının bitkiler üzerindeki etkilerini doğrudan etkileyebilmekte, dolayısıyla çayın hazırlanış şeklinin, tarımsal uygulamalarda göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Bu

bulgular, kompost çayının etkin kullanımı için üretim yöntemlerinin daha dikkatli seçilmesi gerektiğini işaret etmektedir.

Bu bölümde ele alınan araştırmalar, kompost çayının mikrobiyal aktivitesi üzerine çeşitli faktörlerin etkilerini ve bu etkilerin tarımsal uygulamalar üzerindeki potansiyel yararlarına vurgu yapmaktadır. Kompost çayının hazırlanma yöntemlerinin ve bileşenlerinin doğru bir şekilde optimize edilmesi, bitki sağlığı ve verimliliği üzerinde belirgin olumlu etkiler yaratabilir. Özellikle farklı demleme tekniklerinin ve eklenen mikrobiyal besinlerin, kompost çayının mikrobiyal profili ve tarımsal etkinliği üzerindeki spesifik etkilerini anlamak, sürdürülebilir tarım uygulamalarında daha etkili ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

2.4.4.1. Kompost çayında bulunan mikroorganizmaların türleri

Kompost çayları, zengin mikrobiyal çeşitliliği ile bitki büyümesini teşvik eder ve hastalıkları baskılar. Bu sıvılar, bitki atıkları, hayvan gübresi ve diğer organik maddelerin aerobik fermentasyonu ile elde edilir. Bu süreç sırasında, çeşitli mikroorganizmalar aktif hale gelir ve bir ekosistem oluşturur. Kompost çaylarında bulunan başlıca mikroorganizma türleri ve bunların bitkiler üzerindeki etkileri şunlardır:

- **Bakteriler**

Bakteriler, kompost çaylarının en aktif bileşenlerindendir. Özellikle *Pseudomonas* ve *Bacillus* türleri, geniş bir antibiyotik üretim yeteneğiyle bilinir ve bu özellikleri sayesinde topraktaki patojenik mikroorganizmaları baskırlar. *Pseudomonas* türleri, sideroforlar gibi demir bağlayıcı bileşikler üreterek patojenlerin besin kaynaklarına erişimini kısıtlar. *Bacillus* türleri ise, çeşitli enzimler ve hormonlar salgılayarak toprakta besin maddelerinin bitkiler tarafından daha kolay alınmasını sağlar (El-Gizawy ve Geries, 2013; Vela-Cano vd., 2018; Bali vd., 2021).

- **Mantarlar**

Kompost çaylarındaki mantarlar, özellikle *Trichoderma* ve mikorizal mantarlar, bitkilerin hastalıklara karşı direncini artırır ve besin alımını destekler. *Trichoderma* türleri, patojenik mantarlarla doğrudan mücadele eder ve bitkilerin kök bölgelerini

kolonize ederek fiziksel bir bariyer oluşturur. Mikorizal mantarlar ise, bitkilerin kökleriyle simbiyotik bir ilişki kurarak su ve besin maddelerinin alımını iyileştirir, bu da bitkilerin stres koşullarına daha iyi adapte olmasını sağlar (Tateda vd., 2007; Sujesh vd., 2017; Mengesha vd., 2017b; Elsaiid vd., 2018).

- **Aktinomisetler**

Streptomyces gibi aktinomisetler, kompost çaylarında antibiyotik üretiminde kritik bir role sahiptir. Bu mikroorganizmalar, çeşitli antimikrobiyal bileşikler üreterek bitkileri patojenlere karşı korur. Aktinomisetlerin bu özelliği, özellikle toprakta patojen yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda bitki sağlığı için büyük önem taşır (Palmer vd., 2010).

- **Arkealar**

Arkealar, özellikle azot döngüsü gibi ekolojik süreçlerde rol alırlar. Bu mikroorganizmalar, genellikle ekstrem koşullarda bulunsalar da, kompost çaylarında azotun fiksasyonunda ve dönüşümünde fonksiyonel öneme sahip olabilirler. Arkeaların bu etkileri, henüz tam olarak anlaşılmamış olmakla birlikte, araştırmalar bu organizmaların ekosistemlerdeki biyoçeşitliliği ve işlevselliği artırabileceğini ne sürmektedir (Vela-Cano vd., 2018).

- **Protozoalar**

Protozoalar, genellikle su ekosistemlerinde ve nemli topraklarda bulunan, mikroskobik boyutlardaki tek hücreli canlılardır. Kompost ayı gibi organik zeltilede de protozoalar, özellikle besin döngüsü ve hastalık kontrolü gibi ekolojik süreçlerde önemli roller üstlenebilirler. Bu mikroorganizmalar, organik materyalin parçalanmasına yardımcı olarak toprak sağlığının ve bitki büyümesinin desteklenmesinde kritik işlevler görebilir. (Lanthier ve Peters, 2013).

Çizelge 2.1. Kompost çayında bulunan bazı mikroorganizma türleri ve fonksiyonları

Mikroorganizma Türü	Örnek Türler	Fonksiyonları
Bakteriler	<i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i>	Patojen baskılanması, besin çözünürlüğünü artırma
Mantarlar	<i>Trichoderma spp.</i> , <i>Mycorrhiza</i>	Hastalık kontrolü, bitki beslenmesi ve su alımının desteklenmesi
Aktinomisetler	<i>Streptomyces spp.</i>	Antibiyotik üretimi ile patojen baskılanması
Arkealar	Genel olarak az bulunur	Azot döngüsüne katkı (belirli koşullarda)
Protozoalar	<i>Amoebae</i> , <i>Ciliates</i> , <i>Flagellates</i>	Besin döngüsünde rol alır, organik maddeleri parçalar, toprak sağlığını ve bitki büyümesini destekler, patojen kontrolünde yardımcı olabilir.

Bu mikroorganizmaların etkileşimleri, kompost çayının bitki büyümesi ve hastalık yönetimi üzerindeki etkilerini şekillendirir.

Barghouth vd. (2022), tarafından yapılan bir çalışmada, çeşitli kaynaklardan elde edilen kompost çaylarının çilek bitkisine yaygın hastalıkların etkilerini azaltma kapasitesi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bu çalışmada sığır gübresi kompostu, koyun gübresi kompostu, karides kompostu, balıkçılık endüstrisi atıklarından ve ormancılık atıklarından elde edilen kompost ve solucan gübresi içeren vermikompost olmak üzere 6 farklı kompost kullanılarak, elde edilen bu çayların çilek patojenlerine karşı olan inhibisyon yetenekleri ve *Botrytis cinerea*'nın neden olduğu kurşuni küf hastalığını kontrol altına alma potansiyelleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, kompost çaylarının *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Phytophthora fragariae* ve *Verticillium dahliae* gibi patojenlerin büyümesini %45 ile %73 arasında başarıyla inhibe ettiğini ortaya koymuştur. Özellikle orman ve deniz atıkları, koyun, karides ve solucan gübrelerinden elde edilen kompostlar ile yapılan çayların, çilek yapraklarında görülen kurşuni küf lezyonlarını %38 ile %62 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, kompost çaylarının patojen kontrolünde etkili bir biyolojik yöntem olarak kullanılma potansiyelini göstermektedir. Ayrıca, sıcak ve soğuk ile sterilize edilen kompost çaylarının *Botrytis cinerea* üzerindeki inhibisyon etkisinin olmadığı gözlemlenmiş, bu durum kompost çayının etkinliğinde mikroorganizmaların kritik bir rol oynadığını vurgulamıştır. Çalışmadan izole edilen *Bacillus velezensis* benzeri SH1 ve SH2 ile *Pseudomonas azotoformans*'a benzer SH3 izolatları, antibiyotik benzeri

etkiler sergileyerek patojenler üzerindeki baskılayıcı etkilerini göstermiştir. Bu bulgular, kompost çayının içeriğindeki mikrobiyal popülasyonun çeşitliliğinin ve aktivitesinin, hastalık baskılama mekanizmaları üzerinde belirleyici olduğunu işaret etmektedir.

Elbagory (2023), araştırmasında *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas koreensis* ve *Bacillus circulans* içeren etkili mikroorganizmaların kompost çayı ile kombinasyon halinde kullanılmasının, tuz stresine maruz kalmış buğday çeşitlerinde büyüme ve verim üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırma, tuzlu topraklarda yetiştirilen iki farklı buğday çeşidi üzerinde yürütülmüş ve etkili mikroorganizmalar ve kompost çayı kombinasyonunun, her bir uygulamanın tek başına kullanılmasına veya kontrol grubuna kıyasla büyüme, verim, besin alımı ve fotosentetik işlevlerde belirgin bir iyileşme sağladığını göstermiştir. Özellikle, bu kombinasyon tedavisi antioksidan enzim aktivitesinde önemli bir artışa yol açarak bitkilerin tuz stresine adaptasyonunu desteklemiştir. Bu bulgular, mikroorganizmaların bir arada kullanılmasının, toprakta mikrobiyal aktiviteyi ve kritik enzim işlevlerini destekleyerek bitki sağlığı ve verimliliğini artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Edenborn vd. (2018), araştırmasında, biyokömüre kompost çayı eklemenin patlıcan (*Solanum melongena* var. Rosa Bianca) üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, at gübresi, mantar gübresi ve solucan gübresi ile hazırlanan kompost çaylarının biyokömür ile birleştirilmesinin, patlıcanın büyümesi ve pire böceği (*Epitrix fuscula*) hasarı üzerindeki kısa vadeli etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, biyokömüre eklenen bu kompost çaylarının patlıcan büyümesini veya pire böceği hasarını önemli ölçüde iyileştirmedeği gözlemlenmiştir. Ancak, solucan kompostu ile zenginleştirilmiş biyokömürün, belirli toprak özelliklerine uygun olduğunda patlıcan büyümesini destekleyebileceği belirlenmiştir. Topluluk Düzeyi Fizyolojik Profillendirme (CLPP) analizleri ile elde edilen veriler, biyokömüre eklenen farklı kompost çaylarının toprak mikrobiyal aktivitesi ve fonksiyonel çeşitliliği üzerinde değişken etkiler yarattığını göstermiştir. Bu değişikliklerin, bitkinin büyümesi ve böcek hasarına direnci ile doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, biyokömür ve kompost çayı kombinasyonlarının toprak ve bitki sağlığı üzerindeki etkilerinin, toprak özelliklerine ve kullanılan kompost çayının türüne bağlı olarak farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Literatürde yer alan bilimsel çalışmalardan elde edilen bulgular, kompost çayındaki mikrobiyal topluluğun belirli üyelerinin veya gruplarının, patojenlerin inhibisyonu ve hastalıkların baskılanmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle *Pseudomonas* ve *Bacillus* gibi bakteri türleri, ürettikleri antibiyotikler ve sideroforlar sayesinde patojenlerin büyümesini engellemektedir. Benzer şekilde, *Trichoderma* gibi mantar türleri, patojenik mantarlarla rekabet ederek ve bitkilerin kök bölgelerini kolonize ederek koruyucu bir bariyer oluştururlar. Ayrıca, *Streptomyces* gibi aktinomisetler, antimikrobiyal bileşikler üreterek topraktaki patojenlerin yayılmasını sınırlar. Bu mikrobiyal etkileşimler, kompost çayının tarımsal uygulamalarda hastalık kontrolü açısından nasıl etkili olabileceğini açıklamaktadır.

2.4.4.2. Kompost çayı mikroorganizmalarının toprak sağlığına etkileri

Kompost çayı, organik tarımda toprak sağlığını ve mikrobiyal aktiviteyi artırma potansiyeline sahip değerli bir araçtır. Bu doğal ürün, toprağa uygulandığında, içerdiği zengin mikroorganizma popülasyonu sayesinde toprakta bir dizi olumlu değişikliği teşvik eder. Öncelikle, kompost çayı toprak besin içeriğini artırır; azot gibi temel besin maddelerinin seviyelerini yükseltir ve besinlerin bitkiler tarafından alınabilir formda olmasını sağlar. Ayrıca, hastalık yapıcı patojenlere karşı doğal bir biyolojik kontrol sağlayarak, özellikle *Bacillus* gibi bazı bakterilerin patojenleri inhibe edebilecek antibiyotik bileşikler üretmesi sayesinde bitki sağlığını korur (Hirzel vd., 2012).

Kompost çayının uygulanması, toprak mikrobiyal çeşitliliğini de artırır; bu çeşitlilik ekosistem sağlığını iyileştiren ve toprağın stres faktörlerine karşı direncini artıran yeni mikroorganizmaların toprağa eklenmesiyle sağlanır. Bu mikroorganizmalar aynı zamanda toprak yapısını iyileştirir ve toprak agregalarının oluşumuna katkıda bulunarak su tutma kapasitesini ve kök bölgesindeki su dengesini iyileştirir. Böylece, toprak erozyonu azalır ve su yönetimi optimizasyonu sağlanmış olur.

Kompost çayı, bitki büyümesini ve verimliliğini destekleyen doğal bitki büyüme hormonları üreten mikroorganizmaları içermektedir. Bu mikroorganizmalar, kök gelişimini teşvik etmekte ve bitkilerin fotosentez kapasitesini dolaylı yollardan artırarak genel sağlık ve verimliliğini desteklemektedir (Edenborn vd., 2018).

Sonuç olarak, kompost çayı, organik ve konvansiyonel tarımda toprak sağlığını ve mikrobiyal aktiviteyi önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip bir araçtır. Bu doğal çözelti, içerdiği zengin mikroorganizma popülasyonu ile toprak besin içeriğini iyileştirir, patojenlere karşı biyolojik kontrol sağlar ve toprağın mikrobiyal çeşitliliğini artırır. Ayrıca, toprak yapısını ve su tutma kapasitesini iyileştirerek erozyonu azaltır ve su yönetimini optimize eder. Kompost çayı içindeki mikroorganizmalar, bitki büyümesini destekleyen hormonlar üreterek fotosentez kapasitesini artırır ve böylece bitkilerin genel sağlık ve verimliliğini iyileştirir. Bu etkiler, kompost çayının sürdürülebilir tarım uygulamalarında çevreye duyarlı ve etkili bir seçenek olarak kullanılmasını teşvik etmektedir. Dolayısıyla, kompost çayının kullanımı, ekolojik dengenin korunmasına katkıda bulunarak gelecek nesillere daha sağlıklı bir tarım toprağı bırakma potansiyeline sahiptir.

2.4.5. Kompost çayının uygulama yöntemleri

2.4.5.1. Toprağı doğrudan uygulama

Kompost çayının toprağı doğrudan uygulanması, bitkilerin besin alımını artırarak toprak kalitesini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Kompost çayı, toprağı püskürtme veya sulama sistemlerine enjekte etme gibi yöntemlerle doğrudan uygulanabilir ve bu uygulamalar, hem tarım hem de bahçecilik uygulamalarında bitki büyümesini teşvik etmekte ve hastalıkları baskılamada organik bir çözüm sunmaktadır (Khalfallah vd., 2015). Bu uygulamalar, kompost çayının mikrobiyolojik bileşenlerinin toprakla etkileşime girmesini sağlayarak mikrobiyal faaliyeti ve toprak sağlığını artırabilir (Valdes, 2015).

Kompost çayının uygulanma yoğunluğu ve zamanlaması, çevresel koşullara ve hedef bitki türüne göre değişkenlik gösterebilir. Örneğin, kompost çayının ACT yöntemiyle hazırlanması, topraktaki azot seviyelerini ve mikrobiyal enzim aktivitesini etkileyebilir, bu da kompost çayının organik bir toprak düzenleyici olarak etkinliğini değiştirebilir (Vail vd., 2020). Ayrıca, kompost çayı uygulamalarının düzenli sulama ile birleştirilmesi, kompost çayı veya sulama olmadan uygulanan parsellere kıyasla çim kalitesi değerlendirmelerinde önemli iyileşmeler sağlamıştır, ancak toprak

mikrobiyal popölasyonlarında anlamlı farklar bulunmamıştır (Waliczek ve Wagner, 2023).

Kompost çayının etkinliği, kompostlama sistemi, ham madde kalitesi, çay hazırlama ve uygulama dinamikleri gibi faktörlerden etkilenir. Bu faktörler, tarımsal uygulamalarda bitki beslenmesi ve toprak kalitesini desteklemede kompost çayının etkinliğini belirler (Eudoxie ve Martin, 2019). Özellikle, kompost çayının yapraklara ve toprağa uygulanması, mısır bitkilerinde fosfor alımını ve bitki büyüme parametrelerini artırarak Alfisolarda toprak fosfor kullanılabilirliğini iyileştirebilir (Susilowati, 2023).

Kompost çayının doğrudan toprak uygulamaları, patojenik mantarlarla mücadelede antifungal etkiler için optimal olduğunu gösteren çalışmalarda önemli bulgular sunmuştur. Bu çalışmalar, farklı kompost çayları ve uygulama yöntemlerini değerlendiren in vitro ve in vivo deneyleri içermektedir (Tateda vd., 2007). Bu tür bilimsel çalışmalar, kompost çayının toprağa uygulanmasının spesifik avantajlarını ve etkilerini aydınlatmaktadır, bu da uygulayıcılara tarımsal uygulamalar için güçlü bir rehber sağlamaktadır.

2.4.5.2. Yapraktan uygulama

Kompost çayının yapraktan uygulanması, tarımsal uygulamalarda bitkilerin beslenmesini ve hastalıklara karşı direncini artırma potansiyeline sahiptir. Bu yöntem ile, kompost çayı bitkilerin yapraklarına doğrudan püskürtülerek uygulanabilmektedir. Yapraktan uygulamanın avantajları arasında, bitkilerin hızla emebildiği çözünür besinler sağlaması ve çeşitli meyve ve sebze hastalıklarına karşı koruma sunması yer alır (Shrinivas vd., 2021).

Kompost çayının yapraktan uygulaması, uygulama konsantrasyonu, çayın hazırlanma yöntemi ve bitki türü gibi değişkenlere bağlıdır. ACT yöntemiyle hazırlanan kompost çayı, özellikle yosun ve humik asit katkı maddeleri ile birleştirildiğinde, salatalık fidelerinde *Pythium ultimum* kaynaklı "çürüklük" veya "fıdan çürüklüğü" olarak bilinen hastalığı baskılamada oldukça etkilidir (Scheuerell ve Mahaffee, 2004). Ayrıca, kompost çayının yapım yöntemi, toprakta azot içeriği ve mikrobiyal enzim

aktivitesi üzerinde önemli etkiler yaratır; ısıtılmış ve ACT yöntemiyle elde edilen kompost çayı, sadece ACT yöntemiyle elde edilmiş çaylara göre toprakta daha yüksek azot seviyeleri göstermiştir (Vail vd., 2020).

Sonuç olarak, kompost çayının yapraktan uygulanması, bitkiler üzerinde hızlı ve etkili bir şekilde besin sağlamak ve hastalıkları önlemek için kritik bir yöntemdir. Uygulama zamanlaması, hedef bitkinin büyüme dönemine ve çevresel koşullara uygun olarak ayarlanmalıdır, böylece bitkilere maksimum fayda sağlanabilmektedir.

2.4.5.3. Dilüsyon oranları

Kompost çayının konsantrasyonu ve sulandırma oranları üzerine yapılan çalışmalar, bu uygulamaların bitki sağlığı ve hastalık kontrolü üzerinde önemli etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Carballo vd. (2009) çalışması, kompost çayı üretim koşullarının fitotoksisite üzerindeki etkisini değerlendirmiş ve aerasyon ile düşük sıcaklıklarda üretilen çayların daha az fitotoksik etki gösterdiğini bulmuştur. Ayrıca, kompostun stabilitesinin de fitotoksisite seviyelerini etkilediği gözlemlenmiştir.

Martin vd. (2012) yaptığı bir çalışmada, kompost tipi, aerasyon ve demleme süresinin kompost çayının mikrobiyal ve kimyasal özelliklerini belirgin şekilde etkilediğini, bunun da *Pythium ultimum*'a karşı etkinliğini ve fidan üretimi için potansiyel bir besin katkı maddesi olarak kullanımını etkilediğini ortaya koymuştur. Çalışma, ACT yöntemiyle elde edilmiş kompost çaylarının her zaman daha yüksek büyüme inhibisyon seviyelerine yol açmadığını ve daha uzun demleme sürelerinin farklı kompost tipleri arasında etkinliği tutarlı bir şekilde artırmadığını göstermiştir.

Amalyadi vd. (2022) yürüttüğü çalışmada, kompost çayı dozunun ve hasat yaşının *Cichorium intybus*'un üretkenliği, besin içeriği ve in vitro sindirilebilirliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma, 200 mL kompost çayının 25gün sonra uygulanmasının, yaprak uzunluğunu, taze yaprak kütlesini, ham protein içeriğini ve sindirilebilirlik değerlerini iyileştirdiğini göstermiştir.

Bu çalışmaların sonuçları, kompost çayının konsantrasyonunun ve sulandırma oranlarının, çayın etkinliği üzerinde belirleyici olduğunu ve uygulamanın başarısını artırmak için bu faktörlerin dikkatle yönetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

2.4.6. Mevcut kompost çayı üretim sistemleri

Kompost çayı üretim sistemleri, özellikle organik tarım ve sürdürülebilir bahçecilik uygulamalarında bitki sağlığını ve toprak kalitesini iyileştirmek için kullanılan değerli araçlardır. Mevcut sistemler üzerine yapılan literatür taraması ve internet araştırmaları, bu sistemlerin çeşitliliğini ve ticari olarak bulunabilir örneklerinin avantajlarını ve dezavantajlarını ortaya koymaktadır. Piyasadaki popüler kompost çayı üretim sistemlerini incelenmiş ve öne çıkan yönleri ele alınmıştır.

Kompost çayı üretim sistemleri, genel olarak aerobik ve anaerobik sistemler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Ancak yönetilme ihtiyacı ve pazar payı açısından aerobik sistemler anaerobik sistemlere göre ticarileşmede ön plana çıkmaktadır. Bu sistemlerin çoğu çözünmüş oksijenle zenginleştirilmiş ortamlarda mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik etmeye dayalıdır. Genel olarak mevcut sistemler, besin ilavesinde kontrol ve diğer sistem parametrelerinin gözlemlenmesi gibi kontrol ve izleme parametrelerinin takibi ile sürecin iyileştirilmesi yönünde bir odak noktasına sahip değildirler.

2.4.6.1. Ticari olarak üretilmiş sistemler

Piyasada birkaç ticari kompost çayı makinesi bulunmaktadır ve bunlar genellikle aerobik sistemlerdir. Örneğin, TeaLAB's BrewKit, Growing Solutions, Green Pro Solutions ve GEOTEA gibi markalar, basit kullanımı ve yüksek kapasiteleri ile dikkat çekmektedir (TeaLAB, 2024; Growing Solutions, 2024; Green Pro Solutions, 2024; GEOTEA, 2024). Bu makineler genellikle blower, büyük kapasiteli variller ve çeşitli karıştırma mekanizmaları içermektedirler. Bu firmalara ait geliştirilmiş kompost çayı ünitelerine ait görüntüler Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Mevcut ticari kompost çayı üretim sistemleri

Avantajlar

1. **Kullanım Kolaylığı:** Çoğu ticari kompost çayı makinesi, kullanıcı dostu tasarımları ile öne çıkmaktadır. Önceden ayarlanmış programlar ve otomatik kontrol sistemleri, kullanıcılara büyük kolaylık sağlar.
2. **Ölçeklenebilirlik:** Ticari sistemler, farklı kapasite seçenekleri sunarak çeşitli ölçekteki tarım işletmelerinin ihtiyaçlarını karşılayabilir.

Dezavantajlar

1. **Yüksek Maliyet:** Ticari kompost çayı makineleri, genellikle yüksek yatırım maliyetine sahiptir, bu da küçük ölçekli üreticiler için bir engel teşkil edebilir.
2. **Enerji Tüketimi:** Özellikle aerobik sistemler, hava pompalarının sürekli çalışması nedeniyle önemli miktarda enerji tüketir.
3. **Yabancı menşei oluşu:** Yerli olarak kompost çayı üretimine yönelik ticari bir örnek bulunmamaktadır. Bu durum ülkemizde kompost çayına ihtiyaç duyan işletmelerin ancak yüksek maliyetlerle bu tür makinalara erişebilmelerine neden olmakta ve kompost çayı uygulamalarının yaygınlaşmasının önünde bir engel oluşturmaktadır.

Kompost çayı üretim sistemleri, dünyada organik tarım uygulamalarında giderek daha fazla popülerlik kazanmaktadır. Bu sistemlerin seçimi yapılırken, özellikle ticari ölçekte üretim yapılacaksa, başlangıç maliyetleri, operasyonel verimlilik ve bakım gereksinimleri gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Kullanım kolaylığı ve mikroorganizma çoğaltma kapasitesi gibi avantajlar, bu sistemlerin yatırım değerini artırırken, yüksek enerji tüketimi ve maliyet gibi dezavantajlar, özellikle küçük ölçekli üreticiler için göz önünde bulundurmaktadırlar.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması, “Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü”ne ait “Yenilenebilir Enerji” ve “Kompost ve Biyogaz Sistemleri Uygulama” laboratuvarlarında yürütülmüştür.

Kompost çayı üretimi, çeşitli biyolojik ve kimyasal reaksiyonların etkin bir şekilde yönetilmesini gerektiren bir süreçtir. Bu nedenle, üretim sürecinin otomasyonu, hem verimliliği artırmak hem de tutarlılığı sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Otomasyon sistemi, sıcaklık, pH ve oksijen seviyeleri gibi kritik parametreleri sürekli olarak izleyerek, optimum koşulların korunmasını sağlar. Bu tez çalışması kapsamında, kompost çayı üretiminde kritik parametreleri izleyen ve bu doğrultuda prosesi yöneterek sera otomasyon sistemiyle entegre çalışan bir sistemin tasarımı, imalatı ve geliştirme çalışmalarının yapılması öngörülmüştür.

Kompost çayı üretim sisteminin sera otomasyon sistemlerine entegrasyonunun gerçekleştirilmesi için, 2012 yılında Teknogirişim Sermaye Desteği ile yürütülen hidroponik sera otomasyonu projesinde geliştirilmiş otomasyon yazılımı da kullanılmıştır. Bu projede elde edilen deneyimler; sensör ve aktüatör teknolojilerinin kullanımı, veri analizi ve izleme teknikleri gibi konular, kompost çayı üretim sisteminin otomasyonu için önemli bir temel oluşturmaktadır. Hidroponik sera otomasyonu projesinde kullanılan yöntemler ve teknolojiler, bu tez çalışmasında geliştirilecek olan kompost çayı üretim sisteminin tasarımı ve otomasyonunda benzer şekilde uygulanmıştır. Geliştirilen yazılım, herhangi bir PLC sera otomasyon sisteminde kullanılan gübreleme sistemi ile birlikte çalışabilen ve kompost çayının otomatize edilerek uygulanmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Kompost çayı üretiminde en büyük zorluklardan biri, üretim sürecinin karmaşıklığı ve çeşitli parametrelerin hassas bir şekilde yönetilmesi gerekliliğidir. Geleneksel yöntemlerle bu sürecin yönetimi, insan hatasına açık bir duruma getirmektedir. Bu nedenle, otomasyonun geliştirilmesi ve sera otomasyon sistemlerine dahil edilebilmesi, tarımsal üretim sürecinin daha etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesine olanak tanıyacaktır. Hidroponik sera otomasyonu projesinde elde edilen deneyimlerin

bu yeni projeye aktarılması, sürecin optimizasyonu açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasının ana amacı, kompost çayı üretim sisteminin tasarımını ve imalatını gerçekleştirmek ve bu sistemi optimize edecek bir otomasyon yazılımı ve donanımını geliştirmektir.

Özel olarak hedeflenen noktalar şunlardır:

- Kompost çayı üretim sürecini kontrol edebilen ve ayrıntılı analizini yapabilen bir sistem oluşturmak.
- Üretim sürecini optimize edecek sensör ve aktüatörlerin seçimi ve devreye alınmasını sağlamak.
- Üretim sürecinin otomasyonunu sağlamak için gerekli yazılımın geliştirilmesi.
- Kompost çayı üretim sisteminin, sera otomasyon sistemlerine entegre edilebilirliğini sağlamak ve bu entegrasyonun etkinliğini test etmek.
- Sürecin, yapay zeka teknolojilerinden olan makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak yönetilmesini sağlamak.

Bu hedefler doğrultusunda, çalışmanın hem bilimsel literatüre hem de pratik tarım uygulamalarına önemli katkılar sunması beklenmektedir.

Tez kapsamında geliştirilen kompost çayı üretim sistemi, hem tasarım olarak hem de kontrol edilebilirlik açısından mevcut sistemlerden pozitif anlamda ayrılmaktadır. Bu ayrışma noktalarından birincisi, mevcut sistemlerden farklı bir tasarımla üretilmiş olmasıdır. Diğer ayrıştığı nokta ise sistem değerlerinin sürekli ölçülmesini sağlayan sensörler ile donatılması ve farklı parametrelerle sürecin yürütülmesini sağlayabilecek bir otomasyon sistemine sahip olmasıdır. Bu otomasyon sisteminde yapılan geliştirmeler ile sistem PC üzerinden kontrol edilebilir ve ilerleyen süreçte yapay zeka algoritmaları ile kontrol edilebilir bir sistem oluşuyla da ön plana çıkmaktadır. Tasarımsal farklılıkları ve sahip olduğu donanımlarla diğer sistemlerden ayrıştığı noktalar yöntem kısmında daha detaylı şekilde anlatılmıştır.

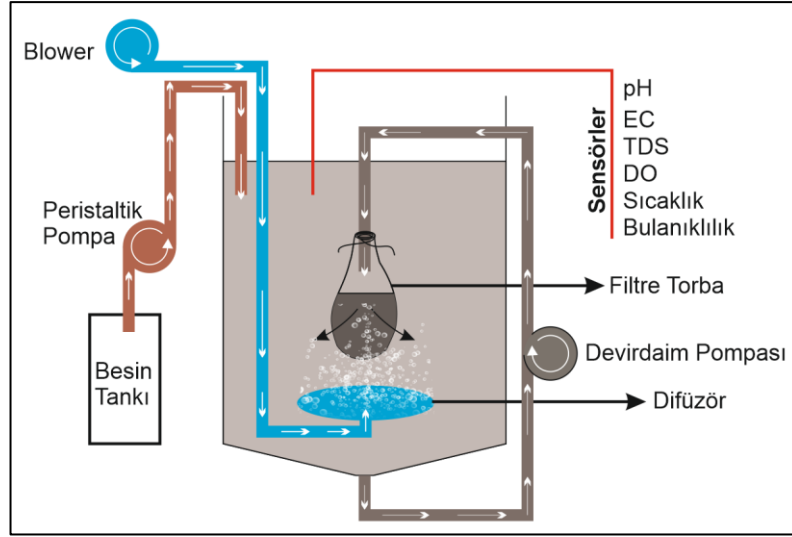
Yürütülecek çalışmalarda, tez yazarının yardımcı yürütücü olarak görev almış olduğu 2020-BTAP1-0076 nolu BTAP (Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projeleri) kapsamında yürütülen çalışma ile temin edilmiş donanımlar ile gerçekleştirilmiştir. Temin edilmiş mevcut donanımların belirlenmesinden sonra, tasarım sürecine geçilmiştir ve bu süreç, modern 3D modelleme araçlarından biri olan Shapr3d programı kullanılarak yürütülmüştür. Shapr3d, özellikle mobil cihazlar üzerinde kolay kullanımı ve güçlü modelleme yetenekleri ile tanınan bir CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımıdır. Bu program, hem profesyonel tasarımcılar hem de eğitim amaçlı kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. Shapr3d programının eğitim amaçlı lisansı temin edilmiş ve bu sayede programın tüm özellikleri, tez çalışması süresince etkin bir şekilde kullanılmıştır.

Sistemin yönetiminin sağlandığı yazılımsal bileşenler, PLC donanımı tarafında Ladder programlama dili ve PC tarafında ise Python yazılım dilidir. PC yazılımının geliştirilmesinde kullanılan bu dil geniş kütüphanesi ve sistem kaynaklarını etkili bir şekilde kullanılabilmesinden dolayı seçilmiştir. Python ile geliştirilen programlar çapraz platformlarda çalışabilme yeteneğine sahip olup, bu platformlar için arayüz geliştirmesine olanak tanıyan yazılım dillerinden biridir.

3.1. Materyal

3.1.1. Kompost çayı üretim sistemini oluşturan bileşenler

Kompost çayı üretim sistemi, bitkisel ve mikrobiyal gelişimi desteklemek için tasarlanmış bir dizi bileşenden oluşur. Kompost çayı üretim sürecinde kullanılan temel bileşenler ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu bileşenlerin her biri, sistemin genel verimliliğini ve etkinliğini artırmak için önemli rol oynamaktadır. Bu bileşenlerin işleyişini şematik olarak ifade eden görsel Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Sistem bileşenlerinin ve işleyişin şematik gösterimi

3.1.1.1. Konstrüksiyon

Konstrüksiyon, sistemin temelini oluşturan ve reaktörün sabit ve güvenli bir şekilde konumlandırılmasını sağlayan metal aksamdır. Sağlam yapısı sayesinde, reaktörün işletme sırasında karşılaşılabileceği titreşim ve diğer mekanik etkilere karşı dayanıklılık gösterir. Ayrıca reaktörün taşınmasını kolaylaştırması amacıyla 4 adet tekerlek ile donatılmıştır. Bu sistemde, çeşitli motorlar kullanılarak farklı işlemlerin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Motorlar, reaktörün içindeki sıvının sirkülasyonunu sağlamak, hava pompalamak ve ihtiyaç duyulan besinin reaktöre dozajlanması işlemlerini gerçekleştirmek için kullanılır. Sistemin genel görünümüne ait görsel Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Sistem bileşenlerinin genel görünümü

3.1.1.2. Reaktör (demleme tankı)

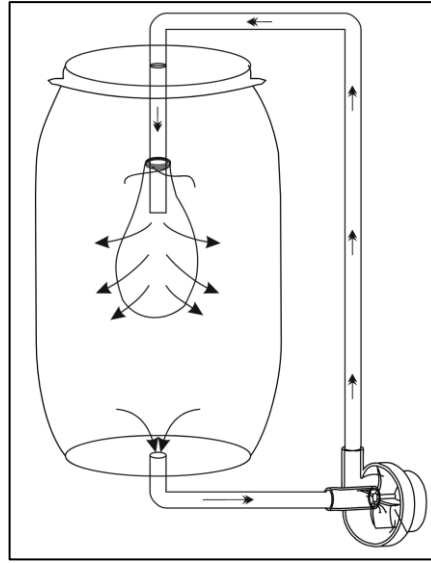
Demleme tankı, kolay işlenebilir olması ve içerisindeki kompost çayı ile kimyasal bir etkileşime girmemesi gerektiğinden dolayı, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeden üretilmiş 60 litrelik kimyasal varili seçilmiştir. Aktif (dolu kısım) hacmi 50 litre olarak kullanılmıştır. Sistemin havalandırma devridaim besleme, sensör bağlantıları gibi bileşenlerinin biraraya getirildiği bu tank, kompost çayı üretiminin yapıldığı reaktörü de temsil etmektedir. Bu sebeple gerekli sızdırmazlık temizlenebilirlik ve taşınabilirlik olması gibi durumlar gözetilerek tank üzerinde bazı modifikasyonlar yapılmıştır. Sistem için özelleştirilmiş demleme tankına ait görüntü Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kompost çayı üretimi için özelleştirilmiş HDPE Tank

3.1.1.3. Devirdaim pompası

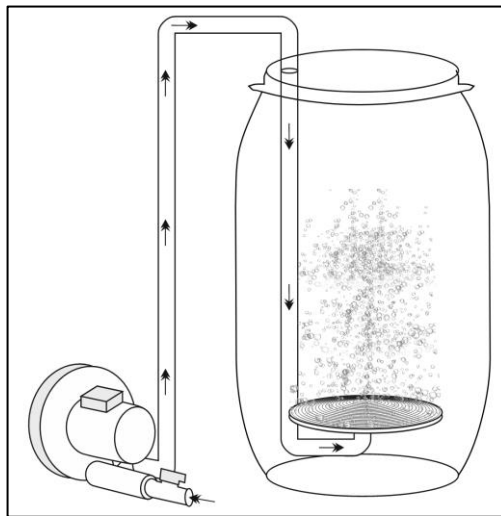
Devirdaim pompası, reaktör içindeki sıvıyı tekrar reaktör içerisinde pompalayarak homojen bir karışım oluşmasını sağlar. Ayrıca, kompost materyali ile sıvının etkileşiminin ve dolayısıyla çözünmüş kuru madde miktarının artırılması amacıyla kompost torbası pompanın basma hattının uç kısmında bağlanmıştır. Bu işlem pompanın çalıştırıldığı her durumda sıvının tekrar filtrelenmesine de katkı sağlamaktadır. Devirdaim pompası ve kompost torbasının sistemde çalışma prensibini anlatan şematik görsel Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Devirdaim pompasının sistemdeki işleyişi

3.1.1.4. Havalandırma sistemi

Kompost çayı üretim sisteminde hava pompası (blower) ve difüzör, oksijenin tank içindeki sıvıya eşit şekilde dağıtılmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu, aerobik mikroorganizmaların aktif kalmasını ve kompost çayının etkin bir şekilde üretilmesini desteklemektedir. Sistemde 0.55 kW gücünde bir blower kullanılmıştır. Bu blower, havayı emerek difüzöre iletir ve tank içindeki sıvının oksijenlenmesini sağlar. Bu süreçte, havanın yeterli debide ve basınçta olması, kompost çayı üretim sürecinin etkinliği açısından kritik öneme sahiptir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Blower ve difüzörün sistemdeki işleyişi

Blowerdan sağlanacak hava debisinin ayarlanması amacıyla hava giriş hattı üzerine bir adet vana konumlandırılmıştır. Bu sayede sisteme ihtiyaç duyulan hava miktarı ayarlayabilme özelliği kazandırılmıştır. Vana, blower'a giren hava miktarını kontrol ederek hava debisini ayarlamaya yardımcı olmaktadır. Bu, blower'ın gereğinden fazla hava emmesini ve bu havanın difüzörde sıkışarak ısınmasını önlemektedir. Vana kullanımının, blower ve difüzör sisteminde havanın ısınması problemini azaltmak ve sistemin daha verimli çalışmasını sağlamak için önemli olduğu belirlenmiştir. Bu sayede, havanın sıkışması ve ısınması engellenerek, kompost çayı üretim sürecinin daha etkin ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Hava pompası ve difüzör, havalandırılmalı kompost çayı üretim sisteminde hayati bir rol oynamaktadır. Blower, havayı emerek difüzöre iletir ve tank içindeki sıvının oksijenlenmesini sağlar. Difüzör, havanın eşit şekilde dağılmasını ve aerobik mikroorganizmaların aktif kalmasını destekler. Bu bileşenlerin doğru bir şekilde seçimi ve entegrasyonu, kompost çayı üretim sürecinin başarısı için kritiktir.

3.1.1.5. Peristaltik pompa

Peristaltik pompa, sıvı veya gazları taşıyan esnek bir hortumu sıkıştırarak ve serbest bırakarak çalışan bir pompadır. Bu pompanın temel çalışma prensibi, esnek bir hortum ve hortumu belirli aralıklarla sıkıyan ruloların bulunduğu bir rotor mekanizmasına dayanmaktadır. Rotor döndükçe rulolar hortumu sıkarak sıvıyı veya gazı ileri doğru itmektedir. Sıkışan hortum, sıvıyı veya gazı rulonun önünden ileri doğru hareket ettirir. Rulo hortumdan ayrıldığında, hortum eski şeklini alarak tekrar açılır ve yeni sıvı veya gaz girişi sağlanmış olur. Rotor sürekli döndüğünde rulolar, hortumu arka arkaya sıkarak ve serbest bırakarak sıvıyı veya gazı kesintisiz bir şekilde pompalar. Bu sayede, peristaltik pompalar sürekli ve sabit bir akış sağlamış olur. Akış hızı, rotorun dönüş hızı ile hassas bir şekilde kontrol edilebilir, bu da doğru dozajlama sağlar. Bu özellikler, peristaltik pompaları tarımsal üretimde kimyasal gübrelerin ya da kompost çayında ihtiyaç duyulan besin maddelerinin dozajlanması gibi uygulama alanlarında ideal kılar. Sistem üzerinde konumlandırılan ve süreç yönetiminde kullanılan peristaltik pompa Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Peristaltik pompa

Tez çalışmasında, besin solüsyonlarının reaktöre eklenmesi için kullanılan peristaltik pompa motoru, hassas bir dozajlama yaparak besin maddelerinin doğru miktarda eklenmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu motor, düşük debi ve yüksek hassasiyetle çalışacak şekilde ayarlanmış ve sürekli çalışma durumunda, saatte 2.27 litre besini reaktör içerisine yükleyebilmektedir.

3.1.1.6. Filtre torba

Kompost çayının filtre edilmesi sürecinde, katı partikülleri filtre içerisinde tutmak için 400 mikronluk büzgülü monofilament filtre üretilmiştir. Bu filtre torbası, 1.5 kg kompost alacak kapasitede olup, yaklaşık 20 cm x 35 cm boyutlarındadır. Sistem dahilinde ayrıca bir filtrasyon işlemi bulunmamaktadır. Ancak tank içerisinde bulunan devir daim pompasının basma hattı, filtrasyon torbasının içerisine basma işlemi gerçekleştirdiği için, devirdaim pompası çalıştığında filtreleme işlemi tekrarlanarak gerçekleşmektedir. Deneme öncesinde içerisine kompost materyali doldurulmuş filtre torbanın görüntüsü ve devirdaim sistemine bağlandığı durumun görüntüsü Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Deneme öncesi ve esnasında kompost materyali doldurulmuş filtre torbası

3.1.2. Kompost materyali

Kompost çayı üretiminde kullanılan ana materyal, komposttur. Büyük baş hayvan gübresi kompostu, mantar kompostu, solucan gübresi kompostu ve diğer kompost türleri gibi çeşitli kompostlar, kompost çayı üretiminde alternatif olarak kullanılabilir. Farklı kompost türleri, içerdiği organik maddeler, besinler ve mikrobiyal topluluklar açısından çeşitlilik gösterir ve bu da elde edilen kompost çayının özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Farklı kompost türleri, kompost çayının besleyici değerini ve mikrobiyal aktivitesini önemli ölçüde etkiler. Örneğin, yüksek organik madde içeriğine sahip kompostlar, daha fazla mikrobiyal aktivitenin gelişimini sağlayarak daha verimli kompost çayı elde edilmesinin önünü açabilir. Aynı şekilde, pH ve elektriksel iletkenlik gibi kimyasal özellikler, kompost çayının bitki büyümesi üzerindeki etkilerini belirleyebilir. Bu nedenle, kompost çayı üretiminde kullanılacak kompostun özelliklerinin dikkatlice analiz edilmesi ve seçilmesi önemlidir.

Yürütülen çalışmalarda kompost çayı üretimi için kullanılan kompost materyali, mantar kompostu olarak seçilmiştir. Kullanılan materyale ait analiz, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (BATEM), Toprak ve Su Kaynakları Bölümü, Toprak, Bitki, Su ve Gübre Analiz Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Organik materyal analiz sonuçlarına göre, kompostun pH değeri 7.6, elektriksel iletkenliği (EC) 2.98 dS/m, nem oranı %41.8, kuru madde oranı %58.2, organik madde oranı %32.0 ve kül oranı %68.0'dır. Mantar kompostu materyaline ait analiz sonuçlarının detayları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan mantar kompostuna ait analiz sonuçları

Parametre	Değer
pH (1:5)	7.6
EC (dS/m, 1:5)	2.98
Nem (%)	41.8
Kuru Madde (%)	58.2
Organik Madde (%)	32.0
Kül (%)	68.0
Toplam Azot (N, %)	1.08
Karbon (C, %)	18.6
C/N Oranı	17.1
Toplam Fosfor (P, %)	0.02
Toplam Potasyum (K, %)	2.63
Toplam Kalsiyum (Ca, %)	7.70
Toplam Magnezyum (Mg, %)	0.84
Toplam Demir (Fe, ppm)	7046
Toplam Mangan (Mn, ppm)	285
Toplam Çinko (Zn, ppm)	139

Yürütülen her denemede 1.5 kg kompost, 400 mikron gözenek büyüklüğüne sahip monofilament filtre torbası içerisinde demleme tankına yerleştirilmiştir. Filtre torbası, katı partiküllerin kompost çayına karışmasını önlerken, büzgülü yapısı kolayca takılıp çıkarılmasına olanak tanımaktadır. Kullanılan mantar kompostuna ait görsel Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kullanılan mantar kompostu

3.1.3. Su ve besin çözeltileri

3.1.3.1. Su

Kompost çayı üretiminde kullanılan su, mikroorganizmaların sağlıklı bir şekilde gelişmesi ve kompost çayının etkinliğini artırmak için kritik bir bileşendir. Su, hem kompost materyalinin çözünmesini sağlamak hem de mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu ortamı yaratmak için kullanılır. Bu nedenle, kullanılan suyun kalitesi ve özellikleri büyük önem taşımaktadır.

Yürütülen çalışmalarda kullanılan su, içme suyu kalitesindedir. İçme suyu, mikroorganizmaların gelişimini olumsuz etkileyecek kirleticilerden ve zararlı maddelerden arındırılmış olduğundan, ideal bir su kaynağıdır. Ayrıca, içme suyunun pH seviyesinin nötr veya hafif alkali (pH 6.5-8.5) olması, mikroorganizmaların optimal büyümesi için uygun bir ortam sağlamaktadır.

Genellikle şebeke sularında, zararlı mikroorganizmaları öldürmek ve suyu dezenfekte etmek amacıyla klor bulunmaktadır. Ancak, kompost çayı üretiminde kullanılan suyun içerisinde klor bulunması, faydalı mikroorganizmaların da çoğalmasını engelleyebilir. Bu nedenle, suyun içerdiği klorun uzaklaştırılması gerekmektedir. Denemelerde kullanılacak suya, deneme öncesinde kloru uzaklaştırmak için havalandırma ve dinlendirme işlemleri uygulanmıştır. Havalandırma işlemi suyun 2 saat boyunca sürekli olarak devirdaim pompası ile karıştırılması ile sağlanmıştır.

Kompost çayı üretiminde kullanılan suyun içme suyu kalitesinde olması ve klordan arındırılmış olması, çayın etkinliği ve mikrobiyal içeriği açısından büyük önem taşır. Havalandırma ve dinlendirme işlemleri, suyun klordan arındırılmasını sağlayarak mikroorganizmaların gelişimi için ideal bir ortam yaratır. Bu nedenle, kompost çayı üretim sürecinde kullanılan suyun özellikleri ve işleme tabi tutulma şekli, başarılı bir üretim için kritik önem taşımaktadır.

3.1.3.2. Besin çözeltisi

Kompost çayı üretiminde kullanılan besin çözeltileri, mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik eden ve kompost çayının besleyici değerini artıran önemli bileşenlerdir. Bu bağlamda, şilempe ve melas gibi ürünler, kompost çayı üretiminde sıklıkla kullanılan ve yüksek şeker içeriği ile mikroorganizmalar için besin kaynağı sağlayan ideal ürünlerdir.

Melas, şeker üretimi sırasında şeker kamışı veya şeker pancarının işlenmesi sonucu elde edilen koyu renkli, viskoz bir yan üründür. Yüksek oranda sakkaroz, glikoz ve fruktoz gibi şekerler içeren melas, aynı zamanda az miktarda protein, vitaminler ve mineraller gibi besin maddelerini de barındırır. Şilempe ise, melas kullanılarak elde edilen bitkisel kökenli alkol üretimi için gerçekleştirilen süreçte çıkan bir yan üründür. Bu zengin besin içeriği, melası ve şilempeyi mikroorganizmalar için uygun enerji kaynaklarından biri haline getirmektedir.

Kompost çayı üretiminde şilempe, mikroorganizmaların hızlı ve sağlıklı bir şekilde çoğalmasını teşvik etmek amacıyla suya eklenmektedir. Şilempenin içeriğindeki şeker, özellikle bakteriler ve mantarlar gibi mikroorganizmaların enerji ihtiyaçlarını karşılayarak, onların aktif hale gelmesini sağlar. Bu süreçte, şilempenin sağladığı besinler mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerini artırır ve bu da kompost çayının biyolojik etkinliğini ve besleyici değerini artırır.

Sonuç olarak şilempe, kompost çayı üretiminde kritik bir rol oynayan ve mikroorganizmaların gelişimini destekleyen önemli bir besin çözeltisi bileşenidir. Yüksek şeker içeriği ve zengin besin profili ile şilempe, kompost çayının etkinliğini ve bitki sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini artırır. Bu nedenle, kompost çayı

üretiminde şilempenin doğru ve uygun miktarlarda kullanılması büyük önem taşımaktadır. Yürütülen çalışmalarda şilempe kullanılmış olup, geleneksel önden besin eklemesine alternatif olarak peristaltik pompa ile dozajlanarak üretim süreci üzerinde farklı bir yaklaşım getirilmiştir. Dozajlama, deneme sürecine eşit şekilde yayılmış ve saatlik periyotlarla gerçekleştirilmiştir.

3.1.4. Sensörler

Kompost çayı üretim sistemi, reaktör içi sıcaklık, ortam sıcaklığı, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katı madde (TDS), bulanıklık ve çözünmüş oksijen sensörleri ile donatılmıştır. Ortam sıcaklığı sensörü dışındaki tüm sensörler, reaktörün orta seviyelerine gelecek şekilde, iç ve dış kısımlarından conta kullanılarak sızdırmaz şekilde monte edilmiştir. Bu sensörler, sürekli veri toplayarak sistemin otomasyonu ve optimizasyonu için gerekli bilgileri sağlamaktadır. Sensörlerin tank üzerine montajı esnasında alınmış görüntüler Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Sensörlerin montajı

Sensörler, verileri topladıktan sonra, transdüserler yardımıyla ölçüm sinyallerini elektriksel sinyallere dönüştürür. Bu transdüserler, sensör sinyallerinin tek bir kablo üzerinden PLC'ye aktarılabilmesi için özel olarak tasarlanmış bir kutu içerisinde bir araya getirilmiştir. Bu kutu, sızdırmaz özellikte olup, transdüserlerin güvenli bir şekilde yerleştirilmesini sağlamaktadır. Transdüserlerin PLC ile olan bağlantısı, 9 pinli erkek COM portu üzerinden sağlanmıştır. Bu port, transdüser uçlarının lehimlenerek

takılıp çıkarılabilme özelliği kazandırılmıştır, bu da sistemin bakımını ve modifikasyonunu kolaylaştırmaktadır. Tek bir kablo üzerinden PLC ile bağlantı kurulması, sistemin genel düzenini basitleştirmekte ve kablolama karmaşasını önlemektedir. Şekil 3.10'da, sensörlerin ve transdüserlerin reaktör üzerindeki yerleşimlerini gösteren görseller bulunmaktadır.



Şekil 3.10. Sensörler ve transdüserlerin yerleşimleri

3.1.4.1. Reaktör sıcaklığı sensörü

Reaktör sıcaklığının ölçülmesi için vidalı proba sahip K tipi bir termokapl kullanılmıştır. 0 ila 450°C arasında ölçüm yapabilen bu sensör, sistemin ihtiyaçlarını karşılayacak niteliktedir. Sıcaklık, mikroorganizmaların aktivitesi ve kimyasal reaksiyonların hızını etkileyen kritik bir parametredir. Optimal sıcaklık aralığında çalışmak, verimli biyolojik süreçler ve yüksek kaliteli ürün elde etmek için gereklidir.

Bu sensör monte edilirken reaktör üzerine uygun ölçüde bir delik açılmış ve somun ile sabitlenmiştir. Sızdırmazlık için bağlantı noktalarında conta ve silikon kullanılmıştır. Kullanılan bu sıcaklık sensörüne ait görsel Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



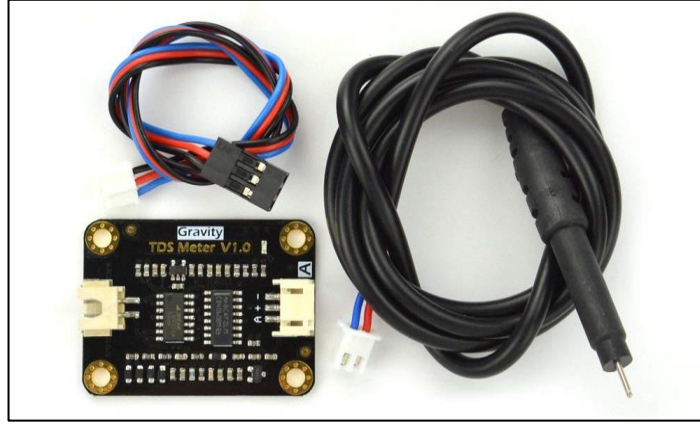
Şekil 3.11. Sistemde kullanılan K tipi termokapl sıcaklık sensörü

Reaktörde kullanılan TDS (Toplam Çözünmüş Katı Madde) ve çözünmüş oksijen sensörlerinin doğru değerler üretebilmesi için sıcaklığın izlenmesi kritik öneme sahiptir. Sıcaklık değişimleri, bu sensörlerin ölçüm doğruluğunu doğrudan etkiler. Örneğin, TDS sensörleri sıcaklığa duyarlıdır ve sıcaklık değiştikçe kalibrasyon gerektirebilir. Benzer şekilde, çözünmüş oksijen sensörleri de sıcaklık değişimlerinden etkilenir, çünkü sıcaklık, suyun oksijen çözünürlüğünü değiştirir. Bu nedenle, doğru ve güvenilir veriler elde edebilmek için sıcaklık sensörünün sürekli ve doğru bir şekilde çalışması gereklidir.

3.1.4.2. Toplam çözünmüş katı madde (TDS) sensörü

Üretim süreci boyunca reaktör içerisinde üretilen çayın toplam çözünmüş katı madde (TDS) miktarının izlenebilmesi için Gravity marka TDS sensörü kullanılmıştır. Toplam çözünmüş katı madde miktarı, çayın içeriğindeki çözünmüş tuzlar, mineraller ve diğer maddelerin toplam konsantrasyonunu belirleyen önemli bir parametredir. TDS seviyesi, çayın kalitesini ve besleyici değerini doğrudan etkiler. Bu nedenle, TDS sensörleri, üretim sürecinin her aşamasında çayın kimyasal bileşiminin izlenmesini ve gerektiğinde ayarlamalar yapılmasına imkan sağlar. Bu izleme, çayın optimum besleyici değerinin korunmasını ve bitki sağlığına katkıda bulunmasını sağlamak için

kritik öneme sahiptir. Kullanılan bu TDS sensörüne ait görsel Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Kullanılan TDS sensörü

3.1.4.3. Bulanıklık sensörü

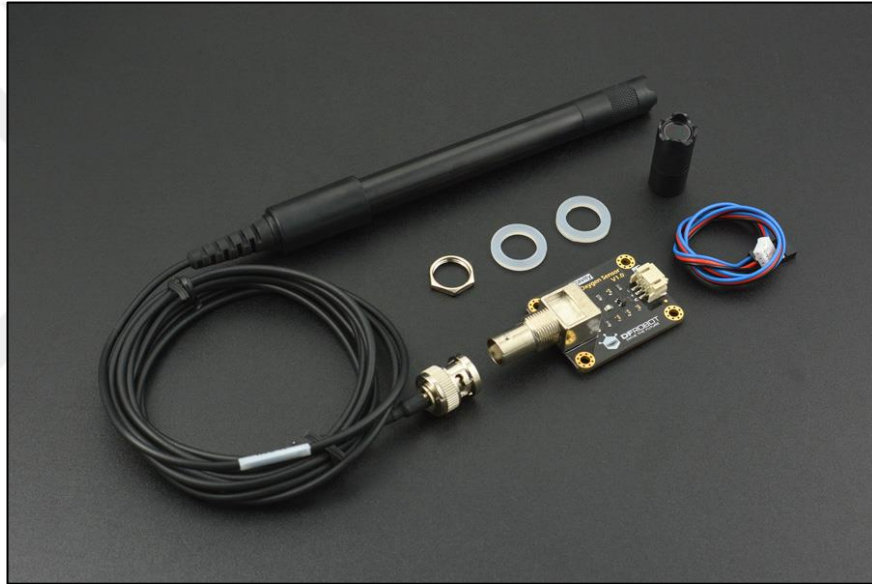
Üretim süreci boyunca reaktör içerisinde üretilen çayın bulanıklık seviyesinin izlenebilmesi için reaktör üzerine montaj edilebilen Gravity marka bir bulanıklık sensörü kullanılmıştır. Bulanıklık, çayın içerisinde askıda bulunan partiküllerin yoğunluğunu belirleyen bir parametredir. Çayın bulanıklık seviyesi, mikroorganizmaların aktivitesini ve çayın genel kalitesi açısından bir gösterge niteliği taşımaktadır. Bu nedenle, bulanıklık sensörü, üretim sürecinin her aşamasında çayın fiziksel özelliklerinin izlenmesini ve süreç ilerleyişine dair bilgiler edinmede önemli bir göstergedir. Sistemde kullanılan bulanıklık sensörüne ait görsel Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.13. Sistemde kullanılan bulanıklık sensörü

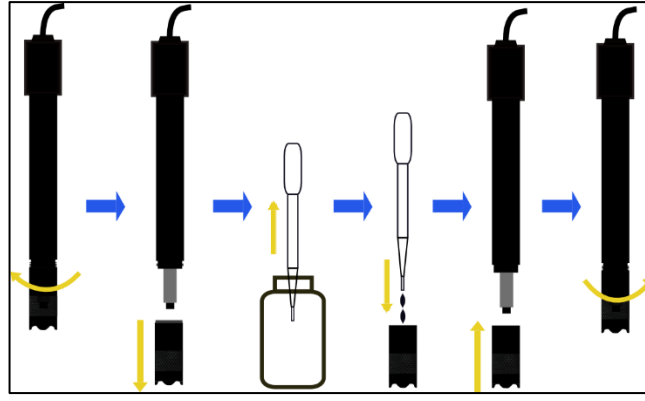
3.1.4.4. Çözünmüş oksijen sensörü

Üretim süreci boyunca reaktör içerisinde üretilen çayın çözünmüş oksijen seviyesinin izlenebilmesi için Gravity marka analog çözünmüş oksijen sensörü (SKU: SEN0237) kullanılmıştır. Kullanılan sensöre ait görüntü Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Çözünmüş oksijen, mikroorganizmaların sağlıklı bir şekilde gelişmesi için kritik bir parametredir. Mikroorganizmaların metabolik aktivitelerini sürdürebilmesi için yeterli oksijen seviyesinin korunması gerekmektedir. Bu sensör, reaktör içerisindeki oksijen seviyesini sürekli olarak izleyerek, üretim sürecinin her aşamasında çayın biyolojik dengesi hakkında önemli veriler sağlamaktadır.



Şekil 3.14. Sistem üzerinde kullanılan çözünmüş oksijen sensörü

Gravity çözünmüş oksijen sensörü, ölçüm yapmak için elektrokimyasal prensiplerle çalışmaktadır. Sensör, çözünmüş oksijen seviyelerini belirlemek için prob içerisine doldurulan 0.5 mol/L NaOH çözeltisine ihtiyaç duyar. Sensörde kullanılan kimyasal, elektrotla reaksiyona girerek bir elektrik akımı üretir ve bu akım, çözünmüş oksijen miktarına bağlı olarak değişir. Bu elektrokimyasal reaksiyon, sıvı içerisindeki oksijen moleküllerinin bir membrandan geçerek elektrot yüzeyinde indirgenmesi veya oksitlenmesi ile gerçekleşir. Bu sayede, çözünmüş oksijen seviyeleri hassas bir şekilde ölçülür. Her deneme öncesinde prob içerisinde bulunan ve önceki deneme sonrasında eksilen kimyasalın tamamlanması, Şekil 3.15’te gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15. Çözünmüş oksijen sensörüne kimyasal ekleme işlemi adımları

Çözünmüş oksijen sensörünün montajı ve sisteme bağlanışını gösteren görsel, Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Reaktör üzerine montaj edilmiş çözünmüş oksijen sensörü

3.1.4.5. pH, EC ve ortam sıcaklığı sensörleri

Üretim süreci boyunca reaktör içerisinde üretilen çayın pH ve elektriksel iletkenlik (EC) seviyelerinin izlenebilmesi için IoT özellikli sensörler kullanılmıştır. pH seviyesi, çayın asidik veya bazik özelliklerini belirleyen kritik bir parametre olup, mikroorganizmaların sağlıklı bir şekilde çoğalması ve optimal biyolojik aktivitenin sürdürülmesi için önemlidir. EC seviyesi ise, çayın içeriğindeki çözünmüş tuzlar ve iyonların konsantrasyonunu ölçer ve çayın besleyici değerini ortaya koyan bir göstergedir. IoT özellikli bu sensörler, pH ve EC seviyelerini gerçek zamanlı olarak izleyerek, verileri kablosuz olarak doğrudan bilgisayara aktarmaktadır. Bu sayede, üretim sürecinin her aşamasında çayın kimyasal dengesinin izlenmesi ve gerektiğinde

ayarlamalar yapılması sağlanabilir. Bu izleme ve kontrol, çayın kalitesini korumanın yanı sıra, bitki sağlığı ve verimliliği üzerinde doğrudan etkisi olan önemli bir kontrol mekanizmasıdır.

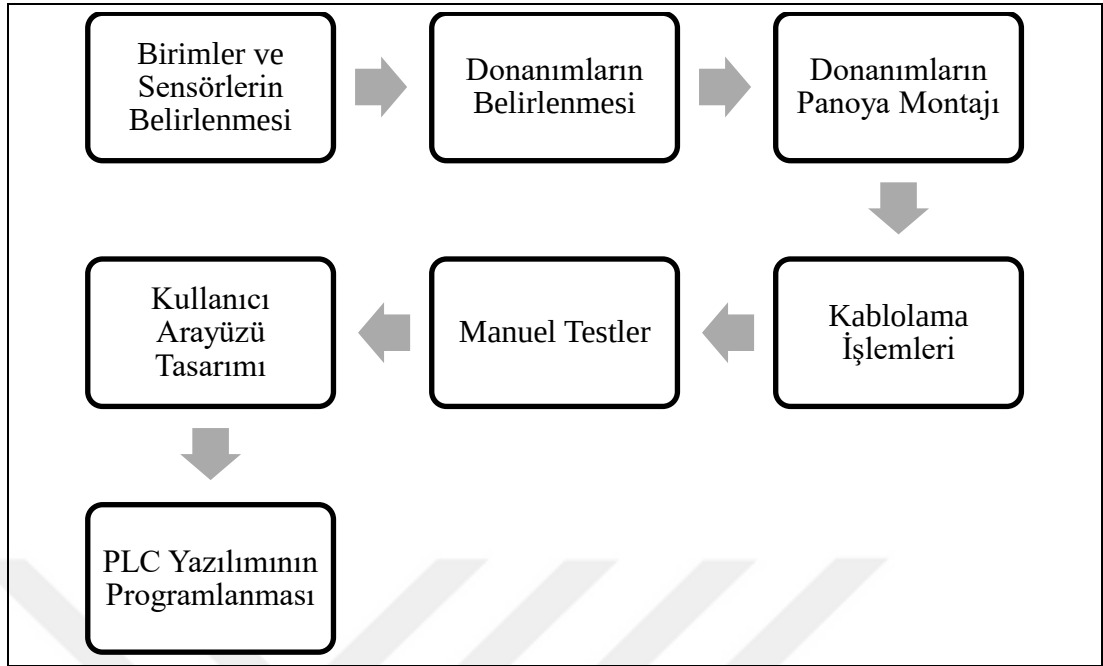
Sistem üzerinde pH, EC ve ortam sıcaklığını ölçebilen bir IoT cihazı bulunmaktadır. YIERYI marka, YY-W9909 model bu cihaz, Wi-Fi bağlantısı üzerinden PC ile haberleşebilme özelliğine sahiptir. IoT cihazı, ölçüm verilerini kablosuz olarak bilgisayara aktararak, sistemin gerçek zamanlı verileri izlemesini ve analiz etmesini sağlamaktadır. Sistemde kullanılan IoT cihazının görseli Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. pH, EC ve ortam sıcaklığı ölçen IoT cihazı

3.1.5. Otomasyon sistemi

Seralar için ya da kontrol gerektiren diğer tarımsal uygulamalarda PLC'ler ile tasarlanan otomasyon sistemleri, modern tarım uygulamalarının etkinliğini ve yönetilebilirliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır. Yürütülecek çalışmalarda, kompost çayı üretim sistemindeki donanımların kontrolü ve sensörlerden alınan verilerin okunması, Delta marka PLC ve diğer modülleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Otomasyon sistemi tasarım süreci, belirli adımları izleyerek sistemin doğru bir şekilde planlanmasını, kurulmasını ve işletilmesini sağlar. Otomasyon sisteminin oluşturulmasında izlenen iş akışına ait diyagram Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Otomasyon sistemini oluştururken izlenen iş akışı

Tasarlanan otomasyon sistemi, kompost çayı üretim sürecinin verimliliğini artırmak ve operasyonel sürekliliği sağlamak için kritik bir bileşendir. Bu sistem, çeşitli sensörler, kontrol cihazları ve yazılım entegrasyonu aracılığıyla, üretim sürecini otomatik olarak yönetebilmek için tasarlanmıştır. Otomasyon sistemi, reaktör içerisindeki çevresel koşulları izlemek, gerekli ayarlamaları yapmak ve olası sorunlara hızlı müdahale etmek amacıyla oluşturulmuştur.

3.1.5.1. Otomasyon sisteminin tasarımı ve bileşenleri

Tez kapsamında, üç adet kompost çayı üretim reaktörü için gerekli otomasyon panosu tasarlanmış ve oluşturulmuştur. Bu tasarım oluşturulurken, her reaktör için 3 farklı pompanın kontrolü, 7 adet sensörden gelen verilerin okunması ve PC ile PLC arasındaki iletişimin sağlanması gibi temel ihtiyaçlar göz önünde bulundurulmuştur. Gerekli donanımlar, belirlenen ihtiyaçlara uygun boyutlarda bir panoya monte edilmiştir.

PLC, çeşitli endüstriyel ve tarımsal otomasyon ihtiyaçlarını karşılamak üzere yüksek adaptasyon yeteneği ve güvenilirlik sunar. Kompost çayı üretim sistemi için PLC, sistemdeki tüm elektriksel ve mekanik bileşenleri koordine eden merkezi bir kontrol

ünitesi olarak işlev görür. PLC'nin seçimi, gereksinim duyulan giriş/çıkış (I/O) port sayısı, işlem kapasitesi, hafıza boyutu, iletişim özellikleri ve programlanabilirlik gibi faktörlere bağlı olarak yapılmıştır. Sensörlerden gelecek verilerin ölçümü için ihtiyaç duyulan analog giriş noktalarının sayısı harici modüllerle artırılmış ve çok sayıda sensörden gelen verinin eşzamanlı olarak PLC cihazı üzerinde toplanabilmesi sağlanmıştır.

Otomasyon sistemi, bir dizi analog dijital dönüştürücüler (ADC) ile donatılmıştır. Bu ADC'ler, reaktörün içindeki sıcaklık, pH, oksijen seviyesi ve diğer parametreleri sürekli olarak ölçen sensörlerin gönderdiği analog verileri dijital verilere dönüştürmektedir. Elde edilen veriler, PLC ünitesine aktarılmaktadır. Bu kontrol ünitesi, gerekli tüm parametreleri düzenlemekte ve sistem operasyonlarını otomatize edebilmektedir.

Otomasyon panosu üzerinde bulunan diğer elektriksel bileşenler röleler ve kontaktörlerdir. Röle ve kontaktörler, PLC üzerinden gönderilen düşük voltajlı elektriksel açma-kapama sinyallerini kullanarak yüksek akım çeken birimlerin kontrolünü sağlamak için kullanılmıştır. Peristaltik pompalar daha düşük akım çektiklerinden dolayı doğrudan röleler ile kontrol edilmektedir. Bununla birlikte, blower ve devirdaim pompası gibi daha yüksek akım çeken cihazlar, PLC'den alınan sinyalin röleyi, rölenin bu aldığı sinyalle oluşturduğu daha genlikli sinyali kontaktöre aktarması ile kontrol edilmektedir. Bu sistem, yüksek akım çeken cihazların güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar.

Buna ek olarak, sistemde acil durum durdurma düğmeleri ve sigortalar gibi güvenlik bileşenleri de bulunmaktadır. Bu bileşenler, olası elektriksel arızalara ve operatör hatalarına karşı koruma sağlar, sistemin güvenli bir şekilde çalışmasını temin eder. Tüm bu özellikler, kompost çayı üretim sisteminin güvenilirliğini ve etkinliğini artırarak, sürdürülebilir ve kontrol edilebilir bir üretim süreci sunmaktadır.

Reaktörde kullanılan elektrikli cihazların tamamı otomasyon sistemi tarafından yönetilir. Bu bileşenlerin çalışma süreleri ve periyotları sensörlerden gelen verilere veya araştırmacının belirlediği parametrelere göre ayarlanabilmektedir. Bu sayede kompost çayının kalitesi ve mikrobiyal aktivitesi optimize edilebilmektedir.

Otomasyon sisteminde kullanılan tüm bileşenlerin görüntülediği görsel Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19. Otomasyon sistemini oluşturan donanımlar

3.1.5.2. Elektriksel bağlantılar

Sistemin elektriksel bağlantıları, güvenlik ve performans standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Komponentler arası bağlantılar, endüstriyel kalitede kablo ve konektörler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Güç kaynağı, röleler, kontaktörler ve sensörler gibi bileşenler, PLC üzerindeki uygun I/O portlarına bağlanmıştır. Bu bağlantılar, otomasyon panosu içerisindeki elektriksel bağlantıları temsil etmektedir. Otomasyon panosunda bulunan röle ve kontaktör çıkışlarından, ilgili reaktörün kontrolünü sağlayacak şekilde her reaktör için uygun kalınlıkta elektrik kabloları çekilmiştir. Kablolar dişi bir port üzerine bağlanarak reaktör ile otomasyon sistemi arasında tak çıkar özelliği kazandırılmıştır. Diğer elektriksel bağlantılar ise reaktör tarafında gerçekleştirilen bağlantılardır. Bu bağlantılar da panel içerisinde olduğu gibi güvenlik ve performans standartlarına uygun şekilde oluşturulmuştur. Reaktör tarafında da bu portun erkek kısmı bulunmaktadır. Bu port ile gerçekleştirilen bağlantının resmi ve reaktör tarafında gerçekleştirilen motorlara ait elektriksel bağlantılar Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Reaktör tarafındaki elektriksel bağlantılar ve giriş portu

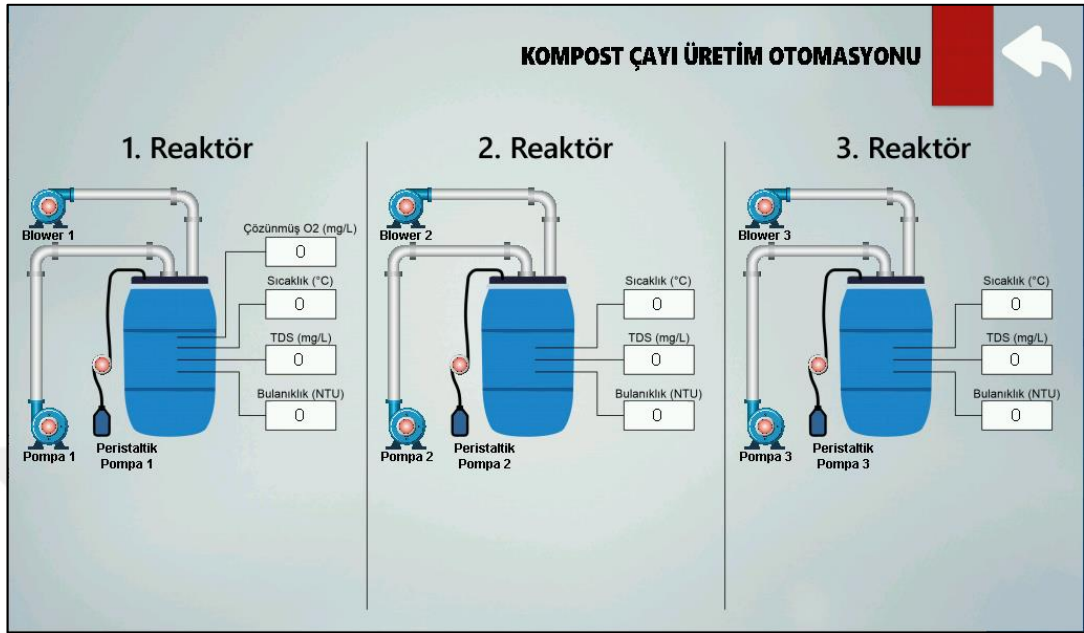
Bu tasarım, bakım ve onarım süreçlerini kolaylaştırarak, sistemin esnekliğini ve kullanım kolaylığını artırmıştır. Ayrıca, hızlı müdahalelere olanak tanıyarak sistemin kesintisiz çalışmasını sağlar. Elektriksel bağlantıların güvenliği ve sağlamlığı, otomasyon sisteminin güvenilirliğini ve sürekli olarak çalışmadaki performansını önemli ölçüde artırmaktadır.

3.1.5.3. Kullanıcı arayüzü

Kullanıcı arayüzü, sistem bileşenlerini temsil edecek simgeler ve göstergeler ile ifade edilen, anlık olarak tüm bileşenlerin durumunun görüntülenebildiği ve gerekli durumlarda müdahale edilebilen bir anlayışla tasarlanmıştır. Bu anlayış, PLC programlaması tarafında çoğu işlemin nasıl gerçekleşmesi gerektiğine dair bilgiler sunarak programlama işlemini daha kolay hale getirmektedir.

Tez kapsamında, kompost çayı üretim sistemine özel olarak durumun izlenmesi ve kontrol edilmesi için bir kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Bu arayüz, PLC'ye bağlı bir bilgisayar veya mobil cihaz üzerinden erişilebilen ve grafiklerle ifade edilmiş bir kullanıcı arayüzü şeklindedir. Arayüz, sistem parametrelerinin gerçek zamanlı olarak görüntülenmesine, ayar değişikliklerinin yapılmasına ve alarm durumlarının izlenmesine olanak tanımaktadır. Arayüz tasarımı, kullanıcının tüm kontrol fonksiyonlarına kolayca erişebilmesi, sistem durumunu anlık olarak görebilmesi ve gerektiğinde müdahale edebileceği şekilde hazırlanmıştır. Bu arayüze ait görsel Şekil

3.21’de gösterilmiştir. Arayüz tasarımı oluşturulurken Delta markasına ait ekranların programlanması için ücretsiz olarak sunduğu DOP Soft programı kullanılmıştır.



Şekil 3.21. Oluşturulan arayüz tasarımı

3.1.5.4. PLC yazılımının programlanması

Delta PLC için sistem yazılımının programlanması, sistem gereksinimlerine göre yapılandırılan bir süreçtir. PLC programı, Ladder programlama dili kullanılarak Delta markasının ücretsiz olarak sunduğu WPL Soft programı ile oluşturulmuştur. Oluşturulan PLC programı, sistemin tüm operasyonlarını PC programı ile haberleşerek yönetir. Ayrıca, sistemdeki tüm bileşenlerin senkronize bir şekilde çalışmasını sağlar ve olası hata durumlarında gerekli müdahale komutlarını üretir. PLC yazılımının üretimi, iki aşamadan oluşan bir süreçtir. İlk aşamada, donanımsal veya bağlantı problemlerinin yaşanmadığı bir pano üzerinde iletişim problemleri denetlenmiştir. Bu denetimler gerçekleştirilerek manuel bir kontrol sistemi oluşturulmuştur. Tüm ekipmanların kontrolü ve tüm sensörlerin verilerinin doğru bir şekilde PLC üzerinde işlenebildiği anlaşıldıktan sonra, ikinci aşamaya geçilmiştir. İkinci aşamada, sistem gereksinimlerine yönelik otomatize edilmiş programlama yapılmıştır. Bu aşamada, birlikte çalışan diğer sistemler de gözetilerek programın akış şeması istenilen işleyiş mekanizmasına göre düzenlenmiştir. PLC işlemcisi tarafından gerçekleştirilen tüm işlemler, PC ile MODBUS iletişim protokolü üzerinden bir veri paketi olarak derlenmekte ve sistem durumu eş zamanlı olarak bilgisayar programı tarafından

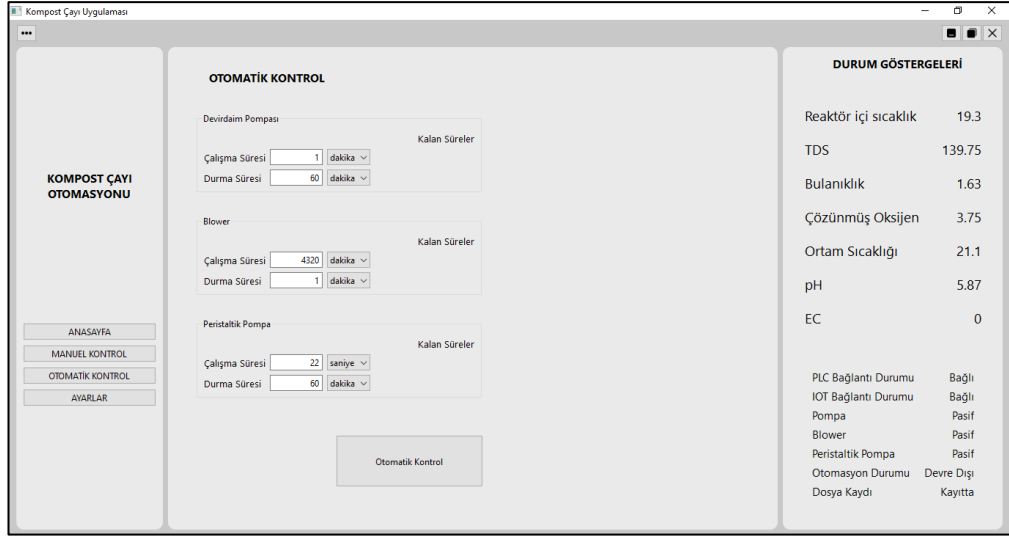
görüntülenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Bu yetkilendirme düzeyi, PC tarafındaki bir araştırmacının PLC sistemi üzerinde tam kontrol sağlamasına olanak tanımaktadır.

Bu iki aşamalı süreç, sistemin güvenilirliğini ve verimliliğini artırmak için kritik öneme sahiptir. Manuel kontrol aşamasında, tüm ekipmanların ve sensörlerin doğru çalıştığından emin olunurken, otomatize programlama aşamasında sistemin ihtiyaçlara uygun şekilde işlemesi sağlanmıştır. Sonuç olarak, Delta PLC için programlanan yazılım, kompost çayı üretim sürecinin etkin bir şekilde yönetilmesini ve izlenmesini mümkün kılmıştır.

3.1.5.5. PC yazılımı ve teknolojik entegrasyon

PC yazılımı, otomasyon sisteminin tüm operasyonlarını izlemek, kontrol etmek ve veri analizlerini gerçekleştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu yazılım, sistemin esnekliği ve kullanım kolaylığını artırarak araştırmacının etkin bir şekilde sistemi yönetebilmesine olanak tanımıştır. PC yazılımı, Python programlama dili kullanılarak nesne yönelimli (object-oriented) bir yaklaşımla geliştirilmiştir. Python'un geniş kütüphane desteği ve güçlü veri işleme yetenekleri, sistemin veri toplama, analiz ve görselleştirme işlevlerini etkili bir şekilde gerçekleştirmesini sağlamaktadır. Yazılım, JetBrains firmasına ait PyCharm programının eğitim amaçlı ücretsiz lisansı kullanılarak geliştirilmiştir.

PC yazılımı, MODBUS RTU protokolü aracılığıyla PLC'den talep ettiği verileri sürekli olarak toplar. Sensörlerden elde edilen sıcaklık, pH, EC, TDS ve çözünmüş oksijen gibi parametreler anlık olarak izlenir. Ayrıca, hangi motorların çalıştığı, hangilerinin durduğu gibi operasyonel veriler de kaydedilir. Toplanan veriler, .CSV formatında kaydedilir ve Excel programında görüntülenebilir. Bu kayıtlar, sistem performansının değerlendirilmesi ve gelecekteki optimizasyonlar için önemli veri sağlar. PC yazılımı arayüzü, tüm sistem bileşenlerinin durumunu görselleştirir. Kullanıcı arayüzü, araştırmacının sistemin her anki durumunu kolayca görmesine ve gerektiğinde müdahale edebilmesine olanak tanır. Arayüzle ilgili alınmış ekran görüntüsü Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. PC yazılımına ait ekran görüntüsü

Yazılım, aynı anda birden fazla işlemi gerçekleştirme yeteneğine sahiptir. Bu özellik, sistemin farklı bileşenlerinin eş zamanlı olarak izlenmesi ve kontrol edilmesini mümkün kılar. Örneğin, bir yandan sensörlerden veri toplanırken, diğer yandan motorların durumu izlenip kontrol edilebilir. Bu yaklaşım, sistemin performansını ve verimliliğini artırır. Ayrıca, araştırmacının sistem üzerinde tam kontrol sağlamasına olanak tanır. Örneğin, belirli bir pompanın çalışma ve durma parametreleri ayarlanabilir. MODBUS iletişim protokolü üzerinden gönderilen komutlar, PLC tarafından alınarak ilgili işlemler gerçekleştirilir.

PC yazılımının oluşturulması, dört aşamalı bir süreç olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, temel haberleşme işlevleri geliştirilmiştir. Bu aşamada, tüm sensörlerin ve kontrol bileşenlerinin doğru bir şekilde çalıştığından emin olunmuştur. Sensörlerden gelen verilerin doğru bir şekilde kaydedilmesi ve izlenmesi sağlanmıştır. İkinci aşamada, görselleştirme ve kullanıcı arayüzü işlevleri geliştirilmiştir. Bu aşamada, sistemin performansını artırmak için çeşitli optimizasyonlar yapılmış ve yazılımın kullanım kolaylığına odaklanılmıştır. Üçüncü aşamada, ilk iki aşamada yürütülen denemelerden edinilen bilgiler doğrultusunda Python dili kullanılarak makine öğrenmesinin gelişimini test edecek bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Dördüncü aşamada ise kompost çayı üretim sisteminin kontrolü tamamen makine öğrenmesi algoritmalarının süreci yönetebileceği şekilde tekrar programlanmıştır.

Oluşturulan yazılımların Python yazılım dili kullanılarak geliştirilmesi, otomasyon sisteminin takibi ve yönetiminin çapraz platformlarda dahi kolaylıkla uygulanabilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen sistem ile yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar, makine öğrenmesi algoritmalarında kullanılacak parametreleri belirlemede kullanılmıştır.

Sonuç olarak, PC yazılımı ile sağlanan bu teknolojik entegrasyon, otomasyon sisteminin veri işleme, analiz ve yönetim yeteneklerini önemli ölçüde artırmıştır. Bu entegrasyon, kompost çayı üretim sürecinin daha verimli ve optimize edilmiş bir şekilde yönetilmesini sağlamış ve yapay zeka uygulamaları ile sistemin daha da geliştirilmesini mümkün kılmıştır.

3.1.6. Yapay zeka entegrasyonu

Oluşturulan otomasyon sistemi ve bilgisayar yazılımının, kullanıcı parametrelerine uygun bir yönetim sağlayacak şekilde geliştirilmesi, kompost çayı üretim sürecine ait bazı etkilerin gözlemlenmesini sağlamıştır. Pompaların çalışması sonucu sensörler üzerindeki etkiler incelenmiş ve bu etkiler doğrultusunda veriler elde edilmiştir. Elde edilen nitelikli veri ile, sensör verilerini simüle eden ve pompaların çalışması ya da durması durumlarına göre bu verilerin rastgelelik faktörü ile etkilendiği bir simülasyon yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılımda, motorların açma ve kapama durumları manuel olarak manipüle edilerek çeşitli sonuçlar elde edilmiş ve simülasyon grafikleri üzerindeki etkiler gözlemlenmiştir.

Makine öğrenmesi entegrasyonu öncesinde, bu testler tamamlanmış ve kontrol için DQN (Deep Q-Network) algoritması kullanılmıştır. DQN, Q-Learning adı verilen bir Reinforcement Learning (Pekiştirmeli Öğrenme) algoritmasının derin öğrenme ile birleşiminden oluşmaktadır. DQN algoritması, bir ajan (agent) olarak çevresiyle etkileşime geçer ve her adımda bir eylem seçerek belirli bir ödül alır. Ajanın amacı, uzun vadeli toplam ödülü maksimize edecek şekilde politikayı öğrenmektir. DQN, Q-değerlerini tahmin etmek için bir derin sinir ağı kullanır ve bu değerleri kullanarak en iyi eylemleri seçer.

Bu algoritmanın seçilmesinin ana sebebi, canlı mikroorganizmaların davranışlarının tahmin edilmesinin zorluğu ve çevresel faktörlerin mikroorganizmaların faaliyetlerini yavaşlatma veya durdurma riskidir. Bu sebeple, geliştirilen yazılımın doğrudan kompost çayı üretim sistemi üzerinde eğitilmesi yerine, bir simülasyon programında eğitilmesinin öğrenme sürecini hızlandıracağı ve gerçek sistem üzerindeki olumsuz etkileri azaltacağı düşünülmüştür. Bu yaklaşım, hem eğitim sürecinin hızlanmasına hem de gerçek sistem üzerindeki olumsuz etkilerin minimize edilmesine olanak tanımıştır.

3.1.6.1. Simülasyon programının geliştirilmesi

Geliştirilen yazılımda, PySide6 kütüphanesi kullanılarak kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Bu arayüz, simüle edilen sensör verilerini gerçek zamanlı olarak grafikler üzerinde göstermektedir. Sensör verileri, her biri aynı zaman dilimlerinde güncellenen grafiklerle gösterilmektedir. Bu grafikler, sensör verilerinin zaman içindeki değişimini görüntülemeye yardımcı olması için oluşturulmuştur. Motor kontrol butonları ise motorları manuel olarak kontrol etmeye olanak tanır. Motorların durumu, buton yanındaki renkli göstergelerle (kırmızı ve yeşil) görüntülenebilmektedir. Ayrıca, kullanıcı arayüzünde sensörlere ait parametrelerin set değerlerinin girilebildiği bir giriş kısmı da bulunmaktadır.

Sensör verilerinin simülasyonu, belirli bir zaman diliminde rastgele değişikliklerle güncellenmektedir. Bu, sistemin dinamiklerini ve belirsizliklerini simüle etmeye yardımcı olur. Örneğin, blower motorunun çalışması çözünmüş oksijen miktarını artırırken, durması ise azaltır. Benzer şekilde, peristaltik pompa pH seviyesini etkilerken, devirdaim pompası sıcaklık, EC ve TDS değerlerini etkiler. Bu değişiklikler, rastgelelik eklenerek daha doğal ve gerçekçi bir şekilde simüle edilmiştir.

Makine öğrenmesi tabanlı kontrol için Deep Q-Learning (DQN) algoritması kullanılmıştır. DQN, sistemin sensör verilerini kullanarak motorların kontrolünü optimize etmektedir. Bu algoritma, her bir kontrol adımında sistemin durumu, eylemleri ve ödülleri üzerinden öğrenme gerçekleştirmektedir. DQN ajanı, öğrenme sürecinde epsilon-greedy stratejisi kullanarak keşif ve sömürü arasındaki dengeyi

sağlamaya odaklıdır. Başlangıçta yüksek olan epsilon değeri, zamanla azalır ve ajan daha çok öğrenilmiş politikalara dayanarak eylemlerini seçme eğilimine girer.

Ödül fonksiyonu, sensör verilerinin set değerlerine olan uzaklığına göre belirlenmiştir. Amaç, sensör verilerinin set değerlerine mümkün olduğunca yakın olmasını sağlamaktır. Bu, her bir sensör değeri için set değerine olan mutlak farkın negatifini olarak hesaplanır. Bu şekilde, sensör değerleri set değerine ne kadar yakınsa ödül o kadar yüksek olur ve ajan bu durumu öğrenir. Yazılımın geliştirilme sürecinde, eğitim süresince ortaya çıkan performansı izlemek için bir durum çubuğu eklenmiştir. Durum çubuğu, her eğitim adımının süresini ve adım numarasını gösterir. Bu, kullanıcıya eğitim sürecinin ilerleyişi hakkında bilgi sağlar.

Simülasyon programında rastgelelik miktarının ayarlanabildiği ve sürecin daha hızlı ilerletilebilmesi için geçen zamanı hızlandıran bir giriş kısmı da eklenmiştir. Zamanı hızlandırmada makine öğrenmesi sürecinin tamamlanma süreci kısıtlayıcı bir faktör olduğu gözlemlenmiştir. İşlemci kapasitesine göre simülasyon programı süreci daha hızlı yönetebilmekte ve öğrenme sürecini daha kısa sürede sağlayabilmektedir.

Sonuç olarak, geliştirilen yazılım, kompost çayı üretim sistemlerinde sensör verilerinin ve motor kontrollerinin gerçek zamanlı simülasyonunu başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir. Makine öğrenmesi tabanlı kontrol yöntemi, dinamik ve değişen ortam koşullarına adaptif kontrol sağlayarak sistem performansını optimize etmiştir. Bu geliştirilen yazılım, kompost çayı üretiminde sensör verilerinin ve motor kontrollerinin optimizasyonu için makine öğrenmesi yöntemlerinin potansiyelini ortaya koymaktadır. Simülasyon programı ile gerçekleşen öğrenme adımlarında alınmış ekran görüntüleri Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Makine öğrenmesi ile kontrol edilmiş sistemin simülasyon grafikleri

3.1.6.2. Otomasyon sisteminin makine öğrenmesi ile kontrolü

Otomasyon sisteminin oluşturulmuş önceki yazılımı, kullanıcı tarafından belirlenen parametrelere dayalı kontrol sağlamaktaydı. Tezin bu aşamasındaki çalışmada, makine öğrenmesi ile otomasyon sisteminin entegrasyonu amacıyla kontrolü sağlayacak yeni bir yazılım geliştirilmiştir. Makine öğrenmesi tabanlı kontrol algoritması, sensör verilerini analiz ederek motorların çalışma ve durma durumlarını optimize etmiştir. Algoritma, PLC üniteleri ile etkileşime girerek sensör verilerini almakta ve motorları kontrol etmektedir.

Bu geçiş, kompost çayı üretim sürecinde daha verimli ve adaptif bir kontrol sağlamıştır. Sensör verilerinin set değerlerine daha yakın tutulması ile ürün kalitesinde ve sistem performansında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, otomasyon sisteminin dinamik koşullara adaptasyon yeteneği, sistemin genel verimliliğini artırmıştır.

Sonuç olarak, geliştirilen yazılım ve makine öğrenmesi tabanlı kontrol algoritması, gerçek sistem otomasyonunda başarılı bir şekilde uygulanmış ve kompost çayı üretim süreçlerinde önemli iyileşmeler sağlamıştır. Bu çalışma, makine öğrenmesi

yöntemlerinin endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılabilirliğini ve etkinliğini göstermektedir.

3.1.7. Sera otomasyon sistemi

Tez kapsamında geliştirilen kompost çayı üretim sistemi, bağımsız olarak çalışabildiği gibi diğer otomasyon sistemleri ile de haberleşerek ortak çalışabilme imkanına sahiptir. Bu yeteneğin denenmesinde, tez sahibinin 2012 yılında Sanayi Bakanlığı tarafından desteklenen "Teknogirişim Sermaye Desteği" ile geliştirmiş olduğu "Ürün Odaklı Sera Otomasyon Sistemi" kullanılmıştır. Bu sistem, hidroponik yetiştiricilik için gerekli olan pH ve EC gibi parametrelerin kontrolünü sağlar ve ayrıca bir seranın ihtiyaç duyabileceği diğer motor ve aktüatör kontrollerini de gerçekleştirebilir. Ürün odaklı sera otomasyon sistemi için oluşturulan PLC yazılımına ait ekran görüntüleri Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Sera otomasyon sistemine ait ekran görüntüleri

Sera otomasyonu yazılımı geliştirilmeden önce, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Doğu Kampüsü'nde yer alan Çiftçi Eğitim Merkezi ile 2012 yılında gerekli protokoller imzalanarak 150 m²'lik bir alanda sera kurulumu yapılmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Sera otomasyon sisteminin yönetmesi için oluşturulmuş sera

Kurulan sera, sıcaklık kontrolü için Fan-Pad sistemi, hidroponik üretim sistemi için çözünmüş oksijen miktarını ayarlama, A, B ve asit tanklarından karışım tankına pH ve EC değerlerini gözeterek dozajlama, pencere kontrolü ve meteorolojik verilerin değerlendirilmesi gibi işlemleri yürütebilecek şekilde geliştirilmiştir.

Otomasyon sistemi geliştirilirken, sensörler ve diğer kontrol ekipmanları yerleştirilmiş, PLC ve PC arasındaki iletişim sağlanmıştır. Sera içerisinde sensör konumlandırmaları ve elektriksel bağlantılar tamamlanmış, sistemin yazılımı oluşturulmuştur. Özellikle sensörler, hidroponik üretim için uygun olarak seçilmiş ve karışım tankı içi sıcaklık, ortam sıcaklığı, karışım pH'ı ve karışım elektriksel iletkenliği gibi parametreleri sürekli olarak izlemiştir. Oluşturulan sera otomasyon sistemine ait görüntüler Şekil 3.26'te gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Sera otomasyon sistemine ait görüntüler

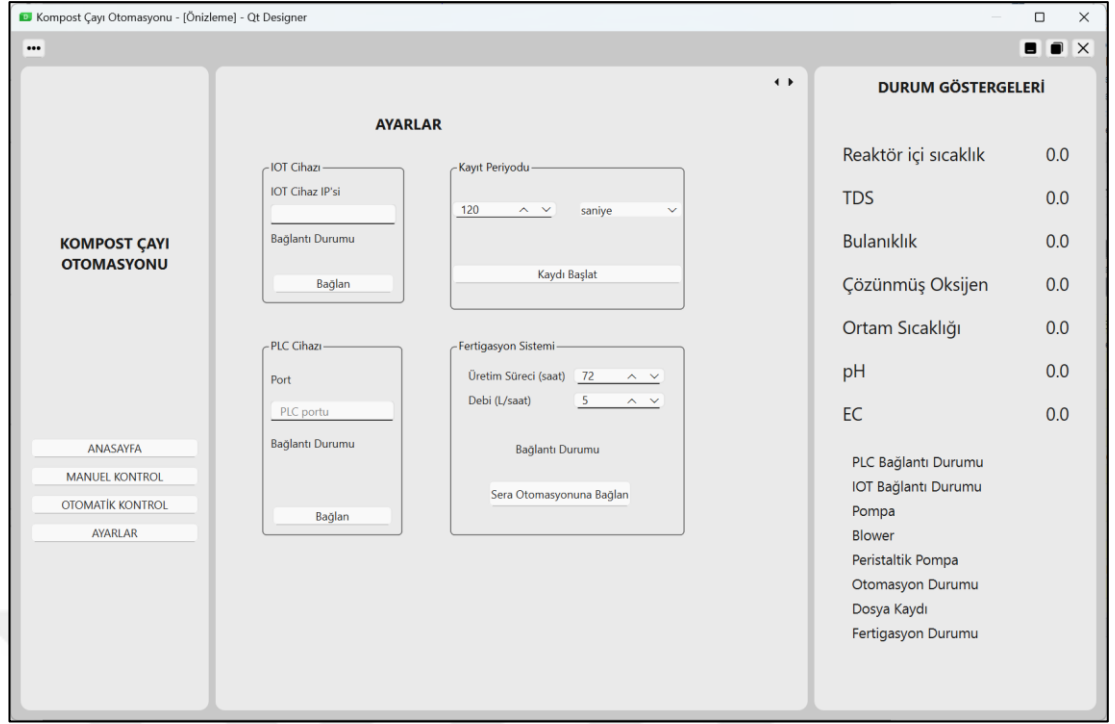
Otomasyon sisteminin performansı çeşitli deneylerle test edilmiş, bu deneyler sırasında sensörlerden elde edilen veriler analiz edilmiş ve sistemin optimizasyonu yapılmıştır. Peristaltik pompaların kontrolü ve besin çözeltilerinin doğru şekilde

dozajlanması sağlanmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen otomasyon sisteminin gerçek bir serada ürün üretimindeki başarısı ve elde edilen veriler ilgili bakanlığa detaylı bir şekilde sunulmuştur. Otomasyon sistemi, hidroponik sistemde domates üretiminde kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Üretilen domates bitkisine ait görüntüler Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Sistem, bitki gelişimini optimize etmek ve verimliliği artırmak için kritik öneme sahip olan pH ve EC seviyelerini düzenli olarak izleyerek kontrol etmiştir (Teknogirişim, 2012).



Şekil 3.27. Geliştirilen sera otomasyonu kontrolü ile elde edilmiş bitkiler

Geliştirilen sera otomasyon sistemi, kompost çayı üretim süreci ile de entegre edilmiştir. Sera otomasyon sisteminde kullanılan parametreler, tez kapsamında oluşturulan otomasyon sistemi tarafından izlenmekte ve gerekli durumlarda olgunlaşmış çayı sisteme dozajlayarak dahil edebilmektedir. Bu kapsamda kompost çayı üretim otomasyonunun yazılımına, kompost çayı üretim sürecinin tamamlanacağı süre ve dozajlama debisi değerlerinin girilebildiği bir ayar ekranı ilave edilmiştir. Bu sayede harici bir peristaltik pompa ile kompost çayı reaktöründen aldığı ürünü fertigasyon hattı üzerine göndermesi sağlanmıştır. Geliştirilmiş ayarlar sayfasına ilişkin ekran görüntüsü Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Fertigasyon sistemi için eklenmiş ayarlara ait ekran görüntüsü

Sonuç olarak, tez kapsamında geliştirilen otomasyon sistemi, hem sera içi tarımsal üretime katkı sağlamakta hem de kompost çayı üretimi için entegre bir çözüm sunmaktadır. Bu sistem, modern tarım teknolojileri ile yüksek verimlilik ve sürdürülebilirlik sağlayarak, gelecekteki tarımsal uygulamalara önemli katkılar sunma potansiyeline sahiptir.

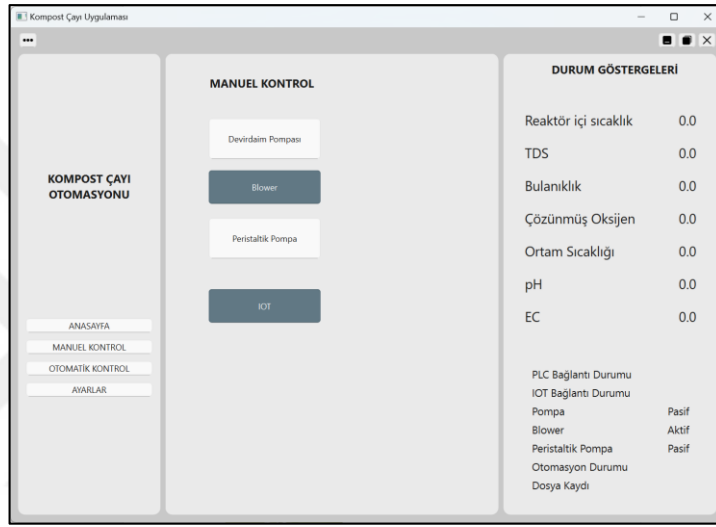
3.2. Yöntem

3.2.1. Ön denemelerin yürütülmesi

Kompost çayı üretim sistemi üzerinde yapılan denemeler 3 farklı yönden değerlendirilmiştir. İlk olarak, otomasyon panosu ile reaktör arasındaki elektrik bağlantıları ve sensör bağlantıları kontrol edilerek, otomasyon sistemi üzerinden manuel bir kontrol yazılımı oluşturulmuş ve bileşenlerin çalışma durumu test edilmiştir. Ardından reaktör sistemindeki sızdırmazlık kontrolleri ve kullanılan boru hatlarının işleyişi incelenmiştir. Son olarak da PC yazılımı üzerinden girilen parametrelere bağlı olarak, motor kontrolleri ve veri kayıt işlemlerinin gerçekleşme durumu incelenmiştir.

3.2.1.1. Manuel kontrol ve veri kayıt denemeleri

Bu aşamada, elektriksel bağlantıları tamamlanmış otomasyon sisteminin yalın halde elle kontrol edilebilirliği ve olası sistem arızalarının tespiti sağlanmıştır. Panel üzerinden manuel kontrol ve sensörlerden okunan verilerin kayıt edilmesi gibi aşamalarla sistem test edilmiş ve herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. İlgili testlerin yapılabilmesi için oluşturulmuş manuel kontrol sayfasına ait ekran görüntüsü Şekil 3.29'de gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Ön denemelerin yapıldığı manuel kontrol ekranına ait görüntü

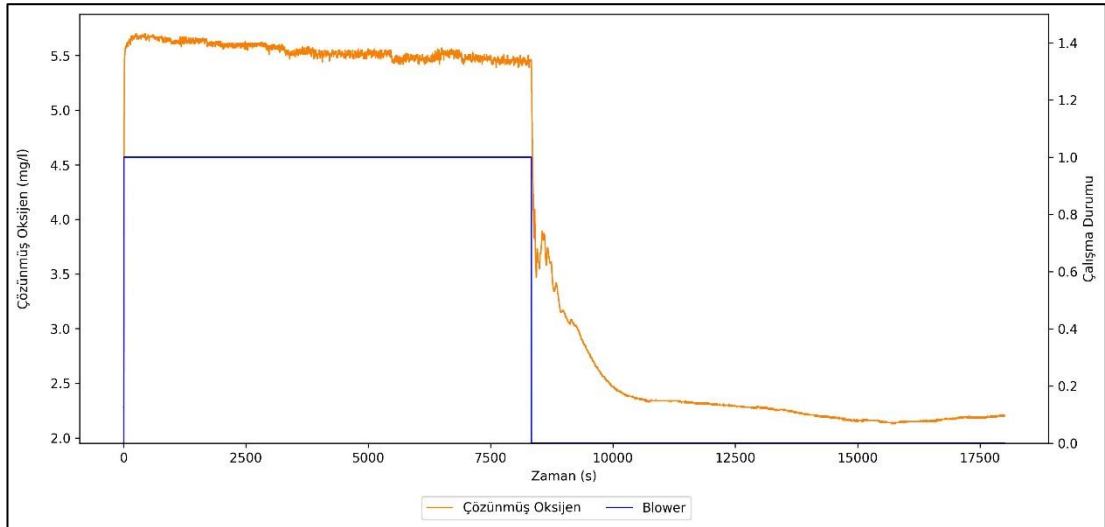
3.2.1.2. Reaktör sistemi üzerinde yapılan denemeler

Reaktör tasarımına uygun şekilde yapılacak düzenlemeler sonrasında, reaktörün sızdırmaz formu üzerinde değişiklikler yapıldığı için bu kontrollerin gerekli montajlar sonrasında tekrar sağlanıp sağlanmadığının test edilmesi gerekmiştir. Bu testlerde sensör noktalarında kullanılan contaların yetersiz kaldığı tespit edilmiş ve önlem olarak silikon takviyesi yapılarak sızdırma probleminin önüne geçilmiştir. Sızdırma testleri reaktörün tamamı (60 lt) su ile doldurularak ve 3 gün bekletilerek yapılmıştır. Yapılan bu sızdırmazlık denemelerinde çekilmiş görüntüler Şekil 3.30'de gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Sızdırmazlık testi esnasında çekilmiş görüntüler

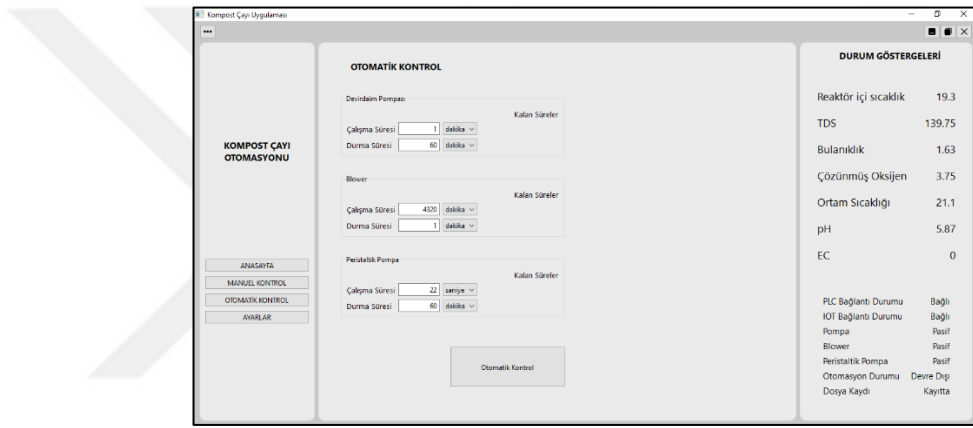
Boru hatlarındaki işleyişin incelenmesi sonucunda, reaktör içerisindeki suyun devirdaim pompası ile tekrar sisteme geri verilerek uygun koşullarda çalıştığı tespit edilmiştir. Ayrıca blower hattı üzerinde de yapılan denemelerde difüzör sisteminin çözünmüş oksijen miktarını artırdığı alınan sensör verileri ile doğrulanmıştır. Bu deneme 10 saat sürmüş olup, blowerın çözünmüş oksijen seviyesi üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Çözünmüş oksijen seviyesindeki değişime ilişkin grafik Şekil 3.31’de gösterilmiştir.



Şekil 3.31. Blower'ın çözünmüş oksijen üzerindeki etkisi

3.2.1.3. Parametrelere bağı yapılmış ön denemeler

Bu aşamada, PC yazılımı üzerinden motorların çalışma-durma süreleri ve verilerin kayıt periyotlarına ilişkin denemeler gerçekleştirilmiştir. Yalnızca su ile yapılan bu denemelerde sistemin tüm bileşenlerinin test edilebileceği türde denemeler gerçekleştirilmiştir. Sistem bileşenlerinin işlevselliğinin tam olarak anlaşılabilmesi için 1 sn'lik periyotlarla kayıtlar alınmış ve bileşenlerin gerekli zamanlarda gerekli tepkileri verdiği doğrulanmıştır. Bu periyotların uygulandığı ve kompost çayı üretiminde de kullanılmış olan otomatik kontrol sayfasına ait ekran görüntüsü Şekil 3.32'de gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Otomatik kontrol sayfasına ait ekran görüntüsü

3.2.2. Denemelerin gerçekleştirilmesinde izlenen yöntemler

Denemelerde, kompost çayı üretimi için mantar kompostu kullanılmıştır. Yapılan tüm denemelerde kullanılan suyun hacmi (50 litre), kullanılan mantar kompostunun kütlesi (1.5 kg) ve besin solüsyonu olarak seçilmiş şilempenin kütlesi (330 g) olacak şekilde sabit tutulmuştur. Kurulan her deneme için belirli bir takip çizelgesine bağlı kalınmış ve otomasyon sistemi üzerinde yapılan değişikliklerin deneme sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Oluşturulan bu takip çizelgesindeki aşamalar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir ve başlıklar halinde açıklanmıştır.

Çizelge 3.2. Denemelerde gerçekleştirilen işlemler

İşlem Sırası	Yapılan İşlem
1	Reaktör temizliği
2	Devirdaim hattının temiz su ile temizlenmesi
3	Sensör bakım ve kalibrasyonları
4	Gerekli materyallerin hazırlanması
5	Şebeke suyunun klordan arındırılması
6	Kompostun sisteme eklenmesi

3.2.2.1. Reaktör temizliği

Reaktör içerisinde bir önceki denemeden kalan artıkların yalnızca su ve sünger yardımı ile temizlenme işlemidir. Bu aşama, yapılacak yeni denemelerde oluşabilecek kontaminasyonların önüne geçebilmek adına önemlidir. Kapak ve difüzör aksamı da dahil olmak üzere tüm reaktör bileşenleri temizlenir. İşlem gerçekleştirilirken çekilmiş görüntü Şekil 3.33'te gösterilmiştir.



Şekil 3.33. Deneme sonrası kapak ve difüzörde oluşan kalıntılar

3.2.2.2. Devirdaim hattının temiz su ile temizlenmesi

Bu aşamada manuel olarak devirdaim pompası çalıştırılmakta ve bu esnada temiz su takviyesi yapılarak sistem içerisindeki kalıntılar giderilmektedir. Temizlik esnasında çekilmiş resim Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Devirdaim hattının temizlenmesi

3.2.2.3. Sensör bakım ve kalibrasyonları

Bu aşamada sensörlerin tamamı temizlenerek ölçüm değerleri gözden geçirilmektedir. Ayrıca, çözülmüş oksijen sensörünün kimyasal bir sensör olması sebebiyle kimyasal takviyesi gerçekleştirilerek kalibrasyonu yapılmaktadır. Diğer bir kalibrasyon gerektiren sensör olan pH sensöründe aynı şekilde kalibrasyon sıvıları ile kalibre edilmektedir.

3.2.2.4. Gerekli materyallerin hazırlanması

Denemelerde kullanılacak olan mantar kompostu ve şilempe için gerekli tartımların yapılma aşamasıdır. Bu aşamada ayrılan materyaller, ilgili kısımlara aktarılır. Şilempe ürünü viskoz bir ürün olduğundan, 330 g şilempe, 660 g su ile dilüe edilmiştir ve peristaltik pompadan çekimi kolaylaştırılmıştır. Sulandırılmış bu şilempe peristaltik

pompanın bağı olduğu besin tankına doldurulmuştur. Sulandırılmış bu ürün için peristaltik pompa debisinin belirlenmesi amacıyla 1 kereye mahsus 1 litre ürünün aktarılma süresi ölçülmüş ve poampa debisi 2.27 l/sa olarak tespit edilmiştir. Diğer materyal olan ve tartılan 1.5 kg'lık mantar kompostu, 400 mikrometre monofilament filtreden oluşturulmuş torba içerisine yerleştirilerek devirdaim pompasının basma hattına denk gelen ve reaktör içerisine uzanan PPRC boru üzerine bündürülerek bağlanmıştır. Materyallerin uygulamadaki durumlarına ilişkin görüntüler Şekil 3.35'te gösterilmiştir.



Şekil 3.35. Materyallerin eklenmesine ilişkin görüntüler

3.2.2.5. Şebeke suyunun klordan arındırılması

Bu işlemde, kompost çayı üretiminde kullanılacak olan şebeke suyunun, içerebileceği klordan dolayı mikroorganizmaları olumsuz etkimesinin önüne geçilmektedir. Bunu sağlamak amacıyla reaktör içerisine alınan 50 litrelik şebeke suyu, devirdaim pompası ile 2 saat boyunca havalandırılmıştır. Havalandırma işlemi esnasında çekilmiş görüntüler Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



Şekil 3.36. Devirdaim pompası ile yapılmış klordan arındırma işlemi

3.2.2.6. Kompostun sisteme eklenmesi

Deneme başlangıcının son adımı olan kompostun eklenmesi işleminin hemen öncesinde, otomasyon sisteminden verilerin kayıt işlemi başlatılmıştır. Kayıt işleminin sürdüğü esnada filtre torba içerisine yerleştirilmiş kompost ve kapak kısmı reaktöre yerleştirilmiştir. Bu aşamadan, deneme sonlanana kadar kapak açılmamıştır. Deneme başlangıcına ve sonlandırıldığı andaki görüntüler Şekil 3.37 ve 3.38’de gösterilmiştir.



Şekil 3.37. Deneme başlangıcına ait görüntü



Şekil 3.38. Deneme sonuna ait görüntü

3.2.3. Denemelerin planlanması

Oluşturulan kompost çayı üretim sistemi, sürecin istenilen parametrelerle yürütülmesine izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sebeple deneme planlaması oluşturulurken, sürece ait bazı parametreler özellikle seçilerek sistemi oluşturan bileşenlerin işleyişteki etkilerinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan planlamaya göre 3 farklı parametre ile denemeler yapılmıştır. Bu parametrelerle yapılan denemeler DP1, DP2 ve DP3 olarak Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Bu 3 denemenin verileri ile motor-sensör etkileşime ait korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Oluşturulan simülasyon programı bu korelasyon katsayılarına bağlı kalarak, sensör verilerini sanal şekilde üretmiştir. Üretilen bu sensör verileri ile makine öğrenmesi için sanal bir çevre oluşturulmuştur. Çizelge 3.3'te gösterilen son deneme ise, simülasyon programında eğitilen model ile oluşturulan uygulama setinin, gerçek sistem üzerinde devreye alınarak işletilmesini ifade etmektedir.

Çizelge 3.3. Deneme planı

Deneme planı	Devirdaim Pompası Durumu	Blower Durumu	Peristaltik Pompa Durumu
DP1	1 dakika çalışma - 1 saat durma	Sürekli çalışma	22 saniye çalışma - 1 saat durma
DP2	Kapalı	2 dakika çalışma 2 dakika durma	22 saniye çalışma - 1 saat durma
DP3	Sürekli çalışma	Kapalı	22 saniye çalışma - 1 saat durma
Simülasyon Uygulaması	*	*	*
Makine Öğrenmesi ile oluşturulmuş deneme	*	*	*

* : Periyodik olmayan özgün uygulama

Oluşturulan kompost çayı üretim sisteminin sürekli olarak verileri kayıt altına alınıyor oluşu, belirlenen deneme süresinin dışında kalan ve daha kısa süren üretim süreçleri için de bir veri setinin oluşmasını sağlamaktadır. Bu sebeple, kompost çayının oluşum süresi olarak literatürde de rastlanan en uzun süre olan 72 saat, denemelerin yürütüleceği süre olarak seçilmiştir. Böylelikle daha kısa sürecek olan denemelere ait sonuçlar hakkında da yorum yapılabilir bir deneme planı oluşturulmuştur. Peristaltik pompanın çalışma ve durma süreleri debisi üzerinden yapılan hesaplama ile sürecin tamamına eşit ve periyodik bir besleme yapacak şekilde seçilmiştir. Süreç boyunca saatte bir kere (toplamda 72 kez ve 22 saniyeliğine) devreye alınan peristaltik pompa süreç boyunca 1 litre besinin reaktöre yükleme yapmasını sağlamıştır.

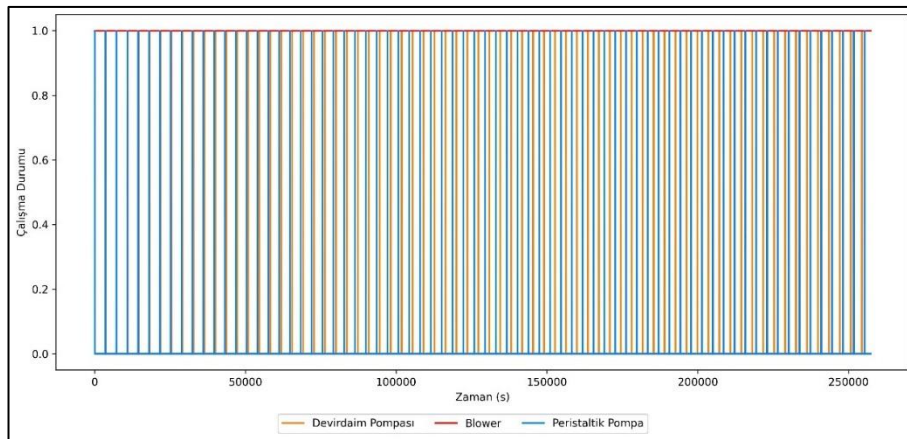
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

Yürütülen her bir deneme, 3 günlük bir üretim sürecinde gerçekleştirilmiş ve bu süreçte 1 saniyelik periyotlarla pH, EC, çözünmüş oksijen, ortam sıcaklığı, reaktör sıcaklığı, bulanıklık ve TDS olmak üzere 7 farklı sensörden elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır. Bu veriler, kendi içerisinde değerlendirildiğinde kompost çayının oluşum sürecine dair bilgiler sağlamaktadır. Veriler 2'li gruplar halinde incelendiğinde ise, çalışan veya duran sistem bileşenlerinin kompost çayı üzerindeki etkileri net bir şekilde gözlemlenebilmektedir. DP1, DP2 ve DP3 uygulamalarından elde edilen grafikler ve değerlendirmeler, simülasyon programı ile gerçekleştirilen uygulamalarda alınmış ekran görüntüleri ve makine öğrenmesi ile elde edilmiş uygulama seti ile gerçekleştirilen denemenin sonuçları başlıklar halinde verilmiştir.

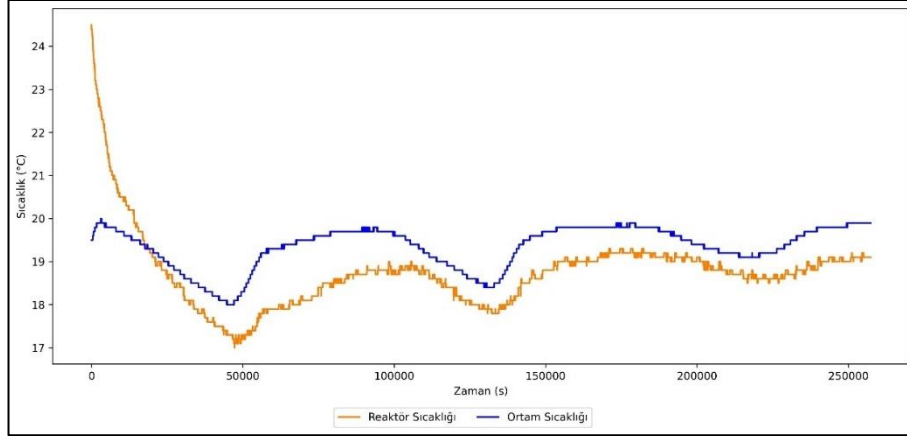
4.1.1. DP1 denemesinde elde edilen veriler

Bu denemede, devirdaim pompasının 1 dakika çalışıp 1 saat süreyle durması, blowerın sürekli çalışması ve peristaltik pompanın 22 saniye çalışıp 1 saat durması sağlanmıştır. Deney boyunca motorların açılma ve kapanma süreçlerine ilişkin grafik Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



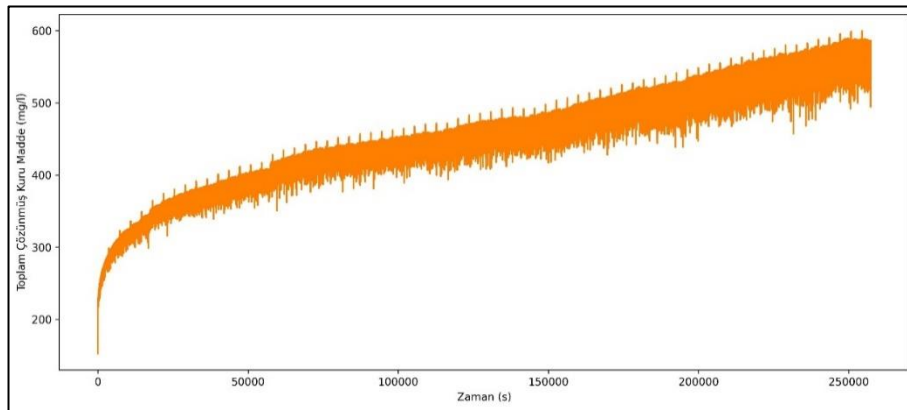
Şekil 4.1. Bileşenlerin çalışma durumu

Grafikten anlaşılabacağı üzere, sistem süreç boyunca belirlenen periyotlarda sorunsuz şekilde işlemleri yerine getirmiştir. Süreç boyunca ortam ve reaktör sıcaklıklarındaki değişimi gösteren grafik Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Ortam ve reaktör sıcaklıkları

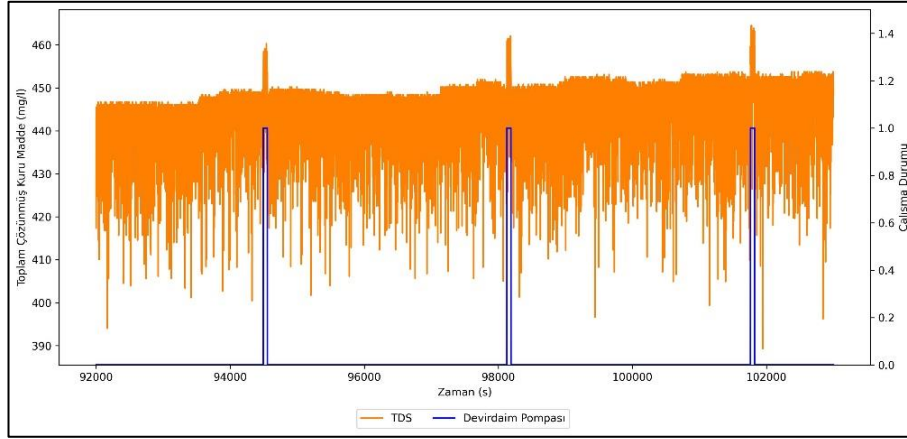
Şekil 4.2'deki grafik incelendiğinde, reaktör sıcaklığının ortam sıcaklığıyla pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Sistem üzerinde sıcaklık kontrolü yapılmadığından, grafiğin bu şekilde oluşması sistemin çalışan bileşenlerinden etkilenmediğinin de bir göstergesidir. Diğer sensörlerden elde edilen veriler Şekil 4.3 ile Şekil 4.10 arasında verilmiştir.



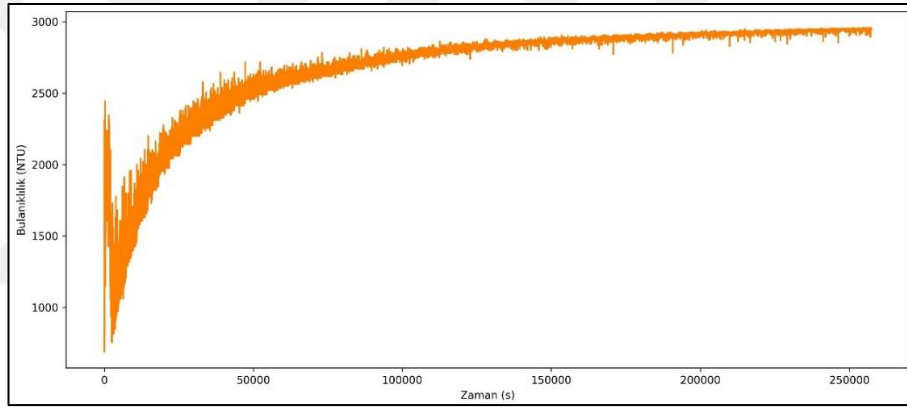
Şekil 4.3. TDS değişimi

Elde edilen TDS grafiğinde üst kısımlarda oluşan ve periyodik olarak TDS artışlarına sebep olan etmen devirdaim pompasının devreye girmesinden kaynaklıdır. Bu durum devirdaim pompasının karıştırma etkisi üzerinde olumlu etki yarattığının bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Devirdaim pompasının bir dakika çalışıp 1 saat durduğu sürece ilişkin daha net anlaşılması amacıyla oluşturulan ve sürecin yalnızca

92 000. ila 103 000. saniyeleri arasında kalan süreci gösteren grafik Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

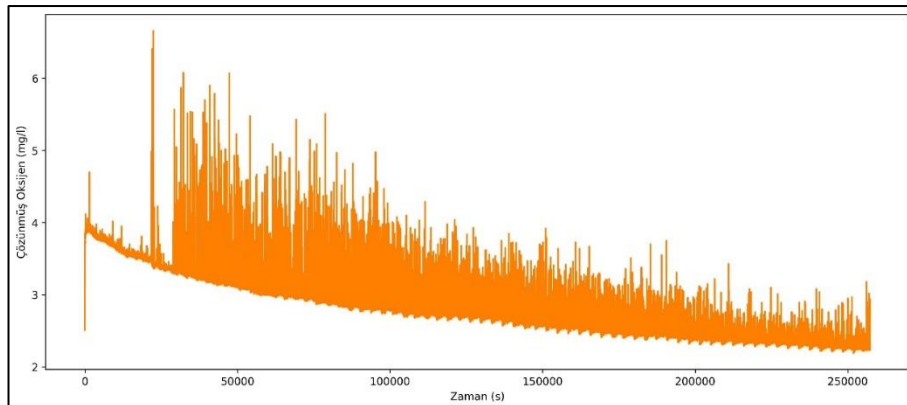


Şekil 4.4. Devirdaim pompasının çalıştığı esnada yaşanan TDS'deki değişim



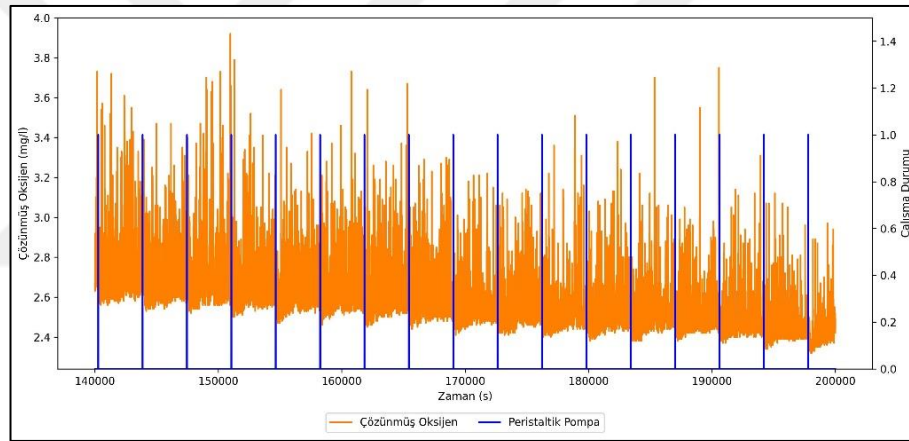
Şekil 4.5. Bulanıklık değişimi

Şekil 4.5'te bulunan bulanıklık durumuna ait grafik incelendiğinde sensör ölçüm sınırları olan 3 000 NTU'ya ulaştığı görülmektedir. Bu durum kompost çayı oluşumu süreci boyunca bulanıklılığın sürekli olarak arttığını göstermektedir.

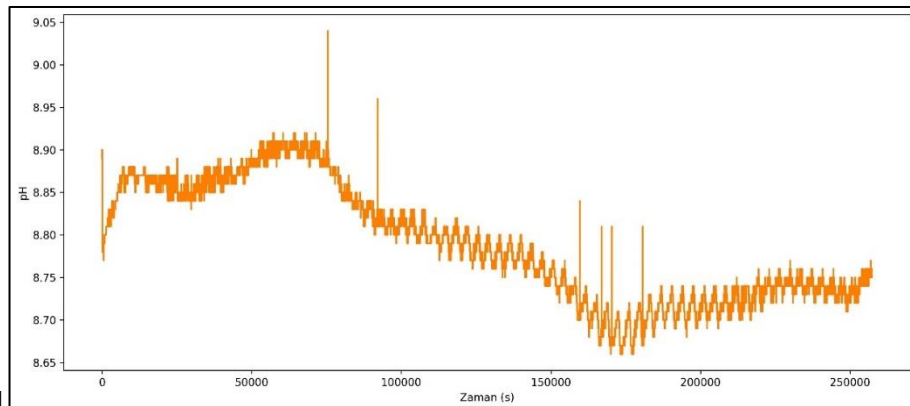


Şekil 4.6. Çözünmüş oksijen değişimi

Çözünmüş oksijen değerindeki değişim grafiğın geneline bakıldığında blower'ın devamlı çalışmasına karşın çözünmüş oksijen değerinde azalma görülmektedir. Bu azalmanın başlıca sebebi içerideki mikroorganizma popülasyonunun sürekli olarak artmasına rağmen uygulanan hava miktarında bir değişiklik olmaması olarak açıklanabilir. Ayrıca grafiğın alt sınırlarını oluşturan kısımda oluşan değişimler, peristaltik pompa ile yapılan ve besleme periyoduna denk gelen kısımlarda görülmektedir. Bu kısım detaylı olarak incelendiğinde 60 dakikada bir 22 saniyelik beslemenin oluşturduğu etki Şekil 4.7'de daha net şekilde gösterilmiştir. Bu etki önce çözünmüş oksijen seviyesinde bir düşüş yaratırken yaklaşık 30 dakika içerisinde tekrar oksijen seviyesinde yükseliş gözlemlenmiştir. Grafikteki bu değişimi oluşturan diğer bir etkinin ise mikroorganizmalara takviye edilen besinin faaliyetlerini artırmada ve dolayısıyla tüketilen oksijen miktarındaki artışa etki ettiği düşünülmektedir.

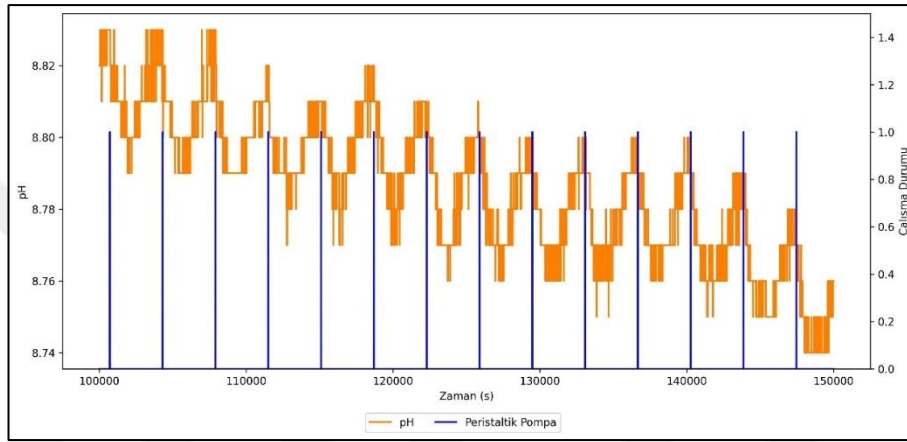


Şekil 4.7. Peristaltik pompa ile yapılan beslemenin çözünmüş oksijen seviyesi üzerindeki etkisi



Şekil 4.8. pH değişimi

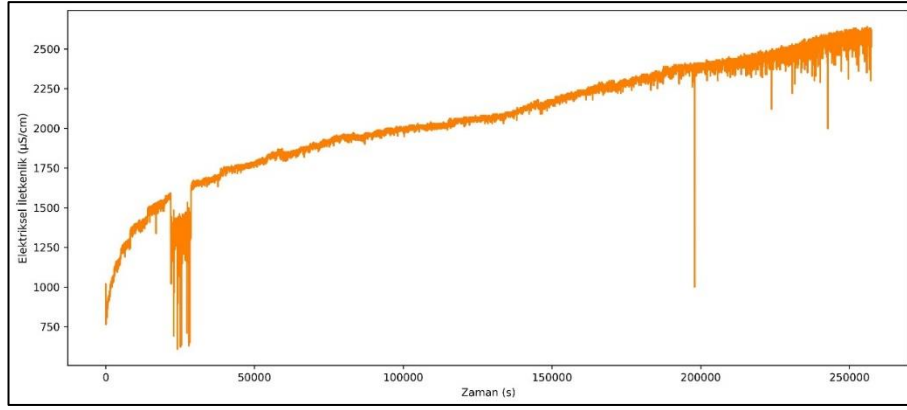
Bu grafikte, kompost çayı üretim sürecinde 3 günlük bir zaman dilimindeki pH değişimleri gösterilmektedir. Süreç başlangıcında pH değeri yaklaşık olarak 8.8 olduğu ve pH değerinde belirli dalgalanmalar ve ani yükselmeler görülmektedir. Bu dalgalanmalar, periyodik olarak yapılan besin takviyelerinden kaynaklanmaktadır. Grafikte, kompost çayı üretim sürecinin bir kısmında pH değerleri ve peristaltik pompanın durumu arasındaki ilişki daha detaylı şekilde incelenmiştir. Şekil 4.9'da gösterilen grafikte pH değeri turuncu çizgiyle ve peristaltik pompanın durumu ise mavi çizgiyle belirtilmiştir.



Şekil 4.9. Besleme anlarının pH üzerindeki etkisi

Bu grafikte, peristaltik pompanın belirli aralıklarla devreye girmesi ve her devreye girdiğinde pH değerinde belirgin değişiklikler meydana geldiği görülmektedir. Peristaltik pompa çalışmaya başladığında pH değerinde ani bir azalma ardından ise artış gözlenmektedir. Bu durum, pompa aracılığıyla yapılan besin takviyesinin kompost çayı içerisindeki kimyasal dengeyi geçici olarak değiştirdiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, grafikte görülen pH değerindeki dalgalanmalar, peristaltik pompanın devreye girmesi ve çıkmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu durum, besin takviyesinin pH değeri üzerinde anlık etkiler yarattığını ve bu etkilerin zamanla stabilize olduğunu göstermektedir. Bu bilgilerin ışığında, kompost çayı üretim sürecinde pH kontrolünün sağlanabilmesi için besin takviyesi sürelerinin ve miktarlarının dikkatlice ayarlanması gerektiği söylenebilir. Bu sayede, pH değerindeki ani değişiklikler minimize edilerek, daha stabil ve kontrollü bir üretim süreci sağlanabilir.



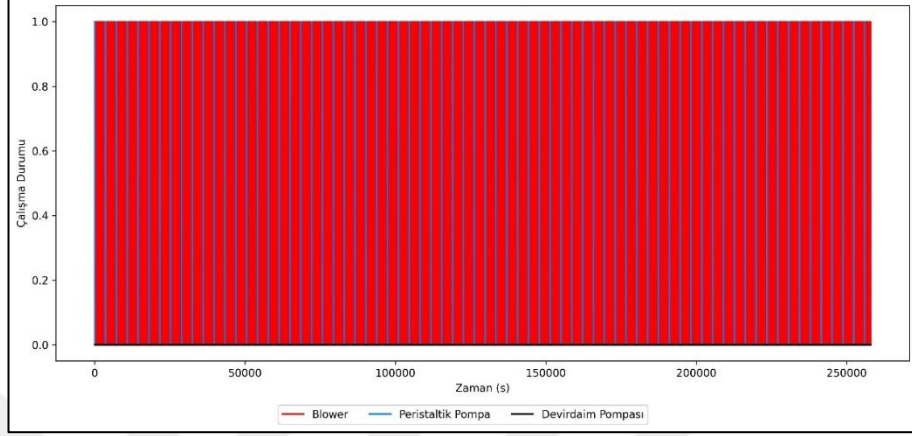
Şekil 4.10. Elektriksel iletkenlik değişimi

Şekil 4.10’da gösterilmiş grafikte, kompost çayı üretim sürecinde elektriksel iletkenlik değerlerinin zamanla değişimi gözlemlenmiştir. Sürecin başlangıcında EC değeri yaklaşık 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak kaydedilmiştir. Süreç ilerledikçe EC değerinde genel bir artış trendi tespit edilmiştir, bu da çözünmüş katı madde miktarının arttığını ve iletkenliğin yükseldiğini göstermektedir.

Grafiğin belirli noktalarında ani düşüşler görülmüştür. Bu düşüşlerin, sistemdeki geçici durumlar veya ölçüm cihazlarındaki hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak, bu ani değişiklikler kısa süreli olup, genel artış trendini etkilememiştir. Sonuç olarak, elektriksel iletkenlik grafiği, kompost çayı üretim sürecinde besin takviyelerinin ve çözünmüş katı madde miktarının etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

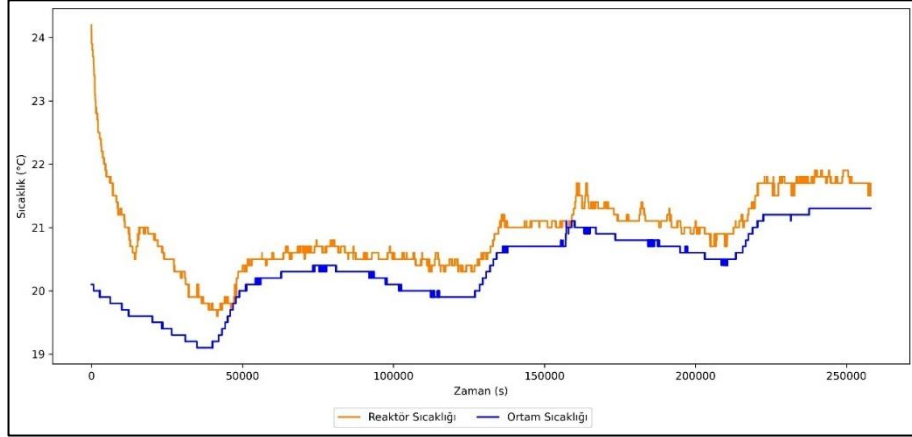
4.1.2. DP2 denemesinde elde edilen veriler

Bu denemede izlenen yöntem doğrultusunda deney boyunca motorların açılma ve kapanma süreçlerine ilişkin grafik Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



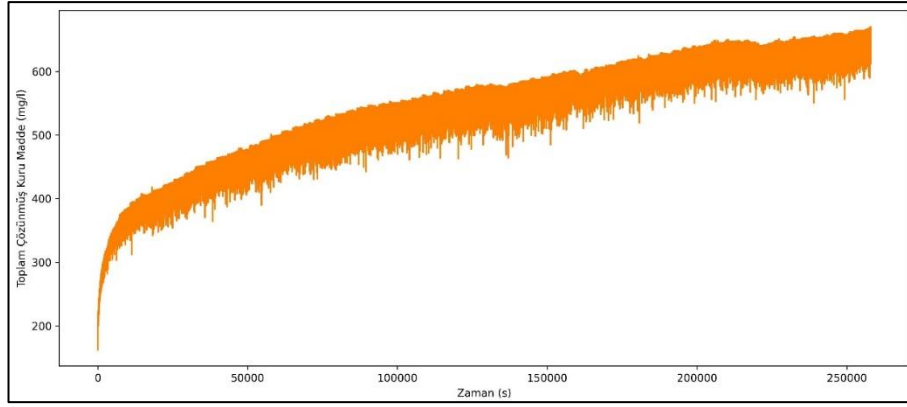
Şekil 4.11. Bileşenlerin çalışma durumu

Grafikten anlaşılabileceği üzere, sistem süreç boyunca belirlenen periyotlarda sorunsuz şekilde işlemleri yerine getirmiştir. Süreç boyunca ortam ve reaktör sıcaklıklarındaki değişimi gösteren grafik Şekil 4.12’de verilmiştir.



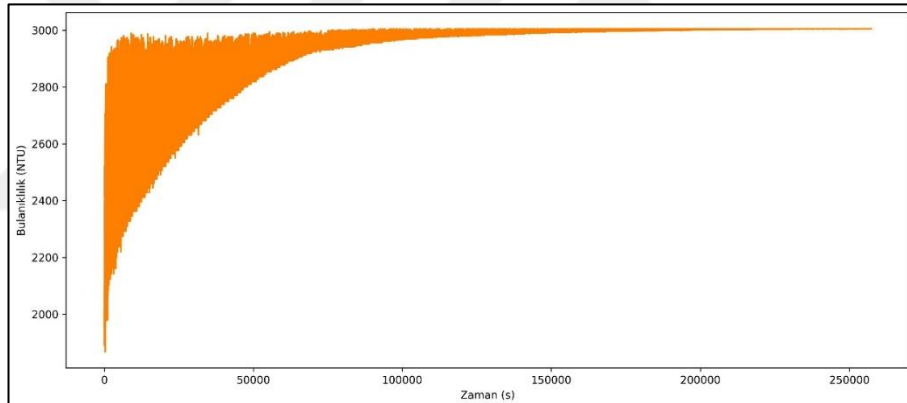
Şekil 4.12. Ortam ve reaktör sıcaklıkları

Şekil 4.12’deki grafik incelendiğinde, reaktör sıcaklığının ortam sıcaklığıyla pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Diğer sensörlerden elde edilen veriler Şekil 4.13 ila Şekil 4.17 arasında verilmiştir.



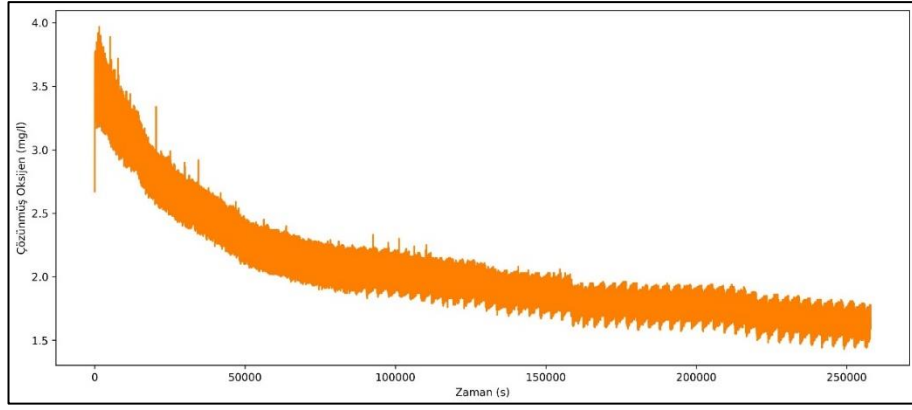
Şekil 4.13. TDS değışimi

Elde edilen TDS grafiğinde üst kısımlarda DP1'deki gibi yükselmeler oluşmamıştır. Başlıca sebebi, DP2 denemesinde devirdaim pompasının deneme boyunca devreye alınmamış olmasıdır. Bu durum, devirdaim pompasının etkisinden kaynaklı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.



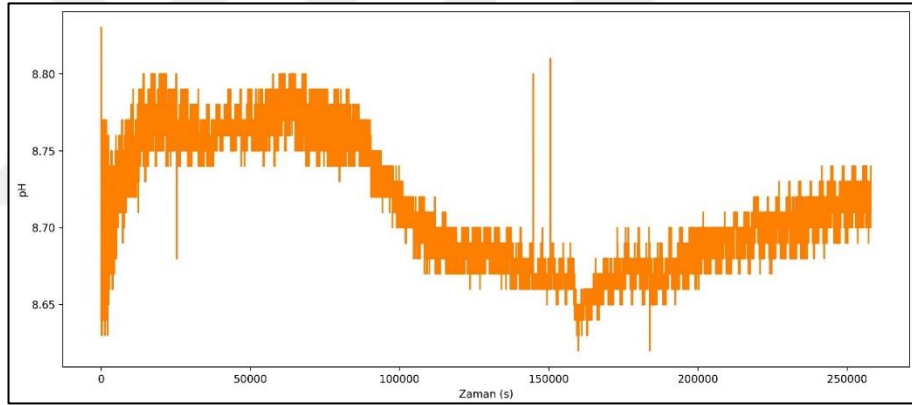
Şekil 4.14. Bulanıklık değışimi

Devirdaim pompasının DP2 denemesinde devreye alınmaması sonucu oluşan etkilerden bir diğeri de sensör üzerinde askıda kuru maddelerin birikmesidir. Bu sebeple sensörden okunan değerler, deneme başlangıcındaki kısa bir sürenin haricinde hep üst sınırlarda kalmıştır.



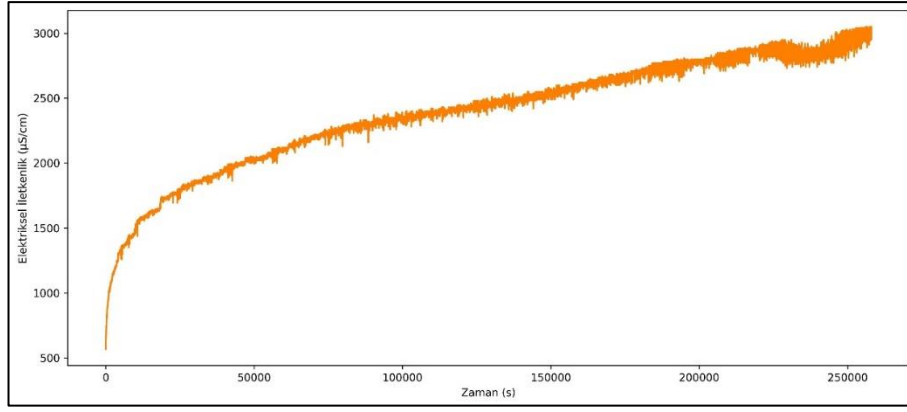
Şekil 4.15. Çözünmüş oksijen değişimi

Grafikte DP1 denemesinde oluşan besin takviyesi sonucu meydana gelen desenler bu grafikte de meydana gelmiştir. Ancak DP2 denemesinde devirdaim pompasının aktif olmayışı daha stabil bir gürültü seviyesinde kalmış ve grafiğin daha anlaşılır bir görünüme sahip olmasına katkı sağlamıştır.



Şekil 4.16. pH değişimi

Şekil 4.16’da verilmiş grafik, kompost çayı üretim sürecinde pH değerinin zamanla nasıl değiştiğini ve periyodik besin takviyelerinin pH üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu bilgiler, üretim sürecinde pH kontrolünün sağlanabilmesi için önemli ipuçları sunmaktadır. Besin takviyelerinin zamanlaması ve miktarının dikkatlice ayarlanması, pH değerindeki ani değişikliklerin minimize edilmesine yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

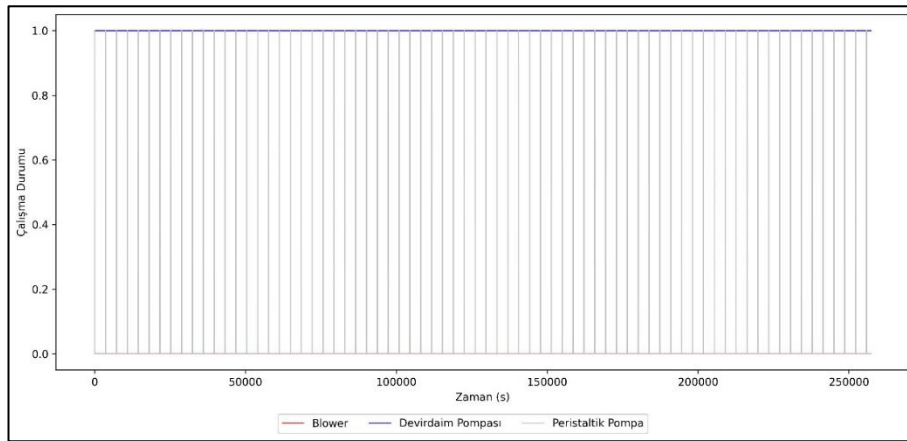


Şekil 4.17. Elektriksel iletkenlik değişimi

Şekil 4.17’de gösterilmiş grafikte, DP1’de yaşanan veri dalgalanmaları DP2’de yaşanmamıştır. Belirgin şekilde artan EC değeri kompost çayının olgunlaşma ve içeriğindeki çözülmüş kuru madde miktarı konusunda önemli bilgiler sunmaktadır.

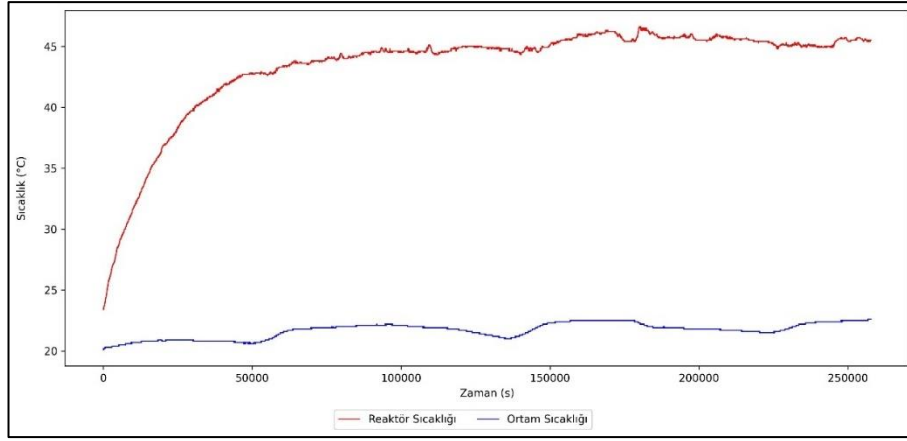
4.1.3. DP3 denemesinde elde edilen veriler

Bu denemede izlenen yöntem doğrultusunda deney boyunca motorların açılma ve kapanma süreçlerine ilişkin grafik Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



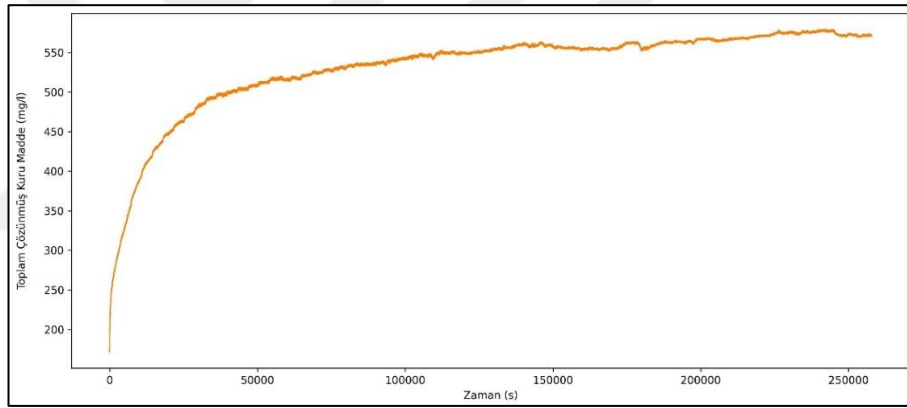
Şekil 4.18. Bileşenlerin çalışma durumu

Grafikten anlaşılacağı üzere, sistem süreç boyunca belirlenen periyotlarda sorunsuz şekilde işlemleri yerine getirmiştir. DP3 denemesi de diğer denemeler gibi 3 gün sürdürülmüştür. Farklı olarak DP3 denemesinde blower devre dışı bırakılmış ve devirdaim pompası sürekli çalışacak şekilde programlanmıştır. Süreç boyunca ortam ve reaktör sıcaklıklarındaki değişimi gösteren grafik Şekil 4.19’da verilmiştir.



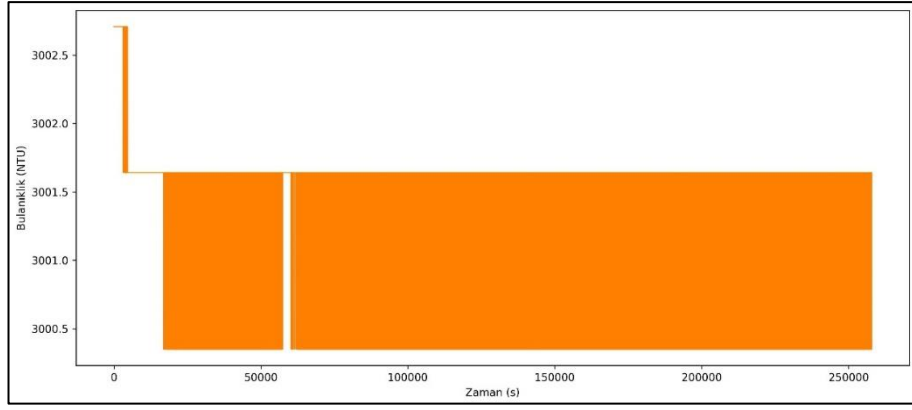
Şekil 4.19. Ortam ve reaktör sıcaklıkları

Şekil 4.19'daki grafik incelendiğinde, reaktör sıcaklığının sürekli olarak yükseldiği ve kompost çayı üretimi için istenmeyecek seviyelere geldiği gözlemlenmiştir. Diğer sensörlerden elde edilen veriler Şekil 4.20 ile Şekil 4.26 arasında verilmiştir.



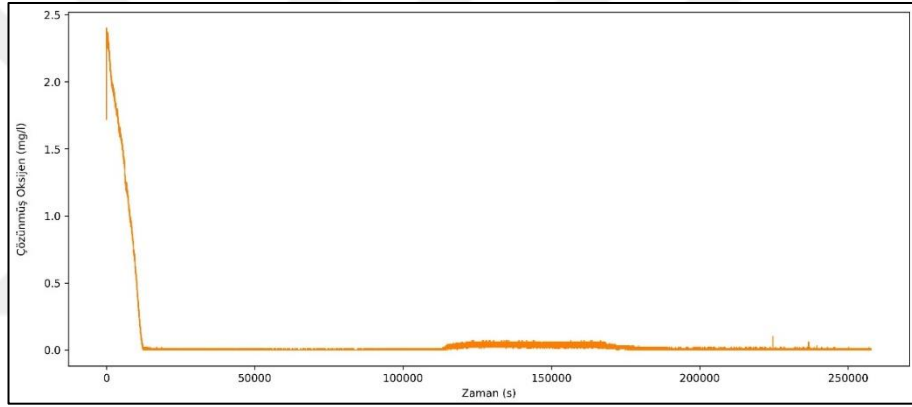
Şekil 4.20. TDS değişimi

Elde edilen TDS grafiğinde DP1 ve DP2'den farklı olarak daha az gürültüye sahip bir grafik elde edilmiştir. Diğer denemelerde de olduğu gibi süreç boyunca TDS değerinin artışı gözlemlenmiştir.



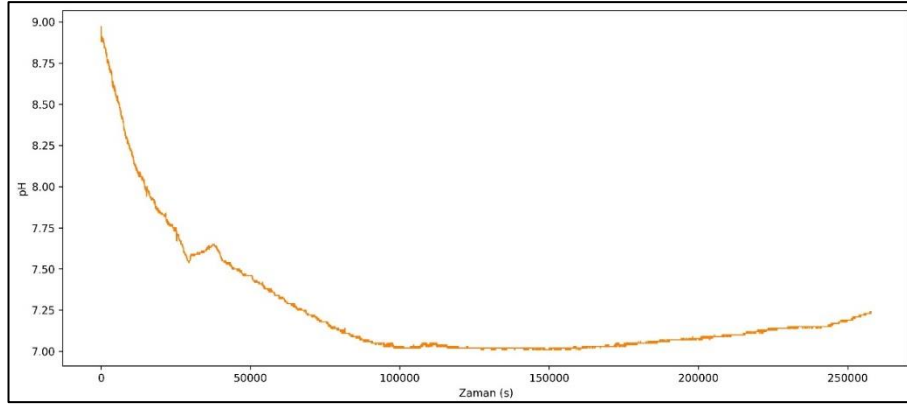
Şekil 4.21. Bulanıklık değişimi

DP3 denemesinde elde edilmiş bulanıklık grafiği sistem sıcaklığının artışından olumsuz şekilde etkilenmiş ve doğru sonuçlar gösterememiştir.



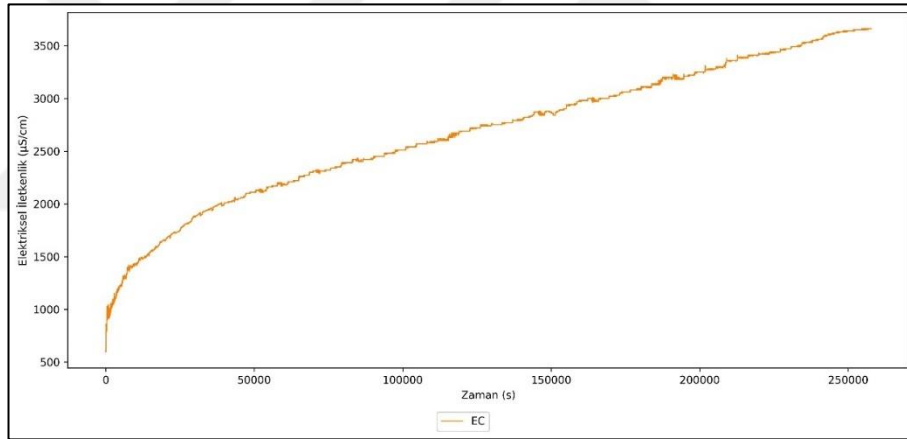
Şekil 4.22. Çözünmüş oksijen değişimi

Grafikte DP3 denemesinde oluşan çözünmüş oksijen grafiği 40 °C sıcaklıktan sonra sensörün izin verdiği sınırların dışına çıktığı için doğru veriler üretememeye başlamıştır.



Şekil 4.23. pH değışimi

DP3 denemesinde oluşan pH değeriindeki değışime ait grafik diğeri denemelerden daha az gürültüyle oluşmuştur. Ancak besin takviyesinin kompost çayı kimyası üzerindeki etkilerde görünülenemez duruma gelmiştir. Bu durum sensörün çalışma sıcaklıkları arası dışında gelişmiştir.



Şekil 4.24. Elektriksel iletkenlik değışimi

EC sensörü olumsuz sıcaklık durumundan etkilenmemiş ve süreç boyunca sürekli artan EC değeriini görüntüleyebilmiştir.

4.1.4. Simülasyon uygulaması

DP1, DP2 ve DP3 denemelerinden elde edilen veriler analiz edildiğinde, motor aktiviteleri ile sensör ölçümleri arasında anlamlı etkileşimler tespit edilmiştir. Bu etkileşimler, Şekil 4.25'te sunulan Pearson korelasyon matrisi kullanılarak simülasyon programında modellenmiştir. Geliştirilen simülasyon programı, saniyede bir veri üretme kapasitesine sahip olup, makine öğrenmesi algoritması tarafından kontrol

edilen motorların etkileşimlerine bağlı olarak sensör verilerini dinamik olarak güncellemektedir.

Reaktör Sıcaklığı	1.000	0.011	-0.663	-0.894	0.301	-0.863	0.655	0.922	-0.733	-0.000
TDS	0.011	1.000	-0.499	-0.158	0.827	-0.160	-0.388	-0.231	-0.019	-0.003
Bulanıklık	-0.663	-0.499	1.000	0.782	-0.538	0.638	-0.331	-0.551	0.644	0.002
DO	-0.894	-0.158	0.782	1.000	-0.328	0.808	-0.560	-0.813	0.838	-0.001
Ortam Sıcaklığı	0.301	0.827	-0.538	-0.328	1.000	-0.358	-0.344	0.051	-0.207	-0.000
pH	-0.863	-0.160	0.638	0.808	-0.358	1.000	-0.408	-0.785	0.632	0.002
EC	0.655	-0.388	-0.331	-0.560	-0.344	-0.408	1.000	0.701	-0.462	-0.001
Devir daim Pompası	0.922	-0.231	-0.551	-0.813	0.051	-0.785	0.701	1.000	-0.701	-0.001
Blower	-0.733	-0.019	0.644	0.838	-0.207	0.632	-0.462	-0.701	1.000	-0.001
Peristaltik Pompa	-0.000	-0.003	0.002	-0.001	-0.000	0.002	-0.001	-0.001	-0.001	1.000
	Reaktör Sıcaklığı	TDS	Bulanıklık	DO	Ortam Sıcaklığı	pH	EC	Devir daim Pompası	Blower	Peristaltik Pompa

Şekil 4.25. Motor ve sensör korelasyonları

Program ayrıca, üretilen verileri gerçek zamanlı olarak görselleştiren bir kullanıcı arayüzüne sahiptir. Simülasyon, arka planda çevresel faktörlerin sensör ölçümleri üzerindeki etkilerini modellemekte ve bu etkileri grafiksel olarak temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar, DQN algoritması kullanılarak sürekli bir eğitim sürecine tabi tutulmuştur. Şekil 4.26'da, eğitim sürecinin farklı aşamalarından alınan ekran görüntüleri sunulmuştur. Bu görüntüler, simülasyon programının çalışma prensibini ve eğitim sürecinin ilerleyişini görsel olarak temsil etmektedir. Eğitim süreci, belirlenen hedef değerlere yakın kontrol performansı elde edilene kadar devam

ettirilmiştir. İstenilen performans seviyesine ulaşıldığında eğitim sonlandırılmış ve elde edilen model kullanılarak bir uygulama seti oluşturulmuştur.

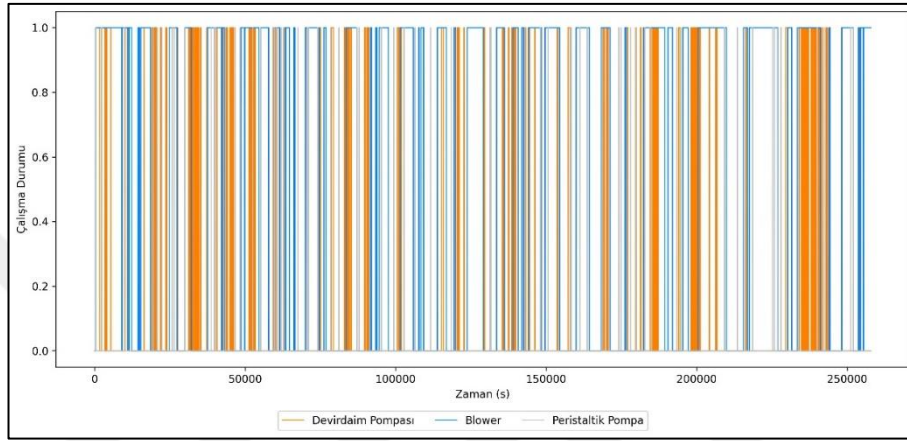


Şekil 4.26. Simülasyon programının ekran görüntüleri

Bu yaklaşım, kompost çayı üretim sürecinin optimize edilmesi ve kontrol parametrelerinin hassas bir şekilde ayarlanması açısından önemli bir adım teşkil etmektedir. Şekil 4.26'da gösterilen eğitim aşamaları, sistemin zamanla nasıl öğrendiğini ve performansını nasıl iyileştirdiğini açıkça ortaya koymaktadır.

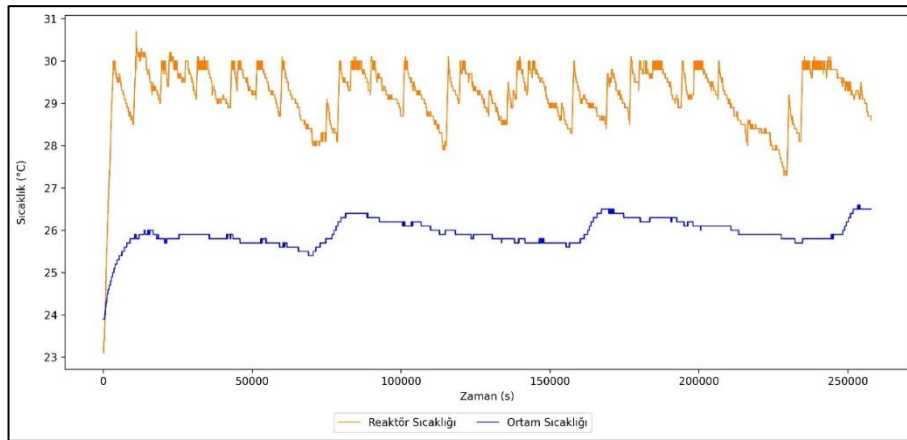
4.1.5. Makine öğrenmesinde elde edilen veriler

Bu deneme, DP1, DP2, DP3 deneme verileri ve Simülasyon uygulaması ile eğitilmiş model dosyasının oluşturduğu bir uygulama setini işleme alarak yürütülmüştür. Elde edilen uygulama seti diğer denemelerde uygulanan periyodik çalışma stratejilerinin dışında bir uygulama sergilemiştir. Motorların çalışma durumlarına ilişkin grafik Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



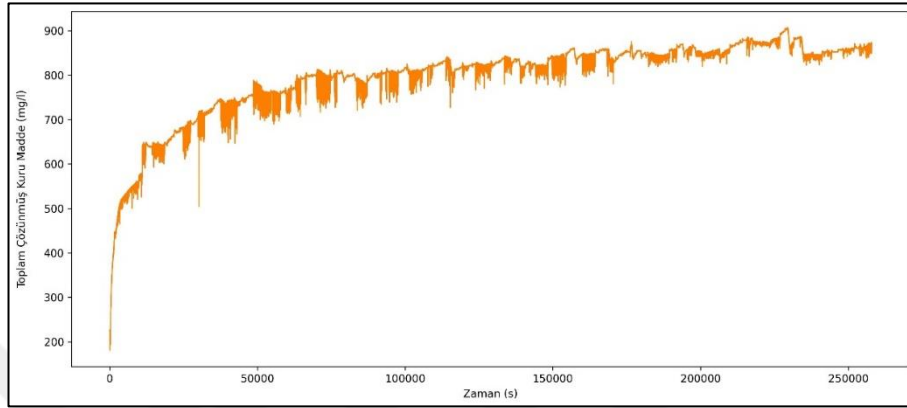
Şekil 4.27. Bileşenlerin çalışma durumu

Makine öğrenmesi ile oluşturulan kontrol stratejisinde sıcaklık için belirlenmiş (30°C) set değerin üstüne çıkması durumunda reaktör sıcaklığı üstündeki etkisi belirlenmiş olan devirdaim pompasının çalışması sınırlandırılmıştır. Bu koşullarda reaktör sıcaklığının istenen seviyelerde seyrettiği Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



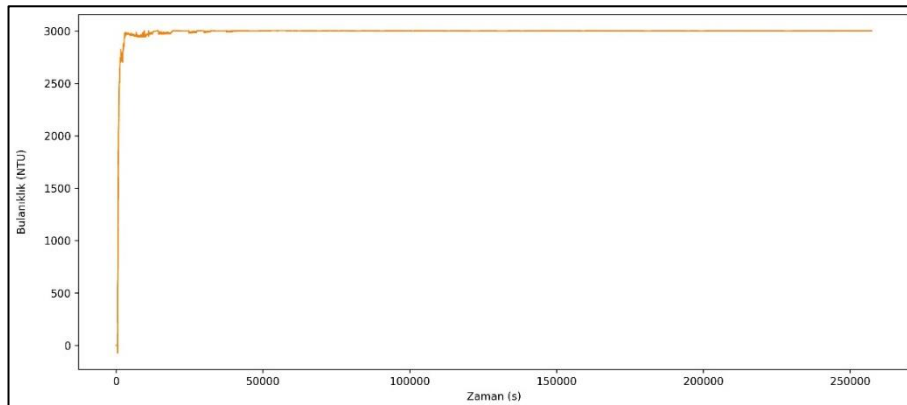
Şekil 4.28. Ortam ve reaktör sıcaklıkları

Yürütülen bu denemede TDS değeri diğer denemelerden daha yüksek seviyelerde seyretmiştir. Bu durum kompost çayının içeriğindeki kuru madde miktarının farklı kontrol stratejileriyle değişebildiğini göstermektedir. Bu denemede uygulanan kontrol stratejisinin daha iyi bir sonuç ortaya koyduğunu göstermektedir. Deneme izlenen TDS değerine ilişkin grafik Şekil 4.29’da gösterilmiştir.



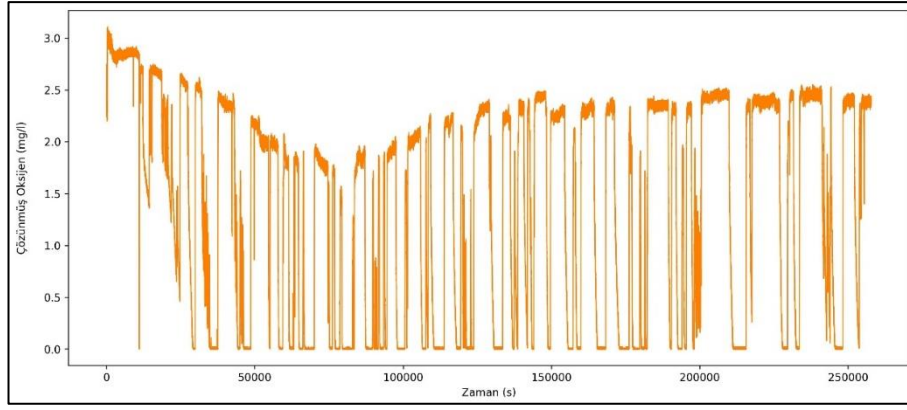
Şekil 4.29. TDS değişimi

Şekil 4.30’da bulunan bulanıklık durumuna ait grafik incelendiğinde sensör ölçüm sınırları olan 3 000 NTU’ya ulaştığı görülmektedir.



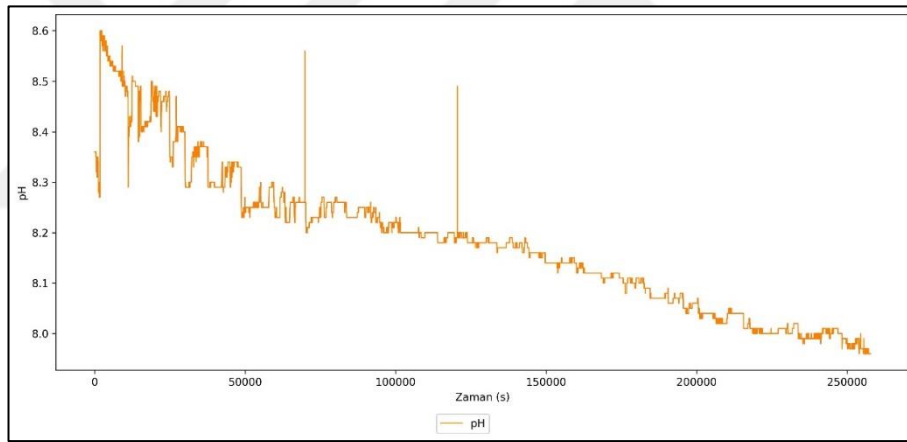
Şekil 4.30. Bulanıklık değişimi

Şekil 4.31’de gösterilmiş olan çözünmüş oksijen miktarındaki değişim grafiği, sürecin başlarında yetersiz kalma eğiliminde seyretmiş olsa da sürecin devamında kritik değer olan 2 mg/l seviyelerinin üstünde tutmayı başarmıştır.



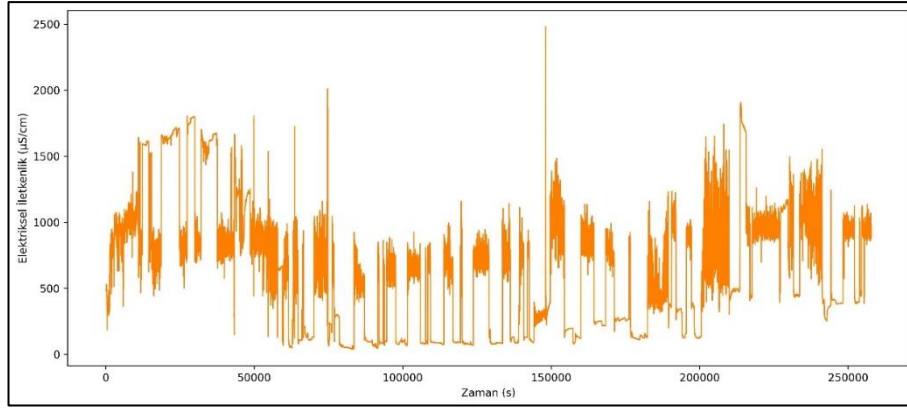
Şekil 4.31. Çözünmüş oksijen değişimi

Kompost çayının oluşum süreci boyunca pH değerinde azalma gözlemlenmiştir. Diğer denemelerde de elde edilen bulgular bu durumun eklenen besin maddesinin bu düşüşte etkili olduğunu göstermektedir. pH değerindeki değişime ilişkin grafik Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32. pH değişimi

Şekil 4.33’de elektriksel iletkenlik değerindeki değişim gösterilmiştir. Bu denemede diğer denemelerde olduğu gibi anlamlı bir artış gözlemlenmemiştir. EC değerinin genel seyri 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ seviyelerinde olmuştur.



Şekil 4.33. Elektriksel iletkenlik değişimi

4.2. Tartışma

Bu çalışmada geliştirilen kompost çayı üretim sistemi, literatürde bahsedilen mevcut sistemlerden birkaç önemli noktada ayrılmaktadır. Öncelikle, sistem sürekli veri toplama ve analiz yapabilme kabiliyeti ile donatılmıştır. Bu özellik, üretim sürecinin her aşamasının detaylı bir şekilde izlenmesine ve analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Literatürde bahsedilen sistemlerin çoğu, bu düzeyde bir veri toplama ve analiz yeteneğine sahip değildir (Scheuerell ve Mahaffee, 2004; Ingham, 2005).

Sistemin bir diğer önemli özelliği, farklı üretim parametrelerinin test edilmesine olanak sağlamasıdır. DP1, DP2 ve DP3 denemeleri, farklı motor çalışma sürelerinin kompost çayı üretim süreci üzerindeki etkilerini göstermiştir. Bu tür parametrik çalışmalar, literatürde sınırlı sayıda bulunmaktadır ve genellikle manuel sistemlerle yürütülmektedir (Pant vd., 2011; Martin vd., 2012). Otomatize edilmiş bir sistemle bu tür çalışmaların yürütülmesi, daha tutarlı ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, devirdaim pompasının, blower'ın ve peristaltik pompanın kompost çayı üretim süreci üzerindeki etkilerini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Örneğin, devirdaim pompasının TDS ve bulanıklık üzerindeki etkisi, DP1 ve DP2 denemelerinde açıkça görülmektedir. Bu bulgular, Ingham (2005) ve Scheuerell ve Mahaffee (2004)'nin çalışmalarında bahsedilen karıştırma ve havalandırmanın önemini desteklemektedir.

Blower'ın çözünmüş oksijen seviyesi üzerindeki etkisi, özellikle DP2 denemesinde net bir şekilde gözlemlenmiştir. Bu bulgu, aerobik mikroorganizmaların aktivitesi için oksijen seviyesinin önemini vurgulayan literatür ile uyumludur (Kannangara vd., 2006; Vail vd., 2020). Ancak, DP1 denemesinde gözlemlenen çözünmüş oksijen seviyesindeki genel düşüş eğilimi, mikroorganizma popülasyonunun artışına bağlı olarak oksijen tüketiminin de arttığını göstermektedir. Bu durum, üretim sürecinde dinamik bir oksijen yönetiminin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Peristaltik pompa ile yapılan besin takviyesinin pH ve çözünmüş oksijen seviyeleri üzerindeki etkisi, kompost çayı üretiminde besin yönetiminin önemini vurgulamaktadır. Bu bulgu, Lanthier ve Peters (2013)'in çalışmasında belirtilen besin takviyesinin mikrobiyal aktivite üzerindeki etkisini desteklemektedir.

Çalışmada geliştirilen makine öğrenmesi modeli, kompost çayı üretim sürecinin optimizasyonu için yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşım, literatürde henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır ve gelecekteki çalışmalar için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Model, farklı üretim parametrelerinin etkilerini öğrenerek, optimal üretim koşullarını belirleyebilmektedir. Bu, üretim sürecinin verimliliğini artırma ve kompost çayının kalitesini iyileştirme potansiyeline sahiptir.

Sistemin sera otomasyonu ile entegre edilebilmesi, kompost çayının pratik uygulamalarda kullanımını kolaylaştırmaktadır. Bu özellik, literatürde bahsedilen sistemlerde genellikle bulunmamaktadır ve kompost çayının tarımsal uygulamalarda daha yaygın kullanımına olanak sağlayabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen sistem, kompost çayı üretiminde daha detaylı ve kontrollü bir yaklaşım sunmaktadır. Sistem, üretim sürecinin daha iyi anlaşılmasına ve optimize edilmesine olanak sağlamakta, aynı zamanda pratik uygulamalarda kullanım için de uygun bir platform oluşturmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, farklı kompost materyalleri ve besin maddeleri ile denemelerin yapılması, makine öğrenmesi modelinin daha da geliştirilmesi ve sistemin daha geniş ölçekli uygulamalarda test edilmesi önerilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Bu tez çalışması, sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkıda bulunmak amacıyla yenilikçi bir kompost çayı üretim sistemi geliştirmeyi hedeflemiştir. Çalışmanın sonuçları, geliştirilen sistemin bu hedefe ulaşmada önemli adımlar attığını göstermektedir.

Geliştirilen sistem, kompost çayı üretiminde hassas kontrol ve sürekli izleme imkanı sağlayan ilk yerli çözüm olma özelliğini taşımaktadır. Sistem, üretim sürecinin her aşamasını gerçek zamanlı olarak izleyebilme ve kayıt altına alabilme yeteneği ile öne çıkmaktadır. Bu özellik, kompost çayı üretiminde standardizasyon ve optimizasyon çalışmalarına önemli bir altyapı sunmaktadır.

Çalışma kapsamında yürütülen denemeler, sistemin farklı üretim parametrelerini test etme ve karşılaştırma kabiliyetini ortaya koymuştur. Bu, kompost çayı üretiminde en uygun koşulların belirlenmesi için değerli bir araç sunmaktadır.

Sistemin en yenilikçi yönlerinden biri, makine öğrenmesi modelinin entegrasyonudur. Bu entegrasyon, kompost çayı üretim sürecinin otomatik optimizasyonuna olanak sağlamıştır. Geliştirilen model, üretim parametrelerini dinamik olarak ayarlayarak, daha tutarlı ve yüksek kaliteli kompost çayı üretimini mümkün kılmıştır.

Geliştirilen sistemin sera otomasyonu ile entegre edilebilmesi, pratik uygulamalarda kullanılabilirliğini artırmıştır. Bu özellik, kompost çayının tarımsal üretimde daha yaygın ve etkin bir şekilde kullanılmasının önünü açmaktadır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması kompost çayı üretiminde yeni bir yaklaşım sunmuştur. Geliştirilen sistem, sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkıda bulunma, kimyasal gübre kullanımını azaltma ve organik tarım uygulamalarını destekleme potansiyeline sahiptir. İleriki çalışmalarda, sistemin farklı kompost materyalleri ve ölçeklerde test edilmesi, bu potansiyelin tam olarak değerlendirilmesini sağlayacaktır.

5.2. Öneriler

Geliştirilen kompost çayı üretim sisteminin potansiyelini daha da artırmak ve uygulama alanını genişletmek için aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

1. Farklı kompost kaynakları ve besin maddeleri kullanılarak kapsamlı denemeler yapılması: Mantar kompostu dışında, hayvansal gübreler, yeşil atıklar ve diğer organik materyaller test edilerek, farklı kompost kaynaklarının kompost çayı kalitesi üzerindeki etkileri araştırılabilir.
2. Mikrobiyolojik analizlerin entegrasyonu: Sistemde üretilen kompost çayının mikrobiyolojik içeriğinin belirlenmesi için otomatik örnekleme ve analiz modüllerinin eklenmesi, ürün kalitesinin daha detaylı değerlendirilmesini sağlayabilir.
3. Yapay zeka modelinin geliştirilmesi: Mevcut makine öğrenmesi modelinin, daha karmaşık üretim senaryolarını ele alabilecek şekilde genişletilmesi ve derin öğrenme tekniklerinin entegre edilmesi, sistem performansını artırabilir.
4. Enerji verimliliğinin optimizasyonu: Sistemin enerji tüketimini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının (örneğin, güneş panelleri) entegrasyonu ve enerji tasarruflu bileşenlerin kullanımı araştırılabilir.
5. Ölçek büyütme çalışmaları: Sistemin daha büyük ölçekli tarımsal işletmelerde kullanılabilirliğini test etmek için pilot uygulamalar gerçekleştirilebilir.
6. Bitki sağlığı üzerindeki etkilerin araştırılması: Üretilen kompost çayının farklı bitki türleri üzerindeki etkilerini incelemek için saha denemeleri yapılabilir.
7. Uzaktan izleme ve kontrol özelliklerinin geliştirilmesi: Sistem performansının ve üretim sürecinin mobil cihazlar üzerinden izlenip kontrol edilebilmesi için bir uygulama geliştirilebilir.
8. Ekonomik analiz: Sistemin tarımsal işletmelere sağlayacağı ekonomik faydaların detaylı bir analizinin yapılması, yaygınlaştırma çalışmalarına katkı sağlayabilir.
9. Sürdürülebilirlik değerlendirmesi: Sistemin çevresel ayak izinin hesaplanması ve geleneksel gübreleme yöntemleriyle karşılaştırılması, sürdürülebilirlik açısından konumunu netleştirebilir.

Bu öneriler, geliştirilen sistemin daha geniş bir uygulama alanında kullanılmasını ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına daha fazla katkı sağlamasını hedeflemektedir.

KAYNAKLAR

- Allahyari, H., Ahangar, A. G., Ravizi, S. B., & Sattari, A. (2015). The process of production compost tea and its usage in agriculture: a review. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 4(2), 171-176.
- Al-obaidi, M., Zhang, T., & Yang, W. (2019). Mixing efficiency of compost tea brewing machines with various airlift pump air jacket structures and air injection pressures. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, 100(1), 111-116. <https://doi.org/10.1007/s40030-018-0330-7>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140(1), 33-45. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0909-y>
- Amalyadi, R., Umami, N., Fitriyanto, N. A., Hanim, C., & Suwignyo, B. (2022). Effect of compost tea and harvest age on productivity, nutrient content, and in vitro digestibility of *Cichorium intybus*. *Buletin Peternakan*, 46(3), 140-147. <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v46i3.67834>
- Ayla, D., & Altıntaş, D. (2017). Organik üretim ve pazarlama sorunları. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(4), 7-17.
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Périsol, C., Roussos, S., & Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, 8, 141–158. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>
- Aznar-Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., López-Felices, B., & Román-Sánchez, I. M. (2020). An analysis of global research trends on greenhouse technology: Towards a sustainable agriculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2), 664. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020664>
- Badu, P. R. (2023). Greenhouse technology for controlled environment crop production. *International Journal of Farming and Rural Systems*, 5(5), 7164. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i05.7164>
- Balas, M. M., Musca, C. B., & Musca, S. V. (2010). The passive greenhouses. In *Paths to Sustainable Energy*. (pp. 76-90)
- Bali, R., Pineault, J., Chagnon, P., & Hijri, M. (2021). Fresh compost tea application does not change rhizosphere soil bacterial community structure, and has no effects on soybean growth or yield. *Plants*, 10(8), 1638. <https://doi.org/10.3390/plants10081638>
- Barghouth, Z., Khazzam, E., Ramlawi, S., Wong, A., Smith, M. L., & Avis, T. J. (2023). Microbial compost tea properties affect suppression of strawberry grey mould (*Botrytis cinerea* Pers.). *Biocontrol Science and Technology*, 33(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/09583157.2022.2141688>

- Başar, H. (2000). Bazı topraksız yetiştiricilik yöntemlerinin karşılaştırılması. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 10(2).
- Bayram, C. A., & Kaya, S. (2021). Kompost ve kompost çayının bitkisel üretimde kullanımı ve bitki gelişimine etkileri. In *Değişen Bir Dünyada Sürdürülebilir Tarım Yönetimi*. (pp. 397-428)
- Campbell, B. M., Beare, D. J., Bennett, E. M., Hall-Spencer, J. M., Ingram, J. S. I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J. A., & Shindell, D. (2017). Agriculture production as a major driver of the earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*, 22(4), Article 8. <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>
- Carballo, T., Gil, M. V., Calvo, L. F., & Morán, A. (2009). The influence of aeration system, temperature, and compost origin on the phytotoxicity of compost tea. *Compost Science & Utilization*, 17(2), 127-139. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2009.10702411>
- Chartzoulakis, K., & Bertaki, M. (2015). Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.011>
- Chebanov, L., Chebanov, T., & Cheban, V. (2021). Constructive and technological features of modern block greenhouses. *Building and Environment*, 198, 107776. <https://doi.org/10.30838/j.bpsacea.2312.230221.118.726>
- Dearborn, Y. (2011). Compost Tea: Literature Review on Production, Application and Plant Disease Management. San Francisco Department of Environment, Toxic Reduction Program: IPM Task Order # 3-18.
- Dernek, Z. (2006). Cumhuriyet'in kuruluşundan günümüze tarımsal gelişmeler. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(1), 1-12.
- Dionne, A., Tweddell, R., Antoun, H., & Avis, T. (2012). Effect of non-aerated compost teas on damping-off pathogens of tomato. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 34(1), 51-57. <https://doi.org/10.1080/07060661.2012.660195>
- Du, D., Livesley, S. J., Arndt, S. K., Truong, C., & Miller, R. E. (2023). The use of compost tea in a containerized urban tree nursery shows no evident benefits to tree growth or mycorrhizal colonization. *Forests*, 14(1195). <https://doi.org/10.3390/f14061195>
- Edenborn, S., Johnson, L., Edenborn, H., Albarran-Jack, M. R., & Demetrion, L. D. (2018). Amendment of a hardwood biochar with compost tea: effects on plant growth, insect damage and the functional diversity of soil microbial communities. *Plant and Soil*, 4(2), 88-106. <https://doi.org/10.1080/01448765.2017.1388847>

- Elbagory, M. (2023). Reducing the adverse effects of salt stress by utilizing compost tea and effective microorganisms to enhance the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Agronomy*, 13(3), 823. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030823>
- El-Gizawy, E., & Gerjes, L. (2013). Performance of free-living N₂-fixing bacteria, compost tea, and mineral nitrogen applications on some soil properties, productivity, and quality of onion crop (Giza Red vr.). *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 4(10), 1005-1020. <https://doi.org/10.21608/jssae.2013.52504>
- Elsaiid, G. A., Abou zekry, S. H., Sarhan, E., & El-mokadem, M. T. (2018). In vitro suppressive effect of agriculture residues and municipal solid wastes compost tea on some phytopathogenic fungi. *Journal of Soil and Water Conservation*, 13(2), 1-15. <https://doi.org/10.21608/JSRS.2018.25679>
- Eudoxie, G., & Martin, M. (2019). Compost tea quality and fertility. In *Organic Fertilizers – History, Production and Applications (Chapter 1)*. (pp. 1-25)
- Fenkli, M., & Filiz, M. (2013). Batı Akdeniz Bölgesi sera yapılarının yapısal karakteristiklerinin incelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(2), 114–121.
- Fernando, S., Nethmi, R., Silva, A., Perera, A., Silva, R. D., & Abeygunawardhana, P. W. K. (2020). AI based greenhouse farming support system with robotic monitoring. In *2020 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*. (pp. 1368-1373)
- FAO (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food Security and Nutrition in the World 2020.
- Garden Tea Company (2024). How to make compost tea. <https://gardenteacompany.com/how-to-make-compost-tea/> (Son erişim tarihi: 22 Nisan 2024)
- GEOTEA (2024). Compostwerks products, services, and support for ecological land care. <https://www.compostwerks.com/> (Son erişim tarihi: 20 Haziran 2024)
- Green Pro Solutions, LLC. (2024). Green Pro Solutions. <https://greenprosolutions.com/> (Son erişim tarihi: 20 Haziran 2024)
- Growing Solutions, Inc. (2024). Growing Solutions. <https://growingsolutions.com/> (Son erişim tarihi: 20 Haziran 2024)
- Gürpınar, K., & Aktürk, A. (2023). Afyonkarahisar ili Sandıklı ilçesi jeotermal seracılık sektörünün rekabet avantajının yönetici görüşleri ışığında değerlendirilmesi. *Stratejik Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 163-184. <https://doi.org/10.54993/syad.1336595>

- Hamdan, M. F., Mohd Noor, S. N., Abd-Aziz, N., Pua, T.-L., & Tan, B. (2022). Green revolution to gene revolution: technological advances in agriculture to feed the world. *Plants*, 11(10), 1297. <https://doi.org/10.3390/plants11101297>
- Hirzel, J., Cerda, F., Millas, P., & France, A. (2012). Compost tea effects on production and extraction of nitrogen in ryegrass cultivated on soil amended with commercial compost. *Journal of Compost Science and Technology*, 20(2), 97-104. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2012.10737032>
- Hung, W., Huang, W.-Y., Lin, C., Vu, C. T., Yotapukdee, S., Kaewlaoyoong, A., Chen, J.-R., & Shen, Y.-H. (2017). The use of ultrasound-assisted anaerobic compost tea washing to remove poly-chlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), dibenzo-furans (PCDFs) from highly contaminated field soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 18936–18945. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9517-0>
- Ingham, E. R. (2005). *The Compost Tea Brewing Manual* (5th ed.). Corvallis, Oregon: Soil Foodweb Incorporated.
- Jideani, A., Mutshinyani, A. P., Maluleke, N. P., Mafukata, Z. P., Sithole, M. V., Lidovho, M. U., Ramatsetse, E. K., & Matshisevhe, M. M. (2020). Impact of industrial revolutions on food machinery - An overview. *Journal of Food Research*, 9(5), 42-58. <https://doi.org/10.5539/jfr.v9n5p42>
- Kannangara, T., Forge, T., & Dang, B. (2006). Effects of aeration, molasses, kelp, compost type, and carrot juice on the growth of *Escherichia coli* in compost teas. *Compost Science & Utilization*, 14(1), 40–47. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2006.10702261>
- Karaçal, İ., & Tüfenkçi, Ş. (2010). Bitki beslemede yeni yaklaşımlar ve gübre-çevre ilişkisi. In *TMMOB VII. Teknik Kongresi*. (pp. 257-268)
- Karadağ, Ş., Kasım, M. U., & Kasım, R. (2020). Kapalı bitkisel üretim sistemleri. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 2(4), 30-38.
- Karkacier, O. (2020). Comparative economic profitability analysis for greenhouses in modern and traditional conditions: tomato farming for example. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(10), 2170–2174. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i10.2170-2174.3639>
- Khalfallah, K. K., Turki, N., Rébaï, M., & Ghazel, I. (2015). Compost and compost tea fertilization effects on soil and artichoke mineral nutrition in organic farming. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(6), 3835-3842.
- Kim, M. J., Shim, C. K., Kim, Y. K., Hong, S. J., Park, J. H., Han, E. J., Kim, J. H., & Kim, S. C. (2015). Effect of aerated compost tea on the growth promotion of lettuce, soybean, and sweet corn in organic cultivation. *The Plant Pathology Journal*, 31(3), 259-268. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.02.2015.0024>

- Koutchma, T., & Ezzatpanah, H. (2021). Frontiers: Current challenges in food process design and engineering. *Frontiers in Food Science and Technology*, 1, 780013. <https://doi.org/10.3389/frfst.2021.780013>
- Küçükkalay, A. (1997). Endüstri devrimi ve ekonomik sonuçlarının analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(2), 51-68.
- Kürklü, A., & Çağlayan, N. (2005). Sera otomasyon sistemlerinin geliştirilmesine yönelik bir çalışma. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 18(1), 25-34.
- Lal, R. (2020). Soil science beyond COVID-19. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(4), 79A-81A. <https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0408A>
- Lanthier, M., & Peters, S. (2013). Microbial content of actively aerated compost tea after variations of ingredients or procedures. *Acta Horticulturae*, 1009, 219-224. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1009.26>
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674. <https://doi.org/10.3390/s18082674>
- Liu, R., Zhang, Y., Ge, Y., Hu, W., & Sha, B. (2020). Precision regulation model of water and fertilizer for alfalfa based on agriculture cyber-physical system. *IEEE Access*, 8, 38501-38514. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2975672>
- Mansour, H. A., Sabreen, K., Pibars, M., Abd El-Hady, M., & Eldardiry, E. I. (2014). Effect of water management by drip irrigation automation controller system on faba bean production under water deficit. *International Journal of GEOMATE*, 7(2), 1047-1053.
- Marín, F., Santos, M., Diáñez, F., Carretero, F., Gea, F. J., Yau, J. A., & Navarro, M. (2013). Characters of compost teas from different sources and their suppressive effect on fungal phytopathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(8), 1371-1381. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1300-x>
- Martin, C. S., Dorinvil, W., Brathwaite, R., & Ramsubhag, A. (2012). Effects and relationships of compost type, aeration and brewing time on compost tea properties, efficacy against *Pythium ultimum*, phytotoxicity and potential as a nutrient amendment for seedling production. *Journal of Applied Horticulture*, 14(2), 102-108. <https://doi.org/10.1080/01448765.2012.727667>
- Martin, C. S., Rouse-Miller, J., Barry, G. T., & Vilpigue, P. (2020). Compost and Compost Tea Microbiology: The “-Omics” Era. In *Biology of Composts*. (pp. 3-22)

- Martin-Merino, M. (2021). The Neolithic Revolution: agriculture, sedentary lifestyle and its consequences. In *Cambridge Open Engage*. (pp.1-8) <https://doi.org/10.33774/coe-2021-2589h>
- Matouk, A., EL-Hadidi, Y., Tharwat, A., & Khafagy, S. (2017). Production of compost tea from farm wastes. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 8(7), 323-329. <https://doi.org/10.21608/jssae.2017.37516>
- Mengesha, W., Powell, S., Evans, K., & Barry, K. (2017a). Diverse microbial communities in non-aerated compost teas suppress bacterial wilt. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(3), Article 56. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2212-y>
- Mengesha, W., Gill, W., Powell, S., Evans, K., & Barry, K. (2017b). A study of selected factors affecting efficacy of compost tea against several fungal pathogens of potato. *Journal of Applied Microbiology*, 123(4), 1010-1021. <https://doi.org/10.1111/jam.13530>
- Murgai, R. (2001). Productivity growth and sustainability in post-Green Revolution agriculture: The case of the Indian and Pakistan Punjab. *The World Bank Research Observer*, 16(2), 199–218. <https://doi.org/10.1093/wbro/16.2.199>
- Nemali, K. (2022). History of controlled environment horticulture: Greenhouses. *HortScience*, 57(2), 239–246. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16160-21>
- Ou-zine, M., El Hilali, R., Haggoud, A., Achbani, E., & Bouamri, R. (2022). Effects and relationships of compost dose and organic additives on compost tea properties, efficacy against *Fusarium oxysporum*, and potential effect on endomycorrhization and growth of *Zea mays* L. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 4431–4445. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01795-w>
- Öztürk, E., Çelik, Y., & Kırıcı, P. (2021). Akıllı tarımda sensör uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28, 1279-1282. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1013749>
- Pakdemirli, B., Birişik, N., Aslan, İ., Sönmez, B., & Gezici, M. (2021). Türk tarımında dijital teknolojilerin kullanımı ve tarım-gıda zincirinde Tarım 4.0. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 78-87. <https://doi.org/10.21657/topraksu.898774>
- Palmer, A., Evans, K. J., & Metcalf, D. A. (2010). Characters of aerated compost tea from immature compost that limit colonization of bean leaflets by *Botrytis cinerea*. *Journal of Applied Microbiology*, 109(5), 1619–1631. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04794.x>
- Pant, A., Radovich, T. J. K., Hue, N. V., & Arancon, N. Q. (2011). Compost tea production. In *Proceedings of the International Symposium on Organic Matter Management and Compost Use in Horticulture*. (pp. 315-324)

- Pimentel, D., & Pimentel, M. H. (2008). *Food, Energy, and Society* (3. Baskı). CRC Press.
- Pretty, J., & Bharucha, Z. P. (2014). Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of Botany*, 114(8), 1571-1596. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu205>
- Roberts, K. (2013). Migration and agrarian change. In *The Encyclopedia of Global Human Migration*. (pp 1-5) <https://doi.org/10.1002/9781444351071.wbeghm369>
- Scheuerell, S. J., & Mahaffee, W. F. (2002). Compost tea: Principles and prospects for plant disease control. *Compost Science & Utilization*, 10(4), 313-338. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2002.10702095>
- Scheuerell, S. J., & Mahaffee, W. F. (2004). Compost tea as a container medium drench for suppressing seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, 94(11), 1156-1163. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1156>
- Shamshiri, R. R., Weltzien, C., Hameed, I. A., Yule, I. J., Grift, T. E., Balasundram, S. K., Pitonakova, L., Ahmad, D., & Chowdhary, G. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4), 1–14. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.4278>
- Shavit, A., & Sharon, G. (2023). Can models of evolutionary transition clarify the debates over the Neolithic Revolution? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378, 20210413, 1-8 <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0413>
- Shirsath, D. O., Kamble, P., Mane, R., Kolap, A., & More, R. S. (2017). IOT based smart greenhouse automation using Arduino. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST)*, 5(2), 234-238. <https://doi.org/10.21276/ijircst.2017.5.2.4>
- Shrinivas, N., Vaidya, P. H., & Gourkhede, P. H. (2021). Influence of foliar application of compost tea on growth, yield and quality of soybean [*Glycine max* (L)]. *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry*, 22(2), 66-73. <https://doi.org/10.9734/IRJPAC/2021/v22i230387>
- Silva, D. P., Rajapaksha, E., Weerawardhane, T., & Wijesinghe, W. (2016). Advanced automation system for greenhouse climate control. In *Proceedings of the 9th International Research Conference at General Sir John Kotelawala Defence University, Sri Lanka*. (pp. 156-158)
- Stepha, G. E. J. (2022). Impact of green revolution in India. *International Journal of Health Sciences*, 6(S4), 5291–5297. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS4.10077>

- Sujesh, S., Murali, T., Sahithya, K., & Das, N. (2017). Preparation of compost tea and its utility as a plant growth promoter. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 10(9), 3115-3122. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2017.00554.6>
- Susilowati, N. (2023). Effect of applying compost tea through leaves and soil on soil P availability and P uptake of maize (*Zea mays* L.) at Alfisol Jatikerto Kab. Malang. *Contributions of Central Research Institute for Agriculture*, 17(1), 26-30. <https://doi.org/10.35335/cceria.v17i1.41>
- Svizzero, S. (2017). Persistent controversies about the Neolithic Revolution. *Journal of Historical Archaeology & Anthropological Sciences*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.15406/jhaas.2017.01.00013>
- Tateda, M., Yoneda, D., & Sato, Y. (2007). Effects of Compost Tea Making from Differently Treated Compost on Plant Disease Control. *Journal of the Korean Wetland Society*, 4(1), 91-98.
- TeaLAB (2024). Compost tea brew bags by TeaLAB. <https://www.composttealab.com/>. (Son erişim tarihi: 20 Haziran 2024)
- Tegegn, A. (2017). Effect of Aerated and Non-aerated Compost Steepages on the Severity and Incidence of Major Fungal Diseases of Faba Bean; *Botrytis fabae*, *Uromyces vicia fabae* and *Ascochyta fabae*. *Plant*, 5(6), 85-92. <https://doi.org/10.11648/j.plant.20170506.11>
- Teknogirişim (2012). Teknogirişim Sermayesi Desteği, “Ürün odaklı sera otomasyon sisteminin geliştirilmesi”. Yürütücü: Süslü, A., TGSD No: 1496.TGSD.2012
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Topal, R. Ş. (2010). Tarım sektörünün topluma karşı sorumlulukları. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(1), 1-31.
- TÜİK (2024). Örtü altı tarım alanları ve sebze meyve üretim istatistikleri. <https://www.tuik.gov.tr/> (Son erişim tarihi: 24 Mayıs 2024)
- Vail, D. C., Hernández, D., Velis, E., & Wills, A. (2020). Compost tea production methods affect soil nitrogen and microbial activity in a northern highbush blueberry system. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(4), 1370-1383. <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1724583>
- Valdes, E. C. (2015). *Effect of compost tea on plant growth performance and the fate of microbial communities in soil*. (Master's Thesis, Graduate Council of Texas State University)

- Vela-Cano, M., Gómez-Brandón, M., Pesciaroli, C., Insam, H., & González-López, J. (2018). Study of total bacteria and ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea in response to irrigation with sewage sludge compost tea in agricultural soil. *Compost Science & Utilization*, 26(2), 1-12. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2018.1432429>
- Vukobratović, M., Vukobratović, Ž., Lončarić, Z., Popović, B., & Karalić, K. (2013). Compost production and composted manure quality evaluation. *Acta Horticulturae*, 1013, 247-254. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1013.29>
- Waliczek, T. M., & Wagner, N. C. (2023). An investigation of the impact of compost tea applications on turf quality and soil microbial activity. *Journal of Environmental Horticulture*, 41(1), 1-6. <https://doi.org/10.24266/2573-5586-41.1.1>
- Weisdorf, J. (2006). From domestic manufacture to Industrial Revolution: Long-run growth and agricultural development. *Oxford Economic Papers*, 58(2), 264-287. <https://doi.org/10.1093/oep/gpl001>
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J. F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- World Bank (2008). World Development Report 2008: Agriculture for Development. The World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/5990> (Son erişim tarihi: 22 Nisan 2024)
- Yang, L., Wu, Y., Lu, C., Yan, S., Liu, H., & Luo, Y. (2023). Design and optimization of intelligent greenhouse automatic control system. In *2023 5th International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing (ICMSP)*. (pp. 316-319)