

**MİKROALGAL BİYOYAKIT
ARAŞTIRMALARI İÇİN
LABORATUVAR ÖLÇEKLİ
FOTOBİOREAKTÖR OTOMASYONU**

Fuat ÖZBAY

Yüksek Lisans Tezi

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet

Recai DURGUT

2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİKROALGAL BİYİYAKIT ARAŞTIRMALARI İÇİN LABORATUVAR ÖLÇEKLİ
FOTOBİOREAKTÖR OTOMASYONU**

Fuat ÖZBAY

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET RECAİ DURGUT

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT danışmanlığında, Fuat ÖZBAY tarafından hazırlanan” Mikroalgal Biyoyakıt Araştırmaları İçin Laboratuvar Ölçekli Fotobioreaktör Otomasyonu” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Ali VARDAR

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİKROALGAL BİYOYAKIT ARAŞTIRMALARI İÇİN LABORATUVAR ÖLÇEKLİ FOTOBİOREAKTÖR OTOMASYONU

Fuat ÖZBAY

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT

Bir fotobiyoreaktörün çalışması manuel olarak oldukça zordur. Fotobiyoreaktörün verimli çalışması, sistemden sık veri toplama yoluyla, mümkün olan büyüme koşullarının yakın kontrolünü gerektirir. Manuel örnek toplama ve analizleri hem zahmetli hem de nispeten pahalıdır. Fotobiyoreaktörün verimli çalışması için yapılan bu çalışmada; entegre bir gerçek zamanlı biyoreaktör izleme ve kontrol sisteminin geliştirilmesi, besin maddesi eklenmesi, biyokütle hasat zamanı, ışık, CO₂ besleme döngüleri ve sıcaklık ile ilgili kararlar alınması, yosun oluşumu sırasında ekonomik kayıpların önlenmesi gerçekleştirilmiştir. Tüm bunlar uygulanırken Solidworks 2018, Simplify3D, Proteus 8.5 programları aktif olarak kullanılmıştır. Montaj parçalarını elde etmek için ise Prusa i3 isimli üç boyutlu yazıcı kullanımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda yapımı gerçekleştirilen otomatik yetiştirme sistemi ile örnek alma, hasat ve besin ilavesi sırasında mikrobiyal kontaminasyonun minimuma indirildiği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fotobiyoreaktör, sistem otomasyonu, mikroalgal biyoyakıt, çıktı izleme sistemi, arduino

2019, 78 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

LABORATORY-SCALE PHOTOBIOREACTOR AUTOMATION FOR MICROALGAE BIOFUEL RESEARCH

Fuat ÖZBAY

Tekirdag Namik Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering
Supervisor : Assist. Dr. Mehmet Recai DURGUT

It is really challenging to work a photobioreactor manually. Productive working of the photobioreactor needs close check of growth conditions which is possible through continual data gathering from the system. Manual sampling gathering and analysis are both effortful and slightly expensive. In this work which is done for its efficient operation, the improvement of a combined actual-time bioreactor monitoring and management system, nutriment accession, time of the biomass collection, light, temperature-related decisions, furnishing cycles, preventing economic losses during algae formation were made. When all of these areis being applied, Solidworks 2018, Simplify3D, Proteus 8.5 programs were used actively. To obtain mounting parts, Prusa i3 three dimensional printer were used and dimensional printer was used. Considering the results, it's been shown that microbial contamination is minimized during sampling, gathering and nutriment accession along the programmed planting system.

Keywords: Photobioreactor, system automation, microalgal biofuel, output tracking, arduino

2019, 78 Pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
TEŞEKKÜR	viii
1.GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Önemi	2
1.2. Amaç.....	4
2. LİTERATÜR TARAMASI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	16
3.1. Yetiştirilen Mikroalg Tipi.....	16
3.2. Mikroalg Besin Ortamı.....	16
3.3. Mikroalg Üretim Algoritması	17
3.4. Fotobiyoreaktör Sistemleri	18
3.5. Kontrol Sistemi.....	18
3.6. Sistemde Kullanılan Sensörler	21
3.7. Kullanıcı Arayüzü.....	26
3.8. Pompalar.....	30
3.8.1. Peristaltik pompalar.....	30
3.8.2. Diyaframlı pompalar	31
3.9. CO2 Besleme İşlemi.....	32
3.10. Sistem Yazılım Dili	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
4.1. Sistemin Enerji Kaynakları.....	34
4.2. Sistem İçin Hazırlanan Ortam	35
4.3. Ortamdaki pH Ölçümü	35
4.4. Aydınlatma Ünitesi.....	36
4.5. Su ve Besin Beslemesi.....	37
4.6. Hasat Algoritması	37
4.7. Kullanıcı Arayüzü ve Bilgilendirilmesi.....	39
4.8. Ana kontrolör ve Mikrodenetleyici	40
4.9. Sistemin Genel Görünümü	42

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
6. KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ	56
EK 1. ARDUİNO PROGRAMININ KODLARI	57

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1. Mikroalg üretimine etki eden parametleri için genelleştirilmiş değerler	2
Çizelge 2.1. Açık ve kapalı büyüme sistemlerinin temel tasarım özellikleri	6
Çizelge 2.2. Hasat çeşitleri ve yöntemleri	10
Çizelge 2.3. Çeşitli mikroalg türlerinin verimliliği ve yağ üretkenlikleri	11
Çizelge 2.4. Malzemeye göre ses yayılım hızı	14
Çizelge 3.1. Nannochloropsis sp. üretimi için kullanılan besin ortamı (F/2).....	17
Çizelge 3.2. DF robot firmasının bazı prop çeşitleri	21
Çizelge 3.3. pH probunun teknik özellikleri.....	22
Çizelge 3.4. pH probu bağlantı noktaları.....	22
Çizelge 3.5. HC-SR04 sensörünün teknik özellikleri.....	24
Çizelge 3.6. RGB (Red Green Blue) renk ölçüm sensörü bağlantı fonksiyonları.....	25
Çizelge 3.7. Foto diyot tip seçimi.....	25
Çizelge 3.8. Nextion ekran teknik özellikleri	26
Çizelge 3.9. Arduino Mega teknik özellikleri	28
Çizelge 3.10. Peristaltik pompa teknik özellikleri.....	31
Çizelge 3.11. Diyaframlı pompa teknik özellikleri	32

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1. Üç ana tipte fotobiyorektör tasarımı. 1. Düz plaka, 2. Boru şeklinde, 3. Kabarcık sütun	7
Şekil 2.2. Paralel ve yatay forma sahip boru şeklindeki bir fotobiyorektör	8
Şekil 2.3. Von Neuman mimarisi	13
Şekil 3.1. Nannochloropsis oculata faz kontrastı	16
Şekil 3.2. <i>N.oculata</i> 'nın hücre ince yapısı	16
Şekil 3.3. Mikroalg üretim algoritması	18
Şekil 3.4. Kullanılan fotobiyorektör	18
Şekil 3.5. Tasarımı yapılan otomatik kontrol sisteminin şematiği	19
Şekil 3.6. Devir daim pompası	19
Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan hava taşı	20
Şekil 3.8. Araştırmada kullanılan elektrikli ısıtıcı	20
Şekil 3.9. Kullanılan pH probu – E900	21
Şekil 3.10. pH prob modül kartı	23
Şekil 3.11. Aydınlatma ünitesi	23
Şekil 3.12. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü	24
Şekil 3.13. a. TCS3200 renk sensörü, b. Renk dalga boyu	25
Şekil 3.14. Nextion ekran gerilim beslemesi	27
Şekil 3.15. Nextion ekran ile arduinonun bağlantı şeması	27
Şekil 3.16. Arduino Mega Bacak Tipleri	28
Şekil 3.17. Röle modülü PCB (Printed Circuit Board) görünümü	29
Şekil 3.18. Röle modülü montaj kutusu	30
Şekil 3.19. Peristaltik pompa iç yapısı	31
Şekil 3.20. Peristaltik pompa	31
Şekil 3.21. Peristaltik pompa	32
Şekil 3.22. Karbondioksit reaktörü	33
Şekil 4.1. Ana kontrolörlü endüstriyel kutu	34
Şekil 4.2. Ölçülen pH ve Gerilim Denkleminin Grafiği $g = -5.70 * x + 21.34$	36
Şekil 4.3. Rgb sensörünün algılama alanı tasarımı	37
Şekil 4.4. RGB renk okuma kapsülü	38
Şekil 4.5. Nextion ekran bağlantı uçları	39
Şekil 4.6. Nextion ekran editörü	40
Şekil 4.7. Arduino IDE editörü	41
Şekil 4.8. Röle modülü elektronik kart montaj ve hatların görünümü	42
Şekil 4.9. Fotobiyorektör sisteminin genel görünümü 1	42
Şekil 4.10. Fotobiyorektör sisteminin genel görünümü 2	43
Şekil 4.11. Açılış ekranı 1	43
Şekil 4.12. Açılış ekranı 2 – 3	44
Şekil 4.13. Başlangıç ekranı	44
Şekil 4.14. Sistem başlatılıyor ve kontrol ediliyor ekranları	45
Şekil 4.15. Su kontrol ediliyor ve su seviyesi düşük ekranları	45
Şekil 4.16. Sisteme su alınıyor ve su seviyesi normal ekranları	46
Şekil 4.17. pH kontrol ediliyor ve pH değeri yüksek ekranları	46
Şekil 4.18. CO2 veriliyor ve pH değeri normal ekranları	47

Şekil 4.19. Yosun kontrol ediliyor ve yosun hazır değil ekranları	47
Şekil 4.20. Sistem stabil ekranı	48
Şekil 4.21. Yosun hazır ekranı.....	48
Şekil 4.22. Hasat başlatılıyor ve çökertme başladı ekranları.....	49
Şekil 4.23. Sistemi başlat ekranı.....	49

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, bana sürekli sabır ve anlayış gösteren, ufkumu genişletmeyi ve düşüncelerimi geliştirmeyi sağlayan, her konuda ilgi ve desteğini aldığım danışmanım ve sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT'a;

Yüksek lisans çalışmamın temelinden beri yanımda olan, desteğini ve engin bilgilerini benden hiç esirgemeyen değerli arkadaşım Ümit ÖZKAN'a;

Yüksek lisans çalışmamda teknik destek ve malzeme temini konularında yardımcı olan İlkay YENİCİ, Enes EYİSOR ve Polar Otomasyon Makine San. ve Tic. LTD. ŞTİ. ailesine;

Benden desteklerini ve sonsuz sevgilerini esirgemeyen babam Halil Hayrettin ÖZBAY'a, annem Ayşe ÖZBAY'a, ablam Cevriye ÖZBAY'a ve hayatıma ümit katan yeğenim Onur CEYLAN'a;

Hayatım boyunca hep yanımda olan, bu zorlu ve yoğun çalışmamda sabır gösteren, beni sürekli motive eden, her alanda benim bir adım önde olmamı isteyen değerli eşim Gizem ÖZBAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2019

Fuat ÖZBAY

1. GİRİŞ

Gelecekteki enerji taleplerini karşılama potansiyeline sahip alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesine ve toplumun fosil yakıtta olan bağımlılığını azaltmaya büyük ilgi vardır. Dünya ekonomisi, çeşitli faaliyetler için fosil yakıtlara oldukça bağımlıdır (Newell 2009). Dünya ekonomisinin en büyük enerji kaynağı petroldür. Bilindiği üzere petrol kaynaklarının azalması, insanlığı farklı enerji kaynakları arayışına itmektedir. Pazar payı bu denli büyük ve değişken olan aynı zamanda işlenmemiş petrole ulaşımın kısıtlı olduğu bu ortamda petrole alternatif olacak kaynaklara talep oldukça artmaktadır. Petrolün çevre kirliliğini artırdığı da göz önünde bulundurulduğunda sürdürülebilir temiz enerji kaynakları önemli bir yere sahiptir. Biyodizelin önemi tam olarak bu noktada ortaya çıkmaktadır. Sağlıklı ve sürdürülebilir enerji kaynağı arayışı dünya çapında biyodizelin önemini alternatif yakıt olarak arttırmaktadır.

Biyodizel üretiminin bazı kısıtlayıcı noktaları vardır. Dünyamızda biyodizel elde edilen bazı fıstık, kanola, aspir vb. yağların gıda dalında da mühim bir hammadde mamülü olması, bunu kısıtlayan en önemli etmenlerden biri olmaktadır. Yağ bitkilerden elde edilen yağlar biyodizelin hammadde kaynakları içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda alglardan elde edilen yağlar biyodizel üretiminde kullanılmaya başlamıştır (Durgut ve ark. 2015).

Microalgler, kurak bölgelerde yetiştirme seçeneğini de içermektedir. Aynı zamanda düşük kaliteli arazi, tuzlu su ve birçok türün tuz içinde yetiştirme kabiliyetleri bulunmaktadır (Chisti 2007, Griffiths ve Harrison 2009, Amaro ve ark. 2011).

Mikroalgler, çevre koşullarına kolaylıkla uyum sağlayan ve hızlı büyüme özellikleri ile geniş bir alana yayılan önemli bir türdür. Mikroalgler, protein, vitamin ve bazı türlerinin yüksek oranlarda yağ içermesinden dolayı gıda teknolojisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bazı türlerinde yüksek oranlarda yağ bulunmasından dolayı enerji teknolojisinde biyokütle hammaddesi olarak ele alınmakta ve biyodizel eldesinde kullanılmaktadır (Durgut ve ark. 2015).

Mikroalglerin tüm bu özellikleri sonucunda, yetiştirme yöntemleri de göz önünde bulundurularak otonom bir üretim süreci yapmanın yosun kalitesini arttıracak gibi üretiminde kolaylaşmasına sebep olacağı düşünülmektedir.

Bir fotobiyoreaktör sistemin otomatik kontrol edilebilmesi için tasarlanan bu sistemde kullanılan elemanlar ve bunların kullanıcı ile iletişimin nasıl yapılacağı, hangi fiziksel büyüklüklerin ölçüleceği ve aynı zamanda bunların nasıl değerlendirileceği hakkında çalışmalar yürütülmüştür. Burada sistem ile seri haberleşen bir ekran ve sistemin mesafe, renk, pH, ısı, otomatik gübre besleme, hasat zamanına karar verme gibi değerleri ölçebilen bir sistem tasarlamaya karar verilmiştir. Sistemin merkez noktası olarak Arduino Mega 2560 mikrodenetleyici kullanılarak hem esnek, bakımı ve değişimi kolay yapılabilecek hem de kolay programlanması gibi özelliklerinden faydalanılmıştır. Sistem esnek ve modüler, kullanılan cihazların uzun ömürlü ve bakımının kolay olması ile ön plana çıkmaktadır.

1.1. Araştırmanın Önemi

Mikroalgler diğer yağlık bitkilere göre daha hızlı büyümektedir ve yağca zengin içeriklere sahiptir. %10-50 arasındaki yağ içeriği oldukça yaygındır (Weiming ve ark. 2013). Günde, birim hacim mikroalgal kültürden üretilen yağ miktarı, yağ verimliliği demektir ve algal büyüme ile algin yağ içeriğine bağlıdır (Chisti 2007, Carioca ve ark. 2009).

Mikroalgler yaşadıkları çevre ile sıkı bir etkileşim halindedir. Işık, sıcaklık, besinler ve pH, mikroalgleri etkileyen en önemli parametreler arasında sıralanabilir. En uygun üretim için bu parametrelerin optimum seviyelerde olması gerekmektedir (Çizelge 1.1). Bu parametreler sadece fotosentezi ve verimliliği etkilemezler, aynı zamanda hücrel aktiviteyi ve dolayısıyla hücrel kompozisyonu da etkilerler (Richmond ve ark. 2004).

Çizelge 1.1. Mikroalg üretimine etki eden parametleri için genelleştirilmiş değerler (Coutteau 1996)

Parametreler	Aralık	Optimum
Sıcaklık (°C)	16-27	18-24
Tuzluluk (g.L-1)	12-40	20-24
Işık Yoğunluğu (lux)	1,000-10,000 (hacim ve yoğunluğa bağlıdır)	2,500-5,000
Fotoperiyot (aydınlık: karanlık, saat)	-	(min.) 16:8 (maks.) 24:0
pH	7-9	8.2 - 8.7

Mikroalglerin popülaritesi oldukça artmaktadır. Bu popülarite nedeniyle, mikroalg ürünlerinin tüketimi hızla artmakta ve mikroalglerin dengeli ve verimli üretiminin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, teknik ve mali sınırlamalar, mikroalgelerin istikrarlı kitlesel üretimi kolay bir iş değildir. Mikroalglerin büyüyen yerdeki çevresel koşullar üzerinde kesin kontrol ve gerekli malzemelerin zamanında tedarik edilmesi, mikroalgelerin istikrarlı büyümesi için en önemli şart olacaktır.

Çizelge 1.1’de mikroalg yetiştirilmesinin gereksinimlerinden bahsedilmiştir. Entegre şekilde yapılabilecek sistemde bu veriler göz önünde bulundurularak adımlar atılmıştır. Buna istinaden mikroalglerin yetiştirilmesinde sağlanacak ortam ve gereksinimler kütle ekimi ve otomatik mikrokontrolör sistemi ile sağlanabilir.

Mikroalgler, yenilenebilir enerji kaynakları olarak çeşitli avantajlar sunmaktadır. Enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için bazı yöntemler tercih edilebilir. Mikroalg biyo yakıtını ticarileştirmek için, mikroalg ürününün işlenmesinin maliyeti düşürülmelidir. Mikroalglerin toplu kültürü ve ekonomik olarak toplanması, işlem maliyetini düşüren yöntemlerdir.

Çeşitli kültür koşullarında mikroalg yetiştirme ve fizyolojik dinamikleri incelemek ve aynı zamanda kaynak kullanım verimliliğini optimize etmek için gerçek zamanlı bir izleme sistemi ve stratejisi uygulamak gereklidir. Mikroalg üretim ortamları için, biyokütle yoğunluğunun, mikroalglerin fizyolojik durumunun doğru ve zamanında ölçülmesi ve bunların, kültürün büyümesini ve ürünlerin kalitesini hassas bir şekilde kontrol etmek için geribildirim olarak kullanılması gereklidir. Örneğin, gerçek zamanlı bir izleme sistemi, sistem verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için kültürün hücre yoğunluğunu optimum aralıkta tutmak için bir mikroalg üretim tesisine entegre edilebilir. Çok düşük bir hücre yoğunluğu hasat maliyetini artıracaktır, buna karşın hücre yoğunluğu çok yüksek ise kültür için mevcut olan ışık miktarının azaltılması verimliliği düşürebilir (Puruhito 2014).

Parazitler, patojenler vb. bakteriler tarafından mikroalgelerin kirlenmesi her zaman büyük ölçekli mikroalg üretiminde önemli bir konudur. Çünkü biyokütle kaybı ve arzu edilen biyoürünle sonuçlanan bir ekim sisteminin çökmesine neden olabilmektedir (Carney ve Lane 2014, Jia 2015).

Bir fotobioreaktör için otomatik bir izleme ve kontrol sisteminin uygulanması, sürekli manuel ölçüm tekniklerinin ve yarı-sürekli veya sürekli veya aralık bazında gerekli verilerin elde edilmesi için gereken emek ihtiyacını ortadan kaldırır. Ayrıca, otomatik sistemin iyi kalibre edildiği ve muhafaza edildiği varsayılarak olası hatalar önlenebilir. Genel olarak, süreç, ürün

ve çevresel kontrol önemli ölçüde geliştirilebilir ve elde edilen bilimsel araştırma ve verilerin değeri iyileştirilebilir.

Otomatik bir sistemin sahaya göre önemi, etkinlik izleme ve kontrolünün uzun bir süre boyunca artan hassasiyetidir. Ölçüm doğruluğu ve hızı iyileştirilebilir ve ileride daha gelişmiş olması beklenebilir. Gelecekteki güncellemeler için otomatik bir sistemin diğer bileşenlerle uyum sağlaması için tasarım daima göz önüne alınmalıdır. Gelişmiş yazılım ve diğer bileşen güncellemeleri de dahil olmak üzere, analitik, elektronik ve bilişim alanlarındaki teknoloji ilerlemelerine ayak uydurabilmek için sistemin yükseltilmesi kolay olmalıdır. Bu yaklaşım, maksimum kullanım kolaylığı ve verimlilik sağlayan etkileşimli işletim sistemlerini garanti eder (Sonnleitner ve ark. 1991, Puruhito 2014).

1.2. Amaç

Araştırmacılar, doğal su kaynaklarından mikroalg toplama ile ilgili problemler nedeniyle, yapay yuvarlanma havuzları, basamaklı açık sistemler ve kapalı sistemler gibi kültür yöntemleri geliştirmişlerdir (Becker ve ark. 1994, Richmond ve Cheng-Wu 2000).

Yapılan araştırmalar ve uygulanan birçok örnek ile görülmektedir ki mikroalglerin bir yetiştirme otomasyonu tarafından üretmek oldukça avantajlıdır. Bu otomasyon sistemini esas alıp, gerçek zaman kontrollü, otonom çalışabilen ve girdi ve çıktıları görüntüleyip kontrol edebilen bir sistem oluşturmak amaçlanmıştır.

Bilindiği üzere birden çok mikroalg üretim şekli mevcuttur. Bunlar üç temel tasarımdan oluşmaktadır. Kapalı tip, yassı levha reaktörler ve borulu fotobiyoreaktörler. Mikroalglerin kapalı sistemlerde üretiminin hazırlanış, üretim ve üretim sonrasındaki aşamalarda çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Mikroalglerin fotobiyoreaktör ile bu şekildeki üretiminin amacı, genel anlamda yaşanan problemleri en aza indirmeye çalışmaktır. Sistemde tüm bunlar göz önünde bulundurularak panel tip fotobiyoreaktör kullanılmıştır.

Çeşitli kültür koşullarında mikroalg yetiştirme ve fizyolojik dinamikleri incelemek ve aynı zamanda kaynak kullanım verimliliğini optimize etmek için gerçek zamanlı bir izleme sistemi ve stratejisi uygulamak gereklidir. Mikroalg üretim ortamları için, biyokütle yoğunluğunun, mikroalglerin fizyolojik durumunun doğru ve zamanında ölçülmesi ve bunların, kültürün büyümesini ve ürünlerin kalitesini hassas bir şekilde kontrol etmek için geribildirim olarak kullanılması gereklidir. Üretime hazırlanış ve üretim sonrası gibi işlemlerin

uygulanabilirliğinin temeli üretim sırasındaki aksiyonlardır. Bu aksiyonlar göz önünde bulundurularak kültür koşulları seçilmiştir.

Gerçek zamanlı panel tip fotobiyoreaktör kullanarak sistemimizin optimasyonunu ve verimliliğini arttırmaktır.

Bütün bu faktörler gözönüne alındığında tez kapsamında, araştırmacıların gerçek zamanlı veri kaydı, izleme ve kontrol ile biyolojik araştırma yapmalarını sağlayacak kavramsal bir otomatik izleme ve kontrol sistemin tasarlanması hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Algler, tek ve çok hücreli şekillerden değişebilen, karakteristik olarak ototrofik organizmaların makro ve çeşitli gruplarındandır. En büyük ve en komplike deniz biçimlerine yosun denir. Bu organizmalar fotosentez yaparlar. Bununla beraber saplar, kökler ve diğer kara bitkilerinde bulunan yapraklar gibi birçok uzuvdan yoksundurlar (Graham ve Wilcox 2000).

Fotobiyoreaktör (FBR), fotosentetik alglerin kontrollü bir hücre süspansiyonunu ele geçirmek için tasarlanmış bir kültür havuzu olarak tanımlanabilir. Fotobiyoreaktörler açık ya da kapalı sistemler olarak sınıflandırılabilir. Açık hava sistemlerinin dört ana türü; sıg ve büyük göletler, tanklar, dairesel göletler ve oluk havuzlarıdır (Borowitzka 1999). Yaygın olarak kullanılan kapalı sistemler ise torba sistemleri, düz plaka reaktörleri ve boru reaktörleri bulunmaktadır. Her tasarımın avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Sermaye, kullanılan yosun çeşitleri, biyokütle verimi, enerji tüketimi, işletme harcamaları, çevre faktörleri ve sıcaklık kontrolü bu sistemlerin tercihlerinde önemli yer tutmaktadır (Puruhito 2014).

Kapalı FBR sistemler açık FBR sistemlere göre oldukça fazla avantajlara sahiptir. Açık sistemler ve göletlere göre 3 kat daha yüksek kaliteli ürün elde edildiği belirtilmektedir. Kapalı sistemlerdeki bu kazanç göz önüne alınarak kapalı FBR sistemi olarak tasarlanmıştır (Chaumont 1993, Carvalho ve ark. 2006). Çizelge 2.1’de açık ve kapalı tip FBR’lerin temel tasarım özellikleri belirtilmiştir.

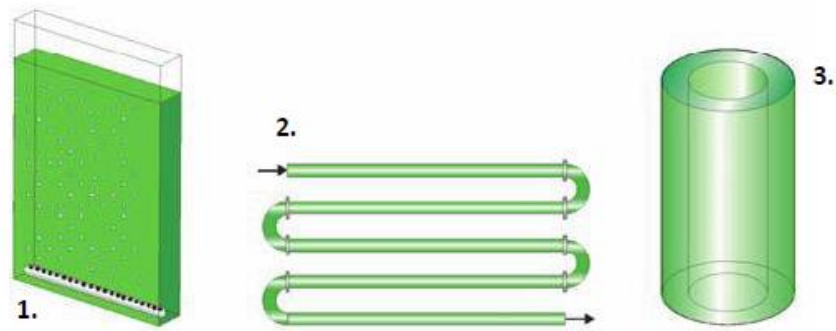
Çizelge 2.1. Açık ve kapalı büyüme sistemlerinin temel tasarım özellikleri (Carvalho ve ark 2006)

Özellik	Açık Sistemler	Kapalı Sistemler
Alan-hacim oranı	Büyük (kapalı sistemlere göre 4 kat daha büyük)	Küçük
Alg türleri	Kısıtlı	Esnek
Nüfus yoğunluğu	Düşük	Yüksek
Hasat verimliliği	Düşük	Yüksek
Hasat dönemi	Sınırlı	Genişletilmiş
Kirlilik	Olabilir	Olamaz
Buharlaştırma yoluyla su kaybı	Olabilir	Önlenilebilir
Işık kullanım verimliliği	Zayıf/Uygun	Uygun/Mükemmel
Gaz transferi	Zayıf	Uygun/Yüksek
Isı kontrolü	Yok	Mükemmel

En pahalı parametreleri	Karışımı	Oksijen ve ısı kontrolü
Sermaye	Düşük	Yüksek

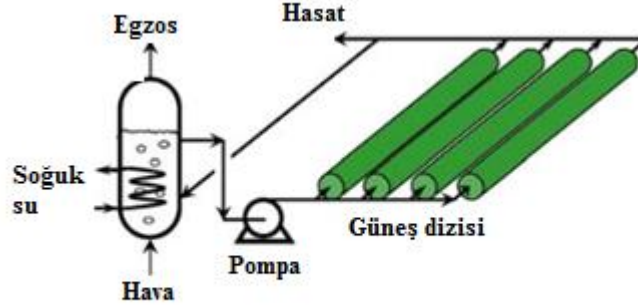
Çizelge 2.1’den de faydalanarak görülmektedir ki kapalı tip FBR’lerin pH, sıcaklık, aydınlatma yoğunluğu, kalite ve hasat süresi bazında en uygun yetiştirmeye sahip olduğu atfedilmektedir. Kapalı sistemler kirleticileri ve istenmeyen mikroorganizmaları önler. Kapalı sistemler istenmeyen mikroorganizmaların ve kirleticilerin kültüre zarar vermesini engellemektedir. Nihai ürünlerin kalitesini iyileştirmeye yardımcı olmakla birlikte kültürün çökme olasılığını azaltmaktadır. Ayrıca, sistem buharlaşmasını önlemekte ve kullanılmayan CO₂’yi kurtarabilmektedir (Loannis ve ark. 2015). Tüm bunlarla beraber kapalı sistemlerin sermaye yatırımı ve işleme maliyeti epey yüksektir. “Kayıpların en aza indirilerek bu zaafın ortadan kaldırılacağı bir sistem yapılabilir mi?” sorusuna cevap aramak için bu çalışma gerçekleştirilmiştir (Richardson ve ark 2012). Şekil 2.1’de kapalı tip fotobiyoreaktörlerin çeşitlerine değinilmiştir.

Otomatik denetim sistemlerinin, günümüzde en gelişmiş toplumların tercih ettiği, günlük yaşamına girdiği ve hemen hemen her alanda kullanıldığı gözlenebilmektedir. Herkesin kullandığı bulaşık makineleri, çamaşır makineleri, endüstriyel ve araştırma aalanında kullanılan robotlar, mikrodenetleyiciler, bilgisayarlar, uzay taşıtları ve araçları gibi denetim sistemleri üretimi ve üretim kalitesini sürekli arttırmada kullanıldığı gibi yaşamımızı sürekli olarak etki etmektedir. Denetim sistemleri herhangi bir endüstri toplumunun tamamlayıcı bir parçası olup artan nüfusun sınırsız ihtiyaçlarını üretmek için gereklidirler (Salim 2014).



Şekil 2.1. Üç ana tipte fotobiyoreaktör tasarımı. 1. Düz plaka, 2. Boru şeklinde, 3. Kabarcık sütun (Schenk ve ark. 2008)

Boru formunda fotobiyoreaktörler (Şekil 2.2), çoğunlukla plastik ve camdan imal edilmiş saydam tüplerden oluşur. Boru şeklindeki reaktörlerin güneş ışığını daha yüksek yakaladığı gözlemlenmiştir (Chisti 2007). Bununla beraber boru formundaki fotobiyoreaktörde de bazı olumsuz durumlar oluşmaktadır. Bu olumsuz durumlar panel tip fotobiyoreaktöre göre daha dezavantajlı olduğundan bu tip FBR tercih edilmemiştir.



Şekil 2.2. Paralel ve yatay forma sahip boru şeklindeki bir fotobiyoreaktör (Chisti 2007)

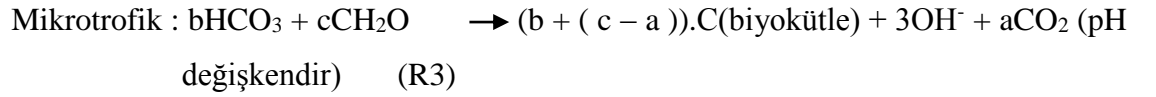
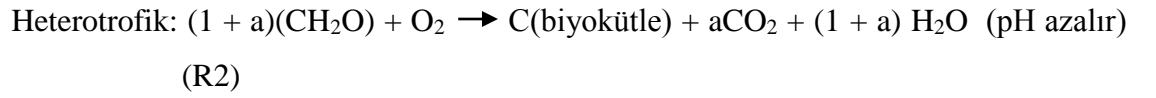
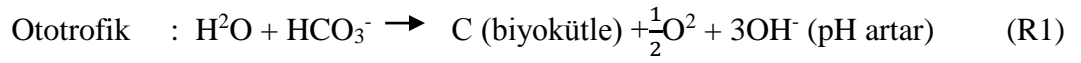
Düz plaka fotobiyoreaktörler, ışığın düzgün dağılımı nedeniyle yüksek üretkenliğe ve verimliliğe etki eden alan-hacim oranı oldukça etkili bir geometriye sahip olacak şekilde tasarlanmıştır (Fernandez ve ark. 2013). Bu tip fotobiyoreaktörün avantajları biyokütle üretim verimi yüksektir, sterilizasyonu kolaydır, yüzey alanı büyüktür, sistemde O₂ birikimi azdır, güneş ışığına karşı yönlendirilebilir, kültürlerin kontaminasyon riski düşüktür, alan ihtiyacı azdır şeklinde sıralanmaktadır. Dezavantajları ise mikroalgler yüzeye tutunma eğilimindedir, sıcaklık kontrolü zordur, açık sistemlere göre kurulumu maliyetlidir, ölçek büyütme zordur şeklinde belirtilmektedir (Elçik ve Çakmakçı 2017).

Kontrollü bir ortamda yosun yetiştirmenin en önemli hedeflerinden biri, algal biyokütle üretmektir. Algal biyokütle, nötr lipidin (biyodizel için önemli bir terim) ayrılabilirliği toplam lipid ayrışması içermektedir. Bu nötr lipid ayrışması ulaşım yakıtlarının üretimi için kullanılmaktadır. Algleri büyütmek için fotobiyoreaktörlerin çalışması bir fotosentez prosesine dayandığından ışığın ve ısının önemi oldukça büyüktür. Yosunlar 20°C ile 35°C arasındaki bir sıcaklıkta yetişirler (Puruhito 2014).

Gerçek zamanlı izleme sistemi, istenecek çeşitli kültür koşullarında büyüme ve fizyolojik ihtiyaçların yanı sıra kaynak kullanım verimliliğini de sabit tutmaya yarar. Mikroalg üretimi için biyokütle yoğunluğu, mikroalgin fizyolojik durumunun doğru ve zamanında ölçülmesi kültürün büyümesini ve kalitesini kontrol edilmesi için geri bildirim olarak kullanılması gereklidir. Büyük ölçekli mikro üretimlerde parazitler, grazer ve patojen bakteriler

biyokütle ve biyoürünlerin kaybına sebep olmaktadır (Carney ve Lane 2014). Aynı zamanda bu sistem mikro kültür sisteminin fizyolojik ve çevresel şartları elde etmek için bir ortam sağlar. Büyük ölçekli üretim sistemler, minimum kaynak kullanımı, hasat ve hammadde durumu optimizasyonu açısından etkili karar verme ve ışık, sıcaklık, pH, oksijen seviyesi vb. üretim yönetiminden kar etmek ve ekonomik kayıpları önlemek veya en aza indirmek için çok önemlidir (Pawlowski ve ark. 2014).

Ortamın pH değeri şartlara göre değişim göstermektedir. Ototrofik, heterotrofik ve miksotrofik şartlarda pH değişiminin metabolik reaksiyonları reaksiyon 1 (R1), reaksiyon 2 (R2) ve reaksiyon 3 (R3)'te verilmiştir.



Ototrofik mikroalgler, inorganik karbonu kullanırlar ve hidroksil üreterek pH'ı yükseltirler. Heterotrofik mikroalgler, organik karbonu kalkanırlar ve CO₂ üreterek pH'ı düşürürler. Miksotrofik mikroalgler eş zamanlı olarak hem organik hem de inorganik karbonu kullanırlar ve pH değeri değişkenlik göstermektedir (Elçik ve Çakmakçı 2017).

Bilindiği üzere pH bir çözeltinin asitliğini ya da alkalitesini ölçülendirmeye yarayan bir ölçü birimidir. Bu ölçü birimini çözelti içerisinde değişikliğe uğratmak için kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Mikroalg yetiştiriciliğinde en çok kullanılan yöntem olan CO₂ ile pH değeri değiştirme işlemi tercih edilmiştir. Bu yöntem kullanıldığında ortamdaki ısı ve pH değeri değişmektedir. Aynı zamanda büyüyen ve gelişen mikroalgler ortamlarını asidik bir ortama çevirmektedirler. Kontrol sistemine belirli zaman aralıklı yapılacak kontrol ile enjekte edilecek CO₂ miktarını belirlemek için pH değeri kullanılır. Bu değer kullanılan kontrol teknikleri ile belirlenmektedir. Bu nedenle, etkili CO₂ kullanımı ile mikroalglerin büyümesi için en uygun koşulları sağlama maksadıyla gelişmiş bir kontrol tekniği kullanılabilir (Ketheesan ve Nirmalakhandan 2012).

Mikro alglerin hasat işlemleri birden fazla yöntemle yapılmaktadır. Çizelge 3'te bunlar gösterilmektedir (Barros ve ark. 2015).

Çizelge 2.2. Hasat çeşitleri ve yöntemleri

No	Hasat Çeşidi	Yöntemi	Kaynaklar
1	Koagülasyon/ Flokülasyon (Coagulation / Flocculation)	Kolloid halde ve askıdaki maddelerin, bazı koagülantların (kimyasal madde) eklenmesi ile çökebilir hale getirilmesi işlemi	(Barros ve ark. 2015).
2	Flotasyon (Flotation)	Partiküller maddelerin hava kabarcıkları ile yukarı yönde ayrıştırılması (ters çökeltme) işlemi	(Barros ve ark. 2015).
3	Elektrik Esaslı Yöntemler (Electrical Based Methods)	Kimyasal gerektirmediği için çevre dostu bir yöntemdir. Kullanılan elektrod tipine göre hasat verimi değişen bir yöntemdir.	(Barros ve ark. 2015).
4	Biyoflokülasyon (Bioflocculation)	Mikroalglerin sentezlediği biyopolimerlerle gerçekleşmektedir.	(Barros ve ark. 2015).
5	Santrifüj (Centrifuge)	Hızlı bir hasat yöntemidir. Enerji harcamasının yüksek olması sebebiyle pek tercih edilmemektedir.	(Pragya ve ark. 2013) (Rawat ve ark. 2013)
6	Membran Filtrasyonu (Membrane Filtration)	Kimyasal madde ihtiyacı bulunmamaktadır. Santrifüje oranla daha ucuz bir yöntemdir. Algal biyokütlenin tamamına yakını tutulmaktadır.	(Bilad ve ark. 2012)
7	Yerçekimi Çöktürme (Gravity Settling)	Basit ve ucuz bir yöntemdir. Zamana ihtiyacı vardır ve biyokütlenin bozulma ihtimali vardır.	(Elçik ve Çakmakçı 2017)

Yağ ekstraksiyonu için kullanılacak olan yöntemin dezavantaj ve avantajlar dikkate alınarak en uygun yöntem seçilmelidir (Elçik ve Çakmakçı 2017).

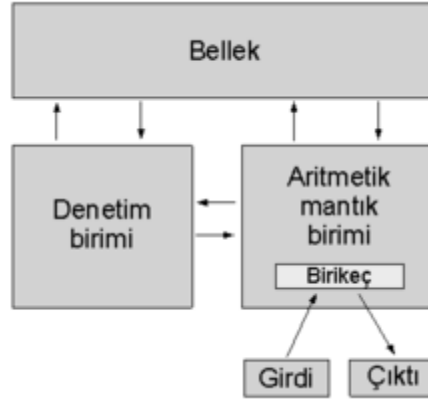
Çizelge 2.3'teki çeşitli mikroalg türlerinin verimliliği ve yağ üretkenlikleri verilmiştir. Bu biyoyakıt anlamında önemli olan veriler göz önünde bulundurularak yetiştirilecek mikroalg türü seçilmiştir. Verimlilik ve yağ üretkenliklerine bakılarak ve temin edilebilirlik göz önüne alındığında fotobiyoreaktör sisteminde yetiştirmek için *Nannochloropsis oculata* türü kullanılmıştır.

Çizelge 2.3. Çeşitli mikroalg türlerinin verimliliği ve yağ üretkenlikleri (Mata ve ark. 2010)

Mikroalg türü	Yağ içeriği (% kuru ağırlık biyokütle)	Yağ üretkenliği (mg/L gün)	Biyokütlenin hacimsel üretkenliği (g/Lgün)	Biyokütlenin alansal üretkenliği (g/m² gün)
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	24.0–31.0	–	–	11.5–17.4
<i>Botryococcus braunii</i>	25.0–75.0	–	0.02	3.0
<i>Chaetoceros muelleri</i>	33.6	21.8	0.07	–
<i>Chaetoceros calcitrans</i>	14.6– 16.4/39.8	17.6	0.04	–
<i>Chlorella emersonii</i>	25.0–63.0	10.3–50.0	0.036–0.041	0.91–0.97
<i>Chlorella protothecoides</i>	14.6–57.8	1214	2.00–7.70	–
<i>Chlorella sorokiniana</i>	19.0–22.0	44.7	0.23–1.47	–
<i>Chlorella sp.</i>	10.0–48.0	42.1	0.02–2.5	1.61–16.47/25
<i>Chlorella</i>	18.0–57.0	18.7	–	3.50–13.90
<i>Chlorococcum sp.</i>	19.3	53.7	0.28	–
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20.0–51.1	–	10	–
<i>Dunaliella salina</i>	6.0–25.0	116.0	0.22–0.34	1.6–3.5/20–38
<i>Dunaliella sp.</i>	17.5–67.0	33.5	–	–
<i>Ellipsoidion sp.</i>	27.4	47.3	0.17	–
<i>Isochrysis sp.</i>	7.1–33	37.8	0.08–0.17	–
<i>Monodus subterraneus</i>	16.0	30.4	0.19	–

<i>Nannochloris sp.</i>	20.0–56.0	60.9–76.5	0.17–0.51	–
<i>Nannochloropsis oculata.</i>	22.7–29.7	84.0–142.0	0.37–0.48	–
<i>Nannochloropsis sp.</i>	12.0–53.0	37.6–90.0	0.17–1.43	1.9–5.3
<i>Neochloris oleoabundans</i>	29.0–65.0	90.0–134.0	–	–
<i>Pavlova salina</i>	30.9	49.4	0.16	–
<i>Pavlova lutheri</i>	35.5	40.2	0.14	–
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	18.0–57.0	44.8	0.003–1.9	2.4–21
<i>Porphyridium cruentum</i>	9.0– 18.8/60.7	34.8	0.36–1.50	25
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1.9–18.4	35.1	0.19	–
<i>Scenedesmus sp.</i>	19.6–21.1	40.8–53.9	0.03–0.26	2.43–13.52
<i>Skeletonema sp.</i>	13.3–31.8	27.3	0.09	–
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	20.6	17.4	0.08	–
<i>Tetraselmis suecica</i>	8.5–23.0	27.0–36.4	0.12–0.32	19
<i>Tetraselmis sp.</i>	12.6–14.7	43.4	0.30	–

Mikrodenetleyici mimarileri hafıza organizasyonu açısından ya da komut işleme tekniği açısından sınıflandırılabilir. Hafıza organizasyonu açısından mikrodenetleyiciler Von Neuman ve Harvard olmak üzere iki mimari üzerine tasarlanır. Geçmişte Von Neuman mimarisi tercih edilse de 1970’li yılların sonlarında Harvard mimarisi mikrodenetleyici tasarımında standart hale gelmiştir. Günümüzde bu iki mimari yapının özelliklerini de içeren mikrodenetleyiciler (MAXQ ailesi) de bulunmaktadır. Von Neuman mimarisinde tümleşik tek bellek bulunur. Yani veri ve program alanı aynı hafıza haritası üzerinde bulunur. Bu mimari 80X86, 68HC11, v.b. işlemcilerde kullanılmıştır. Personel Computer (PC) olarak bilinen kişisel bilgisayarlar arasında bu mimari bir standart hale gelmiştir. Şekil 2.3’te Von Neuman mimarisinin blok diyagram ile iç yapısı gösterilmiştir (Çağatay 2015).



Şekil 2.3. Von Neuman mimarisi (Çağatay 2015)

Ultrasonik ses sensörü ile sıvı veya çözelti hacimsel yüksekliği bulunabilmektedir. Ultrasonik ses ve ultrasonik sensörlerinin tanımları teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

Ultrasonik ses, çevrede ses dalgalarının yayılması olayıdır. Bu olay mekanik titreşimlerin ortamda ilerleyerek yüzeye çarpması ile son bulur. Ultrasonik dalga yayılımı gaz, sıvı ve katılarda olabilir. Bu dalga çeşidi için genellikle 20 kHz'den yüksek bir ses frekansı uygun görülür. Kullanımına göre ultrason iki çeşitte kullanılır:

Aktif ultrasonik dalga, uygulandığında kimyasal ya da fiziksel etkiler oluşturur. Kullanım yerlerine örnek olarak ise, yüzey temizleme, kaynak ve delme işlemleri olarak gösterilebilir.

Pasif ultrasonik dalga ise, çıkışı çok daha düşük (genellikle küçük) değerlerde üretilir. En sık ve ana uygulama alanları, mesafe ölçümü, komponentlerdeki kusurları ve malzemelerin kalınlığını ve sıvıların ve gazların akışını tespit etmekte kullanılır. Ses hızı ortam türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Koval ve ark. 2016). Ortam türleri ve ses hızları Çizelge 2.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.4. Malzemeye göre ses yayılım hızı (Koval ve ark. 2016)

Gazlar		Katılar		Sıvılar	
(m/s)		(m/s)		(m/s)	
Hava(0°C)	331	Al	5100	Su (20°C)	1481
Hava(20°C)	343	Çelik	5000	Su (25°C)	1497
He (25°C)	965	Beton	1700	Benzin(20°C)	1170
H (25°C)	1284	Cu	3500	Hg (25°C)	1450
He – Helyum		Cu - Bakır			
H – Hidrojen		Hg - Civa			
Al – Alüminyum					

Mikrodenetleyicili ve PLC’li (Programmable Logic Controller) sistemlerin gelişmiş olan bilgisayar kontrollü sistemler içlerinde gelişmiş mikroişlemciler bulundurmaktadır. Yazılım için hafıza sorunu bulunmadığından çok daha gelişmiş yazılımlar, sistem kontrolleri ve istatistiksel veriler elde etmek, geçmişe dönük verilere ulaşmak çok daha kolay olmaktadır. Buradaki tek sıkıntı, çalışma alanının fiziki koşulları olmaktadır. Yani bilgisayarın nemli, tozlu ve kimyasal maddelerin bulunduğu alanlarda ömürlerinin çok kısa olması sebebiyle, bilgisayarı çalışan sistemin biraz dışarısına almak gerekmektedir (Ciğer 2010).

Mikrodenetleyiciler için özel tasarlanmış kodlama çeşitleri bulunmaktadır. Bir mikrodenetleyiciyi çalıştırmak istiyorsanız programlama konusuna hakim olmanız gerekmektedir. Programlama dillerindeki komutlar yardımı ile program oluşturulur ve bir derleyici arayüz yardımı ile mikrodenetleyici programlanabilir.

Mikrodenetleyicilerde makine dili işlemcinin programlanabildiği, görevlendirebildiği bir dildir. Makine dili sadece hexadesimal sayı sisteminin içerdiği sayılardan oluşabilmektedir. Dosya uzantısı .hex olarak adlandırılır. Makine dilleri başlıca şu şekilde sıralanabilir:

1. Assembly Dili
2. C programlama Dili
3. Basic Programlama Dili

C dili, Dünya çapında en çok kullanılan en yaygın olan dildir. Mikrodenetleyici programlanmasında ise oldukça anlaşılabilirlik ve kolaylık sağlamaktadır. Tüm bunların haricinde mikrodenetleyicinizi hangi dilde programlarsanız programlayın derleyici bu kodları

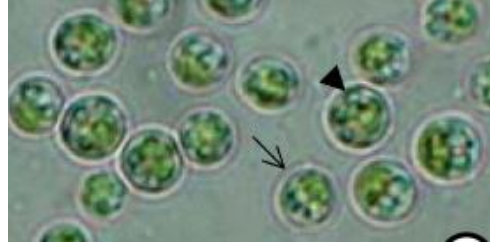
makine diline çevirmektedir (Özdemir 2017). Bizde bu çalışmamızda C dili ile mikrodenetleyiciyi kullanmayı tercih ettik.

Mikro konsantrasyonu ölçmek için birçok sensör tasarlanmıştır. Bunlar piyasada bulunmaktadır. Hydrolab, OSIL, YSI , OTT Hydromet ve EXO firmaları her birinin çalışma prensipleri aynı olan mavi-yeşil alg sensörleri geliştirdiler. Bu sensörler aslında canlı algal hücrelerdeki klorofilin renk değerini ölçen florometrelerdir. Böylece, büyüme parametrelerini gerçek zamanlı izlemek için entegre bir sistemin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Aynı zamanda ticari üretim için adımları hızlandırmıştır. Üretim süreçlerini gerçekleştirmek ve maliyetleri azaltmak için farklı sensörler yardımı ile de izleme sistemleri gerçekleştirilebilir (Fei 2015).

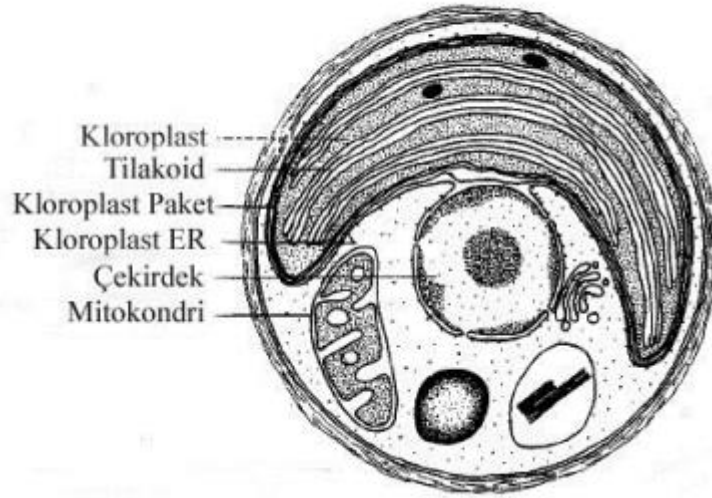
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Yetiştirilen Mikroalg Tipi

Araştırmada materyal olarak, yağ içeriği, yağ üretkenliği, biyokütlenin hacimsel ve alansal üretkenliği göz önünde bulundurularak, *Nannochloropsis oculata* (Şekil 3.1) mikroalg türü kullanılmıştır. Kullanılan mikro alg türünün hücre ince yapısı ise Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. *Nannochloropsis oculata* faz kontrastı (Jin-Chywan Gwoa Ju ve ark. 2005)



Şekil 3.2. *N. oculata*'nın hücre ince yapısı (Maruyama ve ark. 1986)

3.2. Mikroalg Besin Ortamı

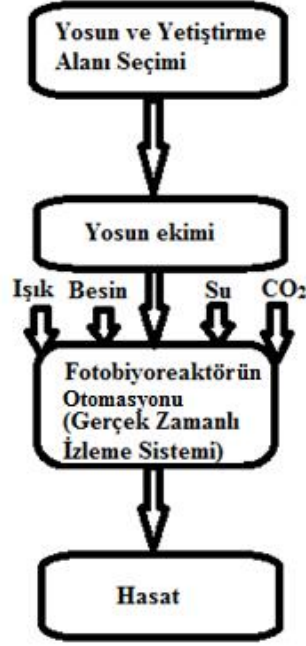
Mikroalglerin yetiştirilmesi için Çizelge 3.1’de verilen F/2 besin ortamı kullanılmıştır. (Durgut ve ark. 2015). F/2 solüsyonu mikroalgler için bir gübre görevi görmektedir.

Çizelge 3.1. Nannochloropsis sp. üretimi için kullanılan besin ortamı (F/2) (Durgut ve ark 2015)

F/2 solüsyonu		F/2 İz Element Solüsyonu		F/2 Vitamin Solüsyonu	
Kimyasal Bileşik	Miktar (g)	Kimyasal Bileşik	Miktar (g)	Kimyasal Bileşik	Miktar (g)
NaNO ₃	75 g	MnSO ₄ .H ₂ O	18 g	Thiamin	2 g
Na ₂ HPO ₄ .7H ₂ O	5 g	CoCl ₂ .6H ₂ O	1 g	B12	0,1 g
FeCl ₃ .6H ₂ O	3,15 g	CuSO ₄ .5H ₂ O	1 g	Biotin	0,1 g
Na ₂ EDTA	4,35 g	ZnSO ₄ .7H ₂ O	2,2 g	Saf su	1000 ml
İz element solüsyonu	10 ml	NaMoO ₄ .2H ₂ O	0,6 g		
Vitamin solüsyonu	0,1 ml	Saf su	1000 ml		
Tatlı su	1000 ml				

3.3. Mikroalg Üretim Algoritması

Araştırmada kullanılan fotobiyoreaktör sisteminin algoritması genel olarak Şekil 3.3'te açıklanmıştır. İşleyiş, yosun ve yetiştirme alanı seçimi ile başlar. Bunu yosun ekimi, gerekli ortamın sağlanması, fotobiyoreaktör (gerçek zamanlı sistem) yapımı izler. Bunların peşinden ise sistemin hasat zamanını otonom belirlediği bir otomasyon sisteminden mikroalglerin hasatı ile sonuçlanır.



Şekil 3.3. Mikroalg üretim algoritması

3.4. Fotobiyoreaktör Sistemleri

Araştırmada hem açık sistemlere göre hem de diğer kapalı sistemlere göre daha kolay temizlenmesi, havalandırma işleminin daha kolay olması ve maliyetlerinin diğer sistemlere göre daha düşük olmasından dolayı panel tip fotobiyoreaktör kullanılmıştır (Şekil 3.4) (Richmond ve Zou 1999).

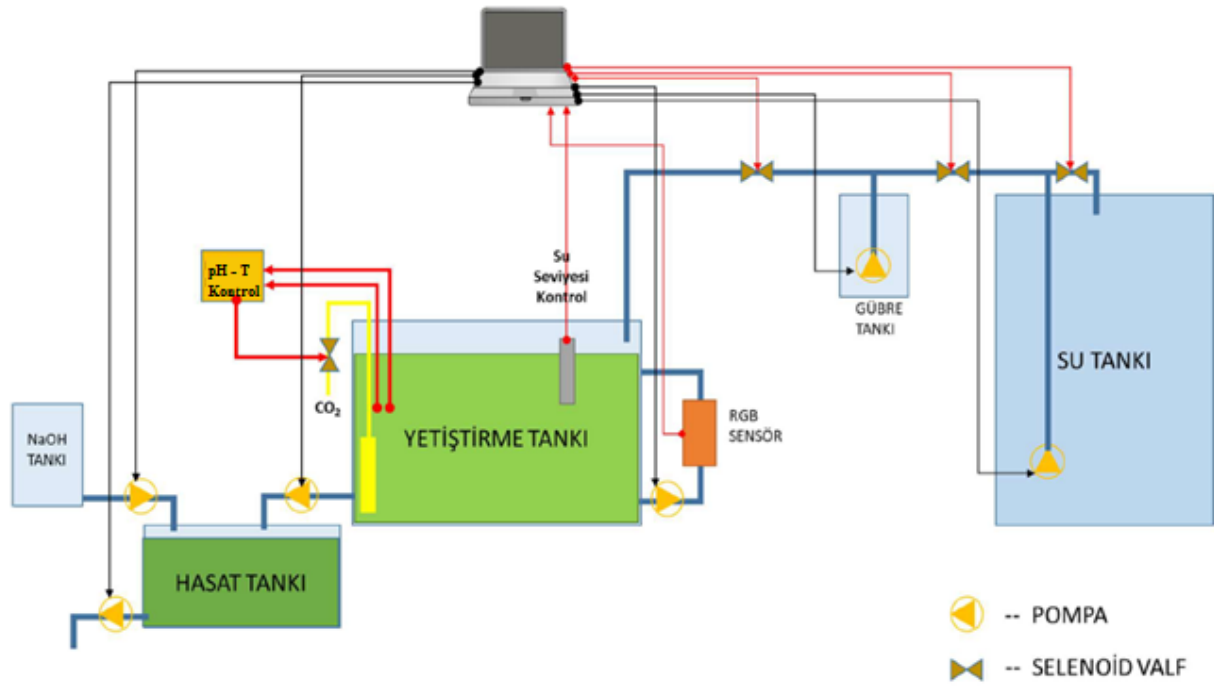


Şekil 3.4. Kullanılan fotobiyoreaktör

3.5. Kontrol Sistemi

Sistemde güç kaynağı olarak giriş değerleri 220V, çıkış değerleri ise 12V/5A 60W güç kaynağı tercih edilmiştir. Bunun yanında anakontrolörü beslemek için LM2596 5V 30A çıkış verebilen ayarlı DC/DC dönüştürücü kullanılmıştır.

Gerçek zamanlı fotobiyoreaktör sistemi teknik olarak tasarımı yapılırken, planlanırken Şekil 3.5'ten faydalanılmıştır.



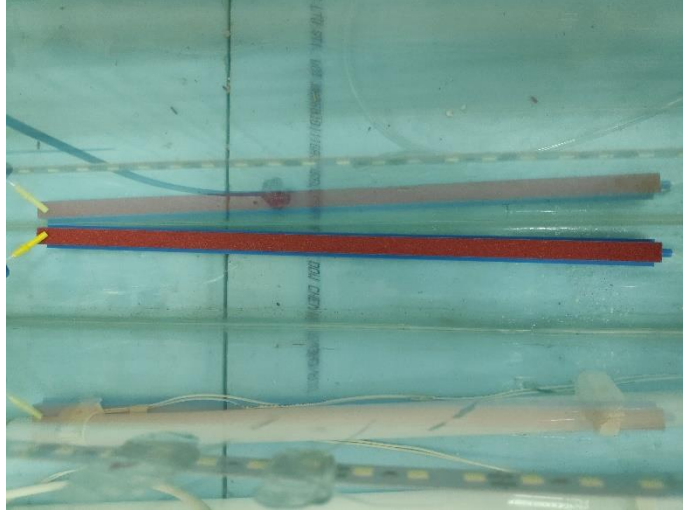
Şekil 3.5. Tasarımı yapılan otomatik kontrol sisteminin şematığı

Sistem ana kontrolör üzerinden başlatıldığında ilk olarak çalışan bir adet devir daim motoru (Şekil 3.6) kullanılmıştır. Bu motorun görevi besleme ünitesindeki suyun yosunlanmasını engellemektedir.



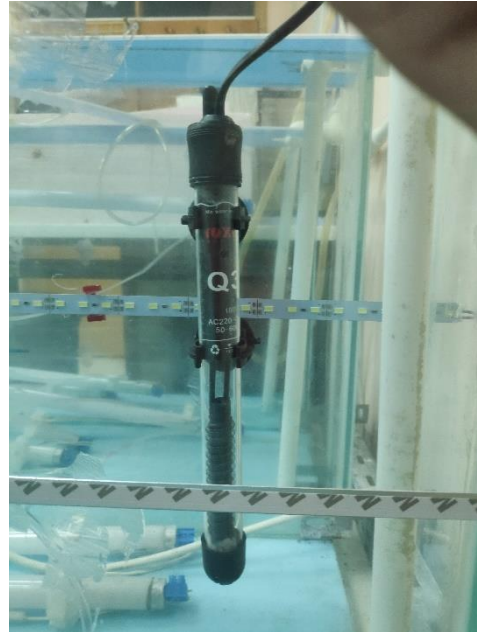
Şekil 3.6. Devir daim pompası

CO₂ beslemesi hava taşı üzerinden verilecektir. Hava taşı (Şekil 3.7) yetiştirme tankının en altına yerleştirilmiştir. Bunun sebebi ise CO₂ uygulandığında aynı zamanda yetiştirme tankının içerisinde yetişen mikroalglerin karışım işlemini tamamlamaktır.



Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan hava taşı

Fotobiyoreaktör çalışması boyunca suyun sıcaklığı, elektrikli ısıtıcı (Şekil 3.8) yardımı ile mikroalg türünün yetiştirilmesi için optimum sıcaklık olan 25 ° C'de sabit tutulmuştur (Zitelli ve ark. 2003, Dipasmita ve ark. 2011).



Şekil 3.8. Araştırmada kullanılan elektrikli ısıtıcı

3.6. Sistemde Kullanılan Sensörler

Yetiştirme tankının içerisindeki pH değeri, fotobiyoreaktör sistemine CO₂ gazı dahil edilmesi ile 7 ve 8 arasında ayarlanmıştır (Richmond ve Cheng-Wu 2001). Kullanılan pH sensörünün teknik verileri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. DF robot firmasının bazı prop çeşitleri

Elektrot tipi	pH aralığı	Sıcaklık (°C)	Sıfır Noktası (pH)	Tepki Süresi (dak)	Gürültü (mV)
65-1	0-14	0-80	7 ± 1	<2	-
BX-5	0-14	0-80	7X 11 ±	<2	-
E-201	0-14	0-80	7 ± 0.5	<2	<0,5
E-201-Cı	0-14	0-80	7X ± 0.5	<2	<0,5
95-1	0-14	0-80	7X ± 0.5	<2	<0,5
E-900	0-14	0-80	7X ± 0.5	<2	<0,5

Sistemde pH ölçümü yapabilmek için DF Robot firmasının ürettiği Çizelge 3.2’de teknik özellikleri verilen E-900 pH probu ve amplifikatörü kullanılmıştır.

Kullanılan pH probunun (Şekil 3.9) özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.9. Kullanılan pH probu – E900

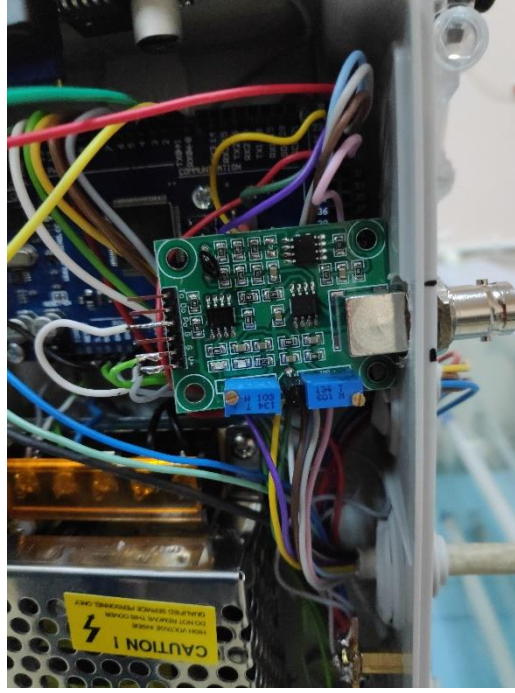
Çizelge 3.3. pH probunun teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değerler
Çalışma Gerilimi	5V
Model Boyutu	43mm x 32mm
Ölçüm Aralığı	0 – 14 pH
Ölçüm Sıcaklığı	0 – 60 °C
Hassasiyet	± 0.1 pH (25 °C)
Tepki Süresi	Min 1dk
pH Sensörü Bağlantı Tipi	BNC Konnektörü
Kazanç Ayarı	Potansiyometre
On – OFF	Led Gösterge
Sensör Kablo Uzunluğu	660mm

Teknik özellikleri verilen pH probunun ölçümleri sağlıklı yapabilmesi ve çalışabilmesi için Çizelge 3.4’teki bağlantı noktalarına dikkat edilerek irtibatlandırılmıştır (Şekil 3.10).

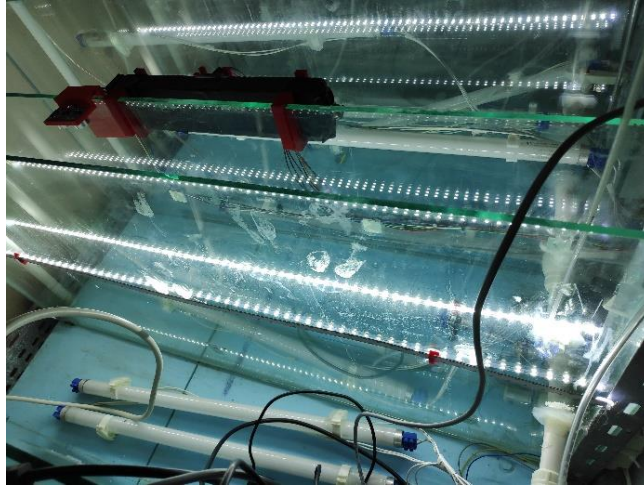
Çizelge 3.4. pH probu bağlantı noktaları

Pinler	Özellikleri
To	Sıcaklık
Do	Limit pH Sinyali
Po	Analog pH değeri
G	Analog GND
G	GND
V+	5V



Şekil 3.10. pH prob modül kartı

Yetiştirme tankının aydınlatma denemelerinde en yüksek ışık şiddetine sahip olan ve yetiştirme parametreleri üzerine olumlu etki yapan beyaz ışık, sistemin uygulanışında da ışık kaynağı olarak seçilmiştir (Şekil 3.11).

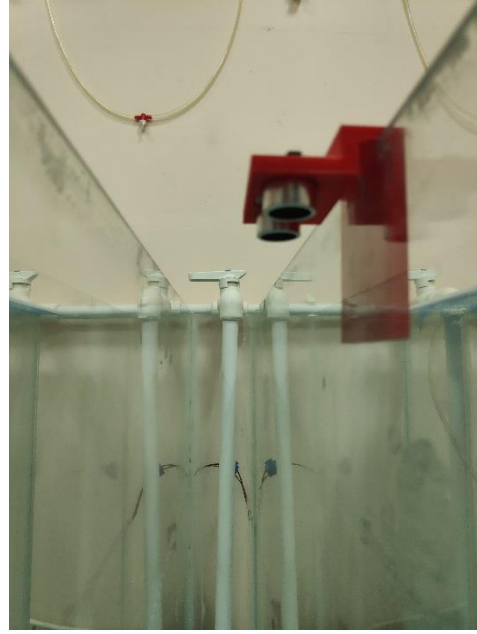


Şekil 3.11. Aydınlatma ünitesi

Ultrasonik mesafe sensörü fotobiyoreaktör sisteminin yetiştirme tankı içerisindeki sıvı seviyesini ölçerek, su tankından yetiştirme tankına su alışverişinin yolunu açmak için kullanılmıştır (Şekil 3.12).

Ultrasonik sensörler kısa mesafede ses dalgası gönderme ve iletilen ses dalgasının madde üzerinden yansıyan sinyali alma arasındaki süreyi ölçme ilkesine göre çalışmaktadır.

(Koval 2016). Ultrasonik sensör olarak HC-SR04 kodlu ürün kullanılmıştır. Bunun tercih edilmesinin sebebi sıvılarda ultrasonik dalganın daha etkin ve sağlıklı bir şekilde yansıtabilmesidir. Teknik özellikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.



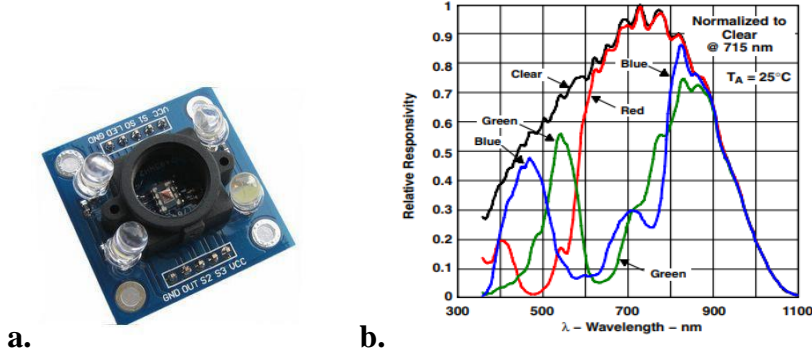
Şekil 3.12. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü

Çizelge 3.5. HC-SR04 sensörünün teknik özellikleri

Özellik	Değer	Özellik	Değer
Hassasiyet	0.3 m	Çalışma Akımı	15mA
Etkili olabildiği açı	<15	Çalışma Frekansı	40Hz
Nominal akım	<2mA	Tetikleme giriş sinyali	10µS TTL pulse
Algılama mesafesi	2 – 450 cm	Echo giriş sinyali	TTL seviyesi sinyali ve oran aralığı
Çalışma Gerilimi	DC 5V	Boyut	15*20*15 mm

Bu çalışmada, gerçek zamanlı fotobiyoreaktör sisteminde hasat zamanına karar verebilmek için rengi ölçebilen bir sensör sisteme entegre edilmiştir. Programlanabilen TCS3200 kodlu renk sensörü (Şekil 3.13) kullanılmıştır. TCS3200 renk algılama sensörünü sisteme akuple edebilmek için bağlantı noktalarına dikkat etmek gerekmektedir. Sensörün irtibatlandırılma fonksiyonları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

TCS3200 renk sensörü renk okuma işlemini bir foto diyot ile yapmaktadır. Foto diyot “Kırmızı”, “Mavi”, “Yeşil” ve “Tip yok” olmak üzere dört farklı fonksiyonlarda çalıştırabilmektedir (Çizelge 3.7). Üç ana renk sırası ile okunur ve kaydedilir.



Şekil 3.13. a. TCS3200 renk sensörü, b. Renk dalga boyu (TAOS 2009)

Çizelge 3.6. RGB (Red Green Blue) renk ölçüm sensörü bağlantı fonksiyonları

Bağlantı		Giriş/Çıkış	Açıklama
İsim	No		
GND	4	-	Güç kaynağı eksi ucuna bağlayacak.
OE	3	G	Sensörün aktif etme ucu (0 beslemesi ile aktif olur)
OUT	6	O	Çıkış frekansı
S0, S1	1, 2	G	Çıkış frekansı ölçekleme seçim girişleri
S2, S3	7, 8	G	Foto diyot tipi seçim uçları
V _{DD}	5	-	5V besleme ucu

Çizelge 3.7. Foto diyot tip seçimi

S2	S3	Foto Diyot Tipi
L	L	Kırmızı
L	H	Mavi
H	L	Tip yok
H	H	Yeşil

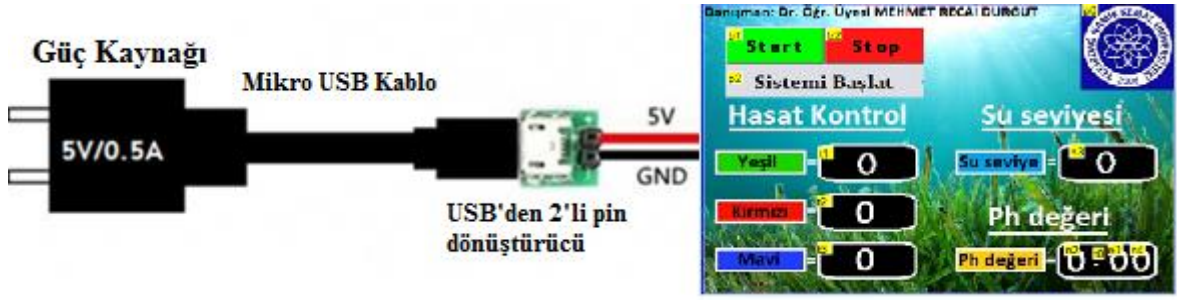
3.7. Kullanıcı Arayüzü

Sistemin kullanıcıya mesaj vermesi, bilgilendirmesi, gerçek zamanlı takibini yapmasını kolaylaştırıcı dokunmatik renkli ekran kullanılmıştır. Nextion grafik, renkli dokunmatik ekran tercih edilmiştir. Nextion, insan ve proses, makina, uygulama ya da cihaz arasında kontrol ve görselleştirme arabirimi olarak görev yapan bir Seamless Human Machine Interface (HMI) çözümüdür. Geleneksel LCD'lerin (Liquid Crystal Display) yerini almak için tasarlanmış en iyi çözümdür (Cui 2014). Kullanılan dokunmatik ekranın bazı özellikleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Nextion ekran teknik özellikleri (Bento 2018)

	Veri	Açıklama
Renk	64 K 65536 renk	16 bit 565, 5R-6G-5B
Düzen boyutu	95 (L), 47.6 (G) x 4.6 (H)	NX4024T032_011N
Aktif Alan (AA)	47.60 mm x 80.90 mm (L) (W)	-
Görsel Alan (VA)	41.76 mm x 69.60 mm (L) (W)	-
Çözünürlük	400 × 240 piksel	Ayrıca 240 × 400 olarak da ayarlanabilir
Dokunmatik tipi	Dirençli	-
Dokunmatik ömrü	> 1 milyon	-
Arka Işık	LED	-
Arka ışık ömrü(ortalama)	> 30.000 Saat	-
Parlaklık	200 nit	% 0 -% 100, ayar aralığı % 1
Ağırlık	35,5 g	-

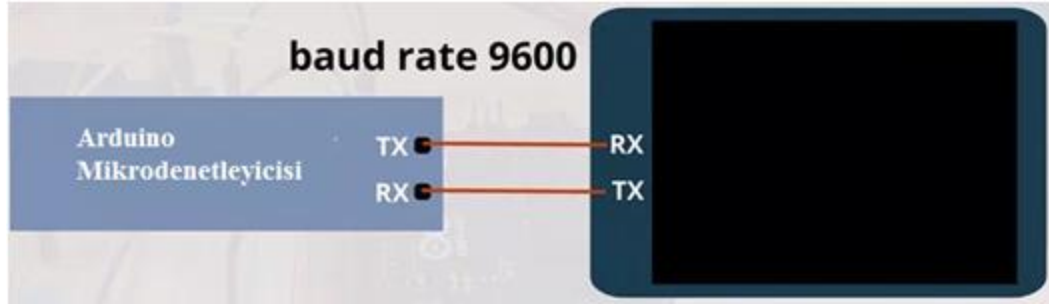
Nextion dokunmatik panelinin enerji beslemesi ve enerji sarfıyatı AA kalitedir. Minimum 0.5A'lık çıkış verebilen bir güç kaynağı tercih edilerek beslenebilmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Nextion ekran gerilim beslemesi

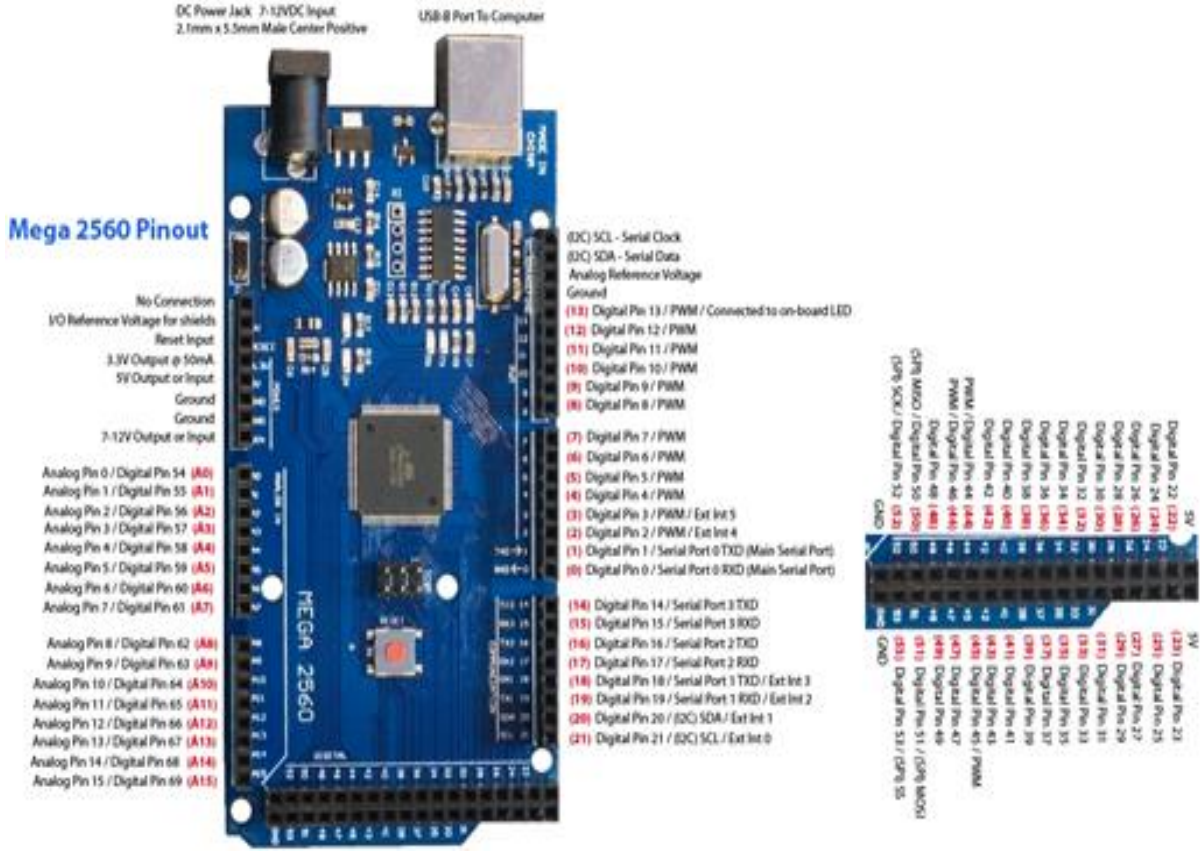
Arduino sistemin ana kontrolörüdür. Saha diye adlandırdığımız sensörlerin bağlı olduğu alandan aldığı bilgileri işleyerek algoritmaya göre sistemin proses yürütmesini sağlayan elektronik komponentleri olan bir cihazdır.

Dokunmatik ekranı ana sürücü arduino ile bağlantı Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15. Nextion ekran ile arduinonun bağlantı şeması

Tüm bu sistemin kısımları ana mikrodenetleyici üzerinden kontrolü sağlanmıştır. Sistem birden fazla kontrol yapısı içerdiğinden, Arduino Mega 2560 (ATmega 2560) mikrodenetleyici (Şekil 3.16) tercih edilmiştir (Aminah Nurrrahmawati 2017).

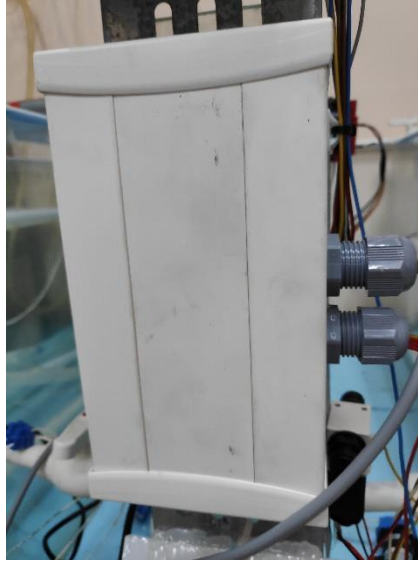


Şekil 3.16. Arduino Mega Bacak Tipleri (Anonim 2019)

Arduino Mega 2560; Atmega2560 temelli bir mikrodenetleyici kartıdır. Üzerinde 54 adet dijital giriş/çıkış pini (15 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir), 16 analog giriş, 4 UART (donanımsal seri port), 16Mhz kristal, usb soketi, güç soketi, ICSP konektörü ve reset tuşu bulundurmaktadır. Bu gibi teknik özelliklerin detayları Çizelge 3.9’da yer almaktadır. Kart üzerinde mikrodenetleyicinin çalışması için gerekli olan her şey bulunmaktadır. Kolayca usb kablosu üzerinden bilgisayara bağlanabilir, adaptör veya pil ile çalıştırılabilir. Tüm bu özellikler sistemimizin çalışmasında bize yardımcı olmuştur.

Çizelge 3.9. Arduino Mega teknik özellikleri

Özellik	Açıklama
Mikrodenetleyici	Atmega 2560
Çalışma gerilimi	5 V
Giriş gerilimi	7-12 V
Dijital G/Ç Pinleri	54 Adet (15 tanesi Darbe genişlik modülasyon çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	16 Adet



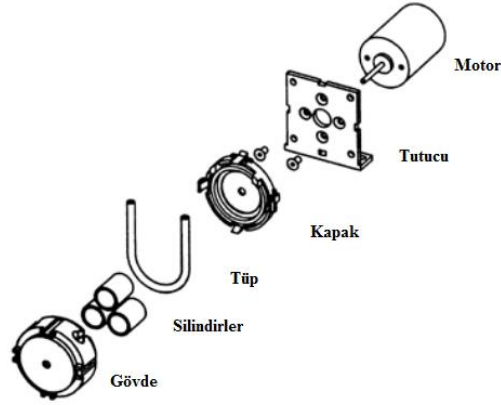
Şekil 3.18. Röle modülü montaj kutusu

3.8. Pompalar

3.8.1. Peristaltik pompalar

Peristaltik pompaları fotobiyoreaktör sisteminde, yetiştirme tankından renk ölçüm istasyonuna hasat zamanının karar verilmesi için mikroalglerin aktarımında, yetiştirme tankına gübre beslemesinde kullanılmıştır. Peristaltik pompanın tercih edilme sebebi yetişen mikroalglerin ve gübre solüsyonunun zarar görmesini engellemektir.

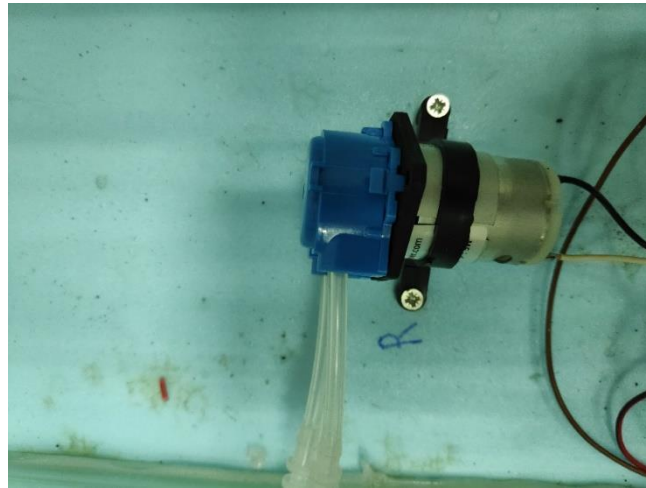
Şekil 3.20'deki gibi peristaltik pompalar, sıvıları güvenli ve hızlı bir şekilde transfer etmede kullanılır. Pompanın iç aksamı (Şekil 3.19) ile hiçbir şekilde sıvı teması olmadığından, medikal ve gıda uygulamalarında sıkça tercih edilmektedir. Bu peristaltik pompa 12 V DC gerilim ile çalışmaktadır. Pompa iki yönlü hareket ettirilmektedir. Çevre dostu ve toksik madde içermeyen silikon hortumludur. İstenildiği takdirde bu hortum değiştirilebilmektedir. Bu da sistemin ana parçası olan çevre dostu ve modüler yapı sistemlerini desteklemektedir. Tercih edilirken Çizelge 3.10'daki teknik özellikler göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.19. Peristaltik pompa iç yapısı

Çizelge 3.10. Peristaltik pompa teknik özellikleri

Çalışma gerilimi:	12 V DC
Akış hızı:	6-24 mL/dk
Çalışma sıcaklığı:	0~40 °C
Çalışabileceği ortam nemi:	< 80%
Boşta çektiği akım:	0.06 A
Yükte çektiği akım:	0.25 A
Boşta hızı:	3500 RPM
Hortum tipi:	D(1.5-4)mm*0.5m silikon hortum



Şekil 3.20. Peristaltik pompa

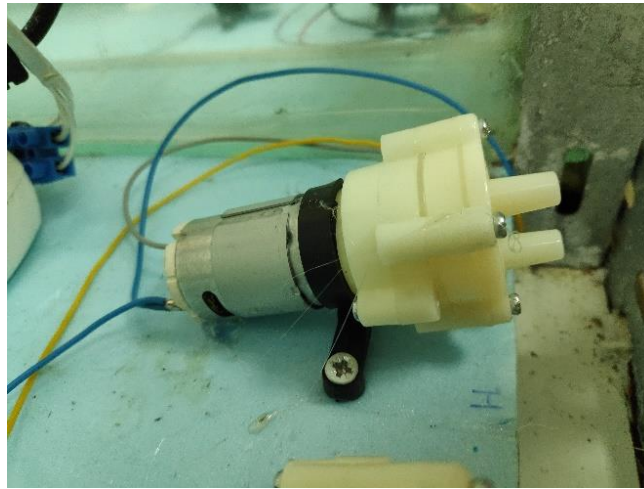
3.8.2. Diyaframlı pompalar

Şekil 3.21'teki peristaltik pompa fotobiyoreaktör sisteminde, su tankından yetiştirme tankına tatlı su alışverişi, yetiştirme tankından hasat olmaya hazır hale gelen mikroalgleri hasat tankına aktarım ve NaOH bileşenini hasat tankına bırakma işlemlerinde görev üstlenmiştir.

Bu pompalar bir giriş ve bir çıkıştan oluşmaktadır. Girişinden vakumlama çıkışından ise üfleme eyleminde bulunmaktadır. Teknik yapılarına göre belli yüksekliğe akışkan pompalama özellikleri bulunmaktadır. Bu gibi teknik özellikler Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Diyaframlı pompa teknik özellikleri

Pompa Ölçüleri	90x40x35
Ağırlık	106 g
Çalışma Gerilimi	12 V DC
Çalışma Akımı	0.5 – 0.7 A
Boşta Çektiği Akım	0.18 A
En Fazla Aktarım Yüksekliği	2 m
Çıkış Çapı	6 mm
Aktarım Hızı	1.5 – 2 L
Ömrü	2500 h



Şekil 3.21. Peristaltik pompa

3.9. CO2 Besleme İşlemi

Sistemde pH'ı sabit bir aralıkta tutabilmek için gerçek zamanlı ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Sistemdeki pH dengesini sağlamak için uygulanan CO₂, JBL marka karbondioksit reaktörü kullanılmıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Karbondioksit reaktörü

3.10. Sistem Yazılım Dili

C programlama dili genel amaçlı ve yapısal bir dildir. Bu programlama dili Dennis Ritchie tarafından 1972 yılında B dilinden geliştirilerek keşfedilmiştir. Bu yazılım dilini bizim günümüze kadar gelmesini sağlayan ve koruyan özellikleri ise farklı donanım ve işletim sistemlerinde derlenebilir, verimliliği yüksek, basit, güçlü yapısının olması ve bu dilin çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılabilir olmasıdır (Abudula 2006).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışacak olan tüm malzemelerin gerekli montajlarını sağlayabilmek için tasarlanan ürünlerde Solidworks 2018, tasarımların vücut bulması için ise Simplify3D programları kullanılmıştır. Prusa i3 tip 3 boyutlu yazıcı ile de tasarımı yapılan bu parçaların basımı yapılmıştır. Aynı zamanda elektronik kart tasarımı aşamasında ise Proteus 8.5 sürümü kullanılmıştır. Sistemin ana kontrolör yapısı için 12x18x9 mm uzunluklarında endüstriyel su geçirmez (IP 67) bir kutu kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Ana kontrolörlü endüstriyel kutu

4.1. Sistemin Enerji Kaynakları

Enerji beslemesi AC/DC dönüştürücü kullanılarak yapılmıştır. Sistemde modüler olarak kullanılan tüm cihazların beslemesi doğru akım ile olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan bu tercihin en önemli etkeni sistemin laboratuvar tip olarak tasarlanmasıdır. Yani sistemde alternatif akım gibi insan sağlığına tehlike arz edecek gerilim kaynakları tercih edilmemiştir.

Ana güç kaynağı olarak 220 AC gerilimi, 12 V DC gerilime dönüştüren 5 Amper çıkış verebilecek şekilde tercih edilmiştir. Sistemde tüm cihazlar aynı anda çalıştığında 4.32 A çekmektedir. Güç kaynağının yeterli olduğu gözlenmiştir.

Ana kontrolörün besleme gerilimi 5 V ile beslenmektedir. Mikrodenetleyicinin bu gereksinimi karşılaması için LM2560 DC/DC dönüştürücü kullanılmıştır. 30 A' kadar çıkış

verebilen bu kart sistemimiz için oldukça kuvvetlidir. Uygulama aşamasında da herhangi bir problem yaşanmamıştır.

4.2. Sistem İçin Hazırlanan Ortam

Sistem için tercih edilen reaktör tipi panel tiptir. Bu sistemin avantajlarını daha aktif kullanabilmek için fotobiyoreaktörün boyutları 90x60x10 cm uzunluğa sahip ölçülerde kurulmuştur (Richmond ve Cheng-Wu 2000, Cheng-Wu ve ark. 2001, Richmond ve Cheng-Wu 2001). Karıştırma işlemi hava pompası tarafından sağlanan %1,5 - 2 CO₂ ile zenginleştirilmiş basınçlı havanın fotobiyoreaktörün tabanına yerleştirilen hava taşıyan kabarcıklar şeklinde çıkması (Şekil 3.9) ile sağlanmıştır. Böylece mikroalg hücreleri mekanik bir zarar görmemiştir (Zou ve Richmand 2003, Dipasmita ve ark. 2011).

Fotobiyoreaktör çalışması boyunca suyun sıcaklığı, 25 ° C'de sabit tutulmuştur.

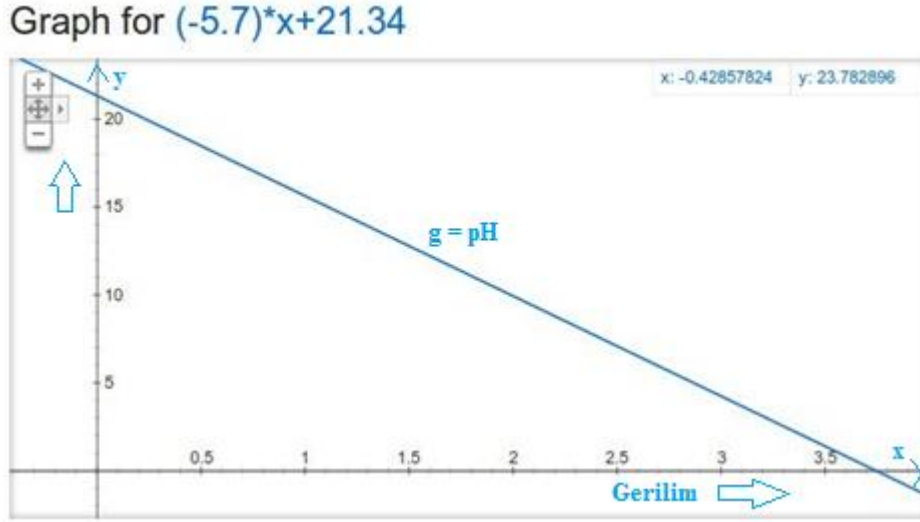
4.3. Ortamdaki pH Ölçümü

Sensörün amplifikatör üzerinde iki adet potansiyometre bulunmaktadır. Bunların birinin görevi ofset düzenlemesi için kullanılırken diğeri pH limit ayarı için kullanılmaktadır.

1. Ofset: Probu değerini ofsetleyebilmek için BNC konnektörün iç ucu ile dış çepheri kısa devre yapılır. Bunun sebebi 0 V 7.0 pH değerine tekabül etmesidir. Devamında bir ölçü aleti ile potansiyometre 2,5 V olacak şekilde ayarlanmalıdır.

2. pH Sınırı Potansiyometresi: Bu potansiyometre (ayarlanabilir direnç), kırmızı hata LED'inin yanmasına ve Do pin sinyalinin ON (açık) hale gelmesine neden olan pH sensörünün sınır değerini belirlemektedir.

Farklı pH solüsyonları ile ölçümler yapıp ayarların doğruluğunu teyit etmek gerekmektedir. Bu doğruluğu teyir edebilmek için oluşturulan Şekil 4.2'deki verilerden faydalanılabılır.



Şekil 4.2. Ölçülen pH ve Gerilim Denkleminin Grafiği $g = -5.70 * x + 21.34$

PH 4.01 ve pH 7 olan solüsyonlarını kullanarak, sırasıyla Po pininden 3.04V ve 2.54V voltajları elde edildi. Sensör doğrusal bir ölçüm yaptığı için, iki nokta arasında yapılan ölçüm ile gerilimi pH'a dönüştürmek için denklemi hesapladığımızda, genel formül $g = mx + b$ olacaktır. Hesaplamamız gereken m ve b'yi hesapladığımızda $m = -5,70$ ve $b = 21,34$ olacaktır. Formülde x gerilimi ve g pH değerini göstermektedir. Sonuç olarak $g = -5.70x + 21.34$ formülü edilmiştir. Bu formülü yazılımımızda kullanarak fotobiyoreaktör içerisindeki pH değeri görüntülenebilmiş ve işlem uygulanabilmiştir.

Arduino ile pH prob amplifikatörünü bağlantısı ise Po pinini arduino analog girişine (A0), besleme bağlantılarını ise 5V ve GND pinlerine bağlanmıştır.

Sistemin pH değeri ortama CO₂ verilerek 7 ila 8 aralığında sabit tutulmuştur. Bu aralıkta sabit tutabilmek için karbondioksit reaktörü ile sisteme gerektiğinde karbondioksit gönderimi yapılmıştır. Bu ara cihaz karbondioksitin suya daha yaygın olarak karışmasını sağlamaktadır. Karbondioksit parçalaması yaparak sisteme yayar ve pH değerini dengeli bir şekilde değiştirir.

4.4. Aydınlatma Ünitesi

Aydınlatma için 3000K yoğunluğunda harici beyaz LUXEON 5630 şerit led kullanılmıştır. 12 saat aydınlık, 12 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Aydınlatma panel tip fotobiyoreaktörün her iki yüzünden yapılmıştır. Yapılan çalışmalar her iki yüzden yapılan aydınlatmanın mikroalg yağ verimini %14 artırdığını göstermiştir (Dipasmita ve ark. 2011, Doan ve Obbard 2011).

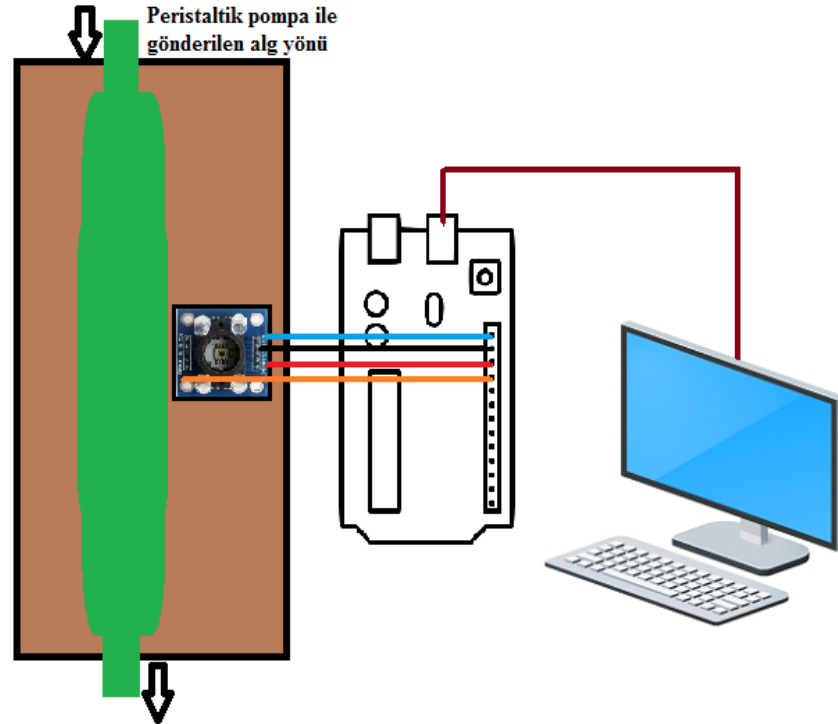
4.5. Su ve Besin Beslemesi

Sistemin en önemli kaynağı olarak sayılan su beslemesi ultrasonik mesafe sensörü ile yetiştirme tankındaki sıvı seviyesi ölçülecek ve su tankından dalgıç pompa yardımı ile transfer işlemi gerçekleştirilmiştir. Yetiştirme tankına ilk çalışma periyodunda ve sıvı azaldıkça su transferi anında gübre tankından sisteme gübreleme yapılmıştır. Bu işlem peristaltik pompa yardımı ile yapılmıştır. Böylece mikroalg hücreleri mekanik bir zarar görmeyecektir (Dipasmita ve ark. 2011, Zou ve Richmand 2000).

Besin gübresini sisteme aktarmak için peristaltik pompa tercih edilmiştir. Peristaltik pompanın teknik özelliklerinde dakikada 6-24 mL sıvı aktarabildiği işlenmiştir. Sisteme beslenen su ile orantılı olarak gübre beslemesi de yapılmaktadır. Gübre oranı gerekli denemeler sonucu bulunmuştur ve yazılıma kaydedilmiştir. Mikroalg'in fazla veya az beslenmesi onun zarar görmesine neden olacağından hassas işlem önceliğine sahip konu olarak belirlenmiştir.

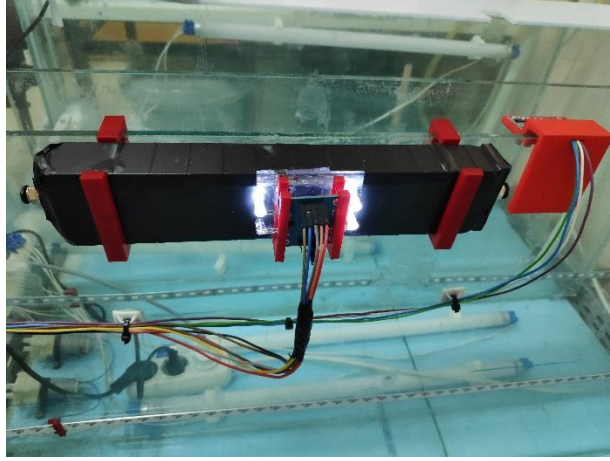
4.6. Hasat Algoritması

Kullanılan TCS3200 sensörü, RGB renklerinin dalga boyları (kırmızı = 580 nm, yeşil = 540 nm ve mavi = 450 nm) dahil olmak üzere 780 nm'de bir tepe tepkisi ile ışık spektrumunda epey hassastır (Jia ve ark. 2015). Bu hassasiyeti en aza indirebilmek için karanlık ortamdan oluşan bir hasat kontrol ünitesinden faydalanılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. RGB sensörünün algılama alanı tasarımı

Algılama Alanı (Şekil 4.4), pleksiglas ile yapılmış optik ölçüm için uygun tasarlanmış 4 mm'lik bir test hücresinden oluşmuştur. Bu yapı içerisinde peristaltik pompa kullanılarak mikroalglerin sürekli olarak bu algılama alanının içerisinde geçirilerek ölçümler yapılmıştır. 340 – 750 Nm görünür dalga boyu aralığı için optik özelliklere uygun tasarım ve ölçüm aracı kullanılmıştır. Sensör bir tarafta kullanımı tercih edilmiştir. Dışarıdan gelen ışığın optik ölçüme zarar vermemesi için siyah ve ışık geçirmez bir kutu içerisine yerleştirilmiştir (Micaela ve ark. 2015).



Şekil 4.4. RGB renk okuma kapsülü

RGB sensöründen bilgi okuma işlem basamakları şu şekilde izlenmiştir:

1. RGB sensöründen bilgi okunur,
2. Denklemi kullanarak parlaklık değeri ayarlanır,
3. Yine denklemi kullanarak renk değerleri ölçülür,
4. Son denkleme göre de ürünün hasat zamanına karar verilir.

RGB renk ölçüm sensör ile mikroalglerin renk değişimini ölçerek hasat zamanına karar verildikten sonra hasat işlemi otomatik olarak başlatılmıştır. Hasat işlemi için yetiştirme tankından boşaltılan kültürün üzerine NaOH ekleyerek yosunun çökeltmesi sağlanmıştır (Durgut ve ark. 2015, Ülker 2016).

NaOH, hasat tankına verildiğinde çökeltme başlatılıp, çökeltme işlemi bitirildiğinde ise pompa çalışarak hasat işlemi bitmiş döngüyü tamamlamış bir gerçek zamanlı sistem ortaya çıkacaktır. NaOH aktarım işlemi diyaframlı pompa ile yapılmaktadır. Bu pompanın teknik özelliklerine baktığımızda ise dakikada 1,5 ila 2 L arasında aktarım yapabilmektedir. Hasat için bekleyen yosuna eklenecek NaOH hesabı yapıлып belirlenen süre kadar pompa çalıştırılmıştır.

Bu sayede yosuna olumsuz bir zarar vermeden hasat olunabilmesi için çökeltme işlemi başarılı ile gerçekleştirilmiştir.

Sistemde üretilen yosunların zarar görmemesi için tercih edilen peristaltik pompa, belirli aralıklarla renk ölçüm istasyonuna üretim tankında yetişen yosunları aktarmakla görevlendirilmiştir. Peristaltik pompa yardımı ile renk ölçüm zamanı geldiğinde RGB sensörünün rengi algılayacağı kapsülün içerisine yetiştirme formunda olan algler yönlendirilir. Bunun yanında modüler yapıya uygun bir ara eleman olma görevini üstlenmektedir. Zamanı geldiğinde içerisinde bulunan tüpün değişmesi ile uzun ömürlü olarak kullanılabilir. Bunun yanında içerisinden geçen mikroalg hiçbir şekilde aksamına değmeyeceği için zarar da görmemiş olacaktır.

4.7. Kullanıcı Arayüzü ve Bilgilendirilmesi

Arduino ile Nextion ekran seri haberleşme protokolüne bağlı olarak haberleşmektedir. Sistemde iki cihazın seri haberleşme baud rate (kanal hızı) 9600 olarak seçilmiştir (Bento 2018). Arduino ile Nextion arasındaki haberleşme prosesi kütüphanedeki seri haberleşme kesmesi protokolüne göre çalışmaktadır. Ekran üzerinde kullanıcıya sürekli olarak sistemin gerçek zamanlı bilgilendirilmesi yapılmaktadır. Nextion ekranın bağlantı uçları Şekil 4.5'e dikkat edilerek yapılmıştır.



Şekil 4.5. Nextion ekran bağlantı uçları

Nextion ekranı düzenlemek ve verileri aktarabilmek için ücretsiz kullanılan Şekil 4.6'daki gibi bir editör programına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu programı kullanarak özgün tasarımıımızı gerçekleştirip sistemimizin ana kontrolünü ve izlenebilirliğini ekran üzerinden sağlanmıştır.



Şekil 4.6. Nextion ekran editörü

Nextion ekranı düzenlemek ve verileri aktarabilmek için ücretsiz kullanılan bir editör programına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu programı kullanarak özgün tasarımımızı gerçekleştirip sistemimizin ana kontrolünü ve izlenebilirliğini ekran üzerinden sağlamış olduk.

Ekran üzerinde bir açma bir de kapama fonksiyonu bulunmaktadır. Sistemin her anını Türkçe metin ile size haberdar eden görsel bulunmaktadır. Aynı zamanda su seviyesi, pH değeri ve hasat zamanını belirleyecek olan renk değerleri gibi verileri sistem kullanıcılarına aktarabilir şekilde tasarlanmıştır.

4.8. Ana kontrolör ve Mikrodenetleyici

Arduino Mega 2560 ile sistemde pH, ısı, renk ölçümü gibi veriler okunarak, su, gübre, CO₂, NaOH gibi kaynakların gönderilmesine karar verilmiştir. Kendi üzerinde bulunan giriş/çıkış üniteleri birbirinden farklı üniteleri kontrol etmede yararlı olmuştur.

Arduino IDE (Integrated Development Environment) editörü ile sistemin arka planında çalışan program yazılmıştır. Açık kaynak kodlu Arduino Editörü kod yazmayı ve cihaza yüklemeyi kolaylaştırır. Java ile yazılmış olan bu program herhangi bir arduino kartı ile kullanılabilir. Kolay kurulumu ve kullanımı ile genel düzeyde birçok kullanıcısı mevcuttur. Şekil 4.7’de editörün ekran görüntüsü gösterilmektedir.

```
1 /*Nextion Kütüphanesi ve Nextion tanımlamaları*/
2 #include "Nextion.h"
3
4
5 HexNumber n0 = HexNumber(3, 1, "n0"); //EH birler
6 HexNumber n4 = HexNumber(3, 12, "n4"); //EH birler
7 HexNumber n1 = HexNumber(3, 3, "n1"); //EH onlar
8 HexNumber n2 = HexNumber(3, 4, "n2"); //EH yüzler
9 HexNumber n3 = HexNumber(3, 5, "n3"); //Su seviye
10 HexText t4 = HexText(3, 11, "t4");
11 HexText t2 = HexText(3, 8, "t2");
12 HexText t3 = HexText(3, 9, "t3");
13 HexText t1 = HexText(3, 7, "t1");
14
15
16 HexButton b0 = HexButton(3, 9, "b0");// Sistem tekrardan bağlat.
17 HexButton b1 = HexButton(3, 10, "b1");// Sistem tekrardan bağlat.
18
19 char buffer[100] = {0};
20 HexTouch *nex_listen_list[] =
21 {
22     t20,
23     t24,
24     t21,
25     t22,
26     t23,
27     t24,
28     t21,
29     t22,
```

Şekil 4.7. Arduino IDE editörü

Arduino içerisine yüklenen program şimdiye kadar araştırılan tüm bilgiler sentezlenerek ortaya çıkmıştır. Yazılımın açık kaynak kodlu olarak paylaşılması geliştirilmesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Gerek içerisindeki yazılımın gerekse modül olarak kendisinin değişimi ve piyasada bulunurluk oranının da yüksek olması avantajları arasında gösterilmektedir.

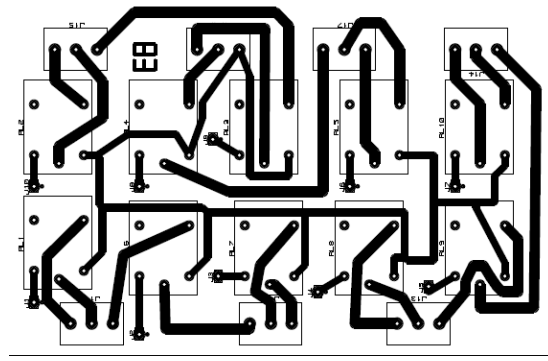
Kütüphane olarak sadece Nextion.h kütüphanesi kullanılmıştır.

Sistemde kullanılan 10'lu röle modülü sistemin çıktılarına göre görev yapan elemanların gerektiği anda çalışmasını sağlamaktadır. Röle modülü ile şu çıktıları kontrol edebilmekteyiz:

- CO2 reaktörü,
- Aydınlatma ünitesi,
- Devir daim valfi,
- Gübreleme ve sulama valfi,
- Devir daim pompası,
- Gübreleme pompası,
- Renk ölçüm istasyonu pompası,
- Hasat pompası,
- NaOH pompası,
- Son işlem pompası.

Röle modülü için elektronik kartın tasarımında deliksiz bakır plaket kullanılmıştır. Bakır plaketin üzerine hatların aktarılabilmesi için Proteus 8.5 programında daha önceden çizilen tasarım (Şekil 4.8) kuşe kağıda çıkarılır ve bakır plaketin üzerine yapıştırılmıştır. Ütüleme

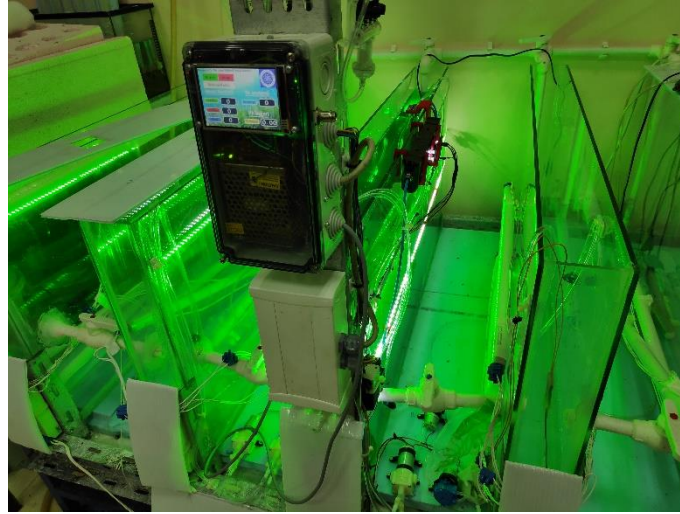
işleminin ardından kuşe kağıt sökülüştür ve tuz ruhu, perhidrol karışımı olan kimyasalın içine atılmıştır. Yolların tamamının belli olmasından sonra montaj için gerekli delme işlemi yapılmıştır. İşlemin sonunda gerekli elektronik komponentler montajlanmak üzere yerleştirilmiş ve lehimleme işlemi ile süreç sonlandırılmıştır.



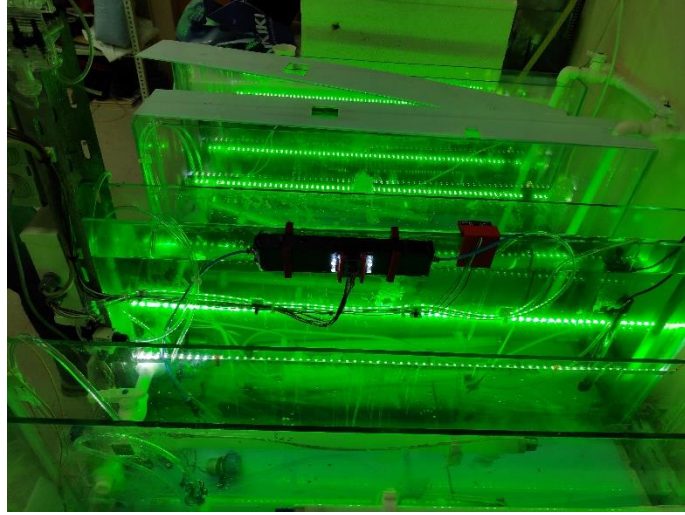
Şekil 4.8. Röle modülü elektronik kart montaj ve hatların görünümü

4.9. Sistemin Genel Görünümü

Sistemin son hali Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'daki gibidir. Verimliliği arttıran, laboratuvar tip, gerçek zamanlı fotobiyoreaktör sistemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.9. Fotobiyoreaktör sisteminin genel görünümü 1

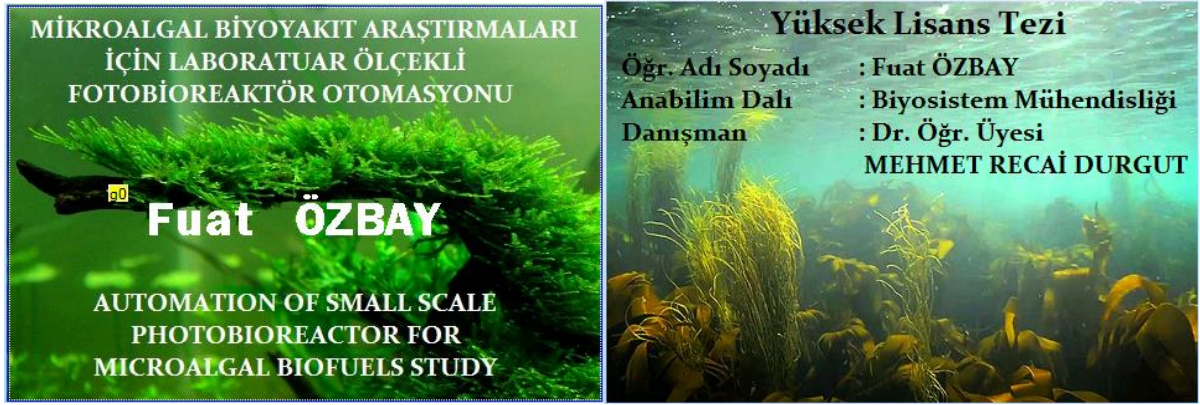


Şekil 4.10. Fotobiyoreaktör sisteminin genel görünümü 2

Kullanılan HMI (Human Machine Interface) görevini üstlenen kapasitif dokunmatik ekranda sistemin ilk durum kontrollerinden nihai ürün çıkış aşamasına kadar olan ekran geçişleri kullanıcıyı yönlendirmede aktif rol oynamaktadır. Fotobiyoreaktör ilk kez enerjilendiğinde Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görülen üç farklı açılış ekranı bir defaya mahsus başlangıçta görüntülenmektedir.



Şekil 4.11. Açılış ekranı 1



Şekil 4.12. Açılış ekranı 2 – 3

Şekil 4.13'teki ekranda sistem Start butonu ile başlatılmaktadır. Stop butonuna basıldığında ise hemen durmamakta, bir döngülük işlemi bitirip prosese bu işlem sonunda son vermektedir.



Şekil 4.13. Başlangıç ekranı

Sistem iki ana algoritmadan oluşmaktadır. İlki start butonuna basıldığında bir defaya mahsus tüm veriler (Su seviye durumu, pH değeri ve renk algılaması) mikrodenetleyici olarak kullanılan Arduino Mega içerine çekiliyor ve sırası ile ekrana transfer ediliyor. İkincisi ise her 5 dakikada bir yine tüm verileri kontrol edip karar yapısından geçirerek sistemi sürekli izliyor. Sırası ile ekran görüntüleri kullanarak durum daha net açıklanabilir.

Start butonuna basıldıktan hemen sonra Şekil 4.14'te olduğu gibi sistem başlatılıyor ve sistem kontrol ediliyor yazıları ekranda kullanıcıyı bilgilendirir.



Şekil 4.14. Sistem başlatılıyor ve kontrol ediliyor ekranları

Sistem kontrol algoritmasına ilk olarak yetiştirme tankındaki su seviyesini kontrol ederek başlar. Su seviyesine karar verdikten sonra durumu kullanıcıya ekranda bilgi olarak gösterir. Su seviyesi yetersiz ise su eklemesi yapar eğer su seviyesi yeterli ise bir sonraki kontrol algoritmasına geçiş yapar.



Şekil 4.15. Su kontrol ediliyor ve su seviyesi düşük ekranları

Eğer yetiştirme tankının içerisindeki su yetersiz ise Şekil 4.16'daki gibi sisteme su alınıyor ekranı çıkacaktır. Sürekli ölçülen su seviyesi istenen değere ulaştığında Su seviyesi normal yazısı kullanıcıyı su seviyesi hakkında bilgilendirecektir.



Şekil 4.16. Sisteme su alınıyor ve su seviyesi normal ekranları

Su seviye algoritmasını bitirdiğinde pH seviyesini kontrol eden algoritma işlevsel hale gelerek fotobiyoreaktörün içerisindeki pH değerini algılayıp kullanıcıya Şekil 4.17'deki gibi ekran yardımı ile bilgilendirir. pH kontrol edildiğinde 8 biriminin üzerine çıktığında CO₂ girdisinin başlatıldığını gösterir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). pH değerini normal seyrine geçene kadar CO₂ aktarımı durdurulmaz. pH değeri ölçüm sonucu normal aralığına düştüğünde ise Şekil 4.18'deki gibi pH değeri normal bilgisini vererek bir sonraki karar algoritması olan yosun kontrol prosesine geçiş yapar.



Şekil 4.17. pH kontrol ediliyor ve pH değeri yüksek ekranları



Şekil 4.18. CO₂ veriliyor ve pH değeri normal ekranları

Ph değer ölçümünün akabinde hasat kontrol karar algoritması devreye girmektedir. Bu algorithmada sistem RGB ölçüm kapsülüne peristaltik pompa yardımı ile yetiştirme tankındaki karışımı aktarım yapmaktadır. Bu aktarımı tamamlayabilmesi için motor 10 saniye boyunca çalıştırılıp renk ölçümü yapılmaktadır. Renk ölçümü sonrasında renk hazır değilse bir sonraki karar algoritmasına geçecek, renk hazırsa hasat için hasat karar algoritmasına geçiş yapacaktır.



Şekil 4.19. Yosun kontrol ediliyor ve yosun hazır değil ekranları

Eğer hasat için karar verilmemiş ise ekranda Şekil 4.20'deki gibi Sistem Stabil yazısı görünecektir. Bu aşamaya gelindiğinde sistem 5 dk boyunca bekleyecektir. Bu sürenin sonunda ilk karar algoritması olan su kontrolünü gerçekleştirerek aynı sırayı izleyerek otonom çalışmasını sürdürecektir.



Şekil 4.20. Sistem stabil ekranı

Tasarlanan algoritmaya göre 5 dakikalık ara ile tüm bu fonksiyonları tekrar tekrar çalıştıracaktır. Yosunun hazır olduğuna otonom olarak karar veren otomasyon kullanıcıya Şekil 4.21'deki gibi “Yosun Hazır” bilgisini ekran üzerinden ulaştıracaktır.



Şekil 4.21. Yosun hazır ekranı

Yosun hazır bilgisini alan mikrodenetleyici hasat başlama algoritmasını çalıştıracaktır. Bu algoritmanın içeriğinde ise yetiştirme tankındaki mikroalgleri diyaframlı pompa yardımı ile hasat tankına aktaracaktır. Hasat tankına tamamının aktarıldığını su seviye kontrol sensörü algılayacaktır. Tamamı aktarıldıktan sonra hasat tankına NaOH ekleyerek hızlı çökertme başlayacaktır. Tüm bu işlemlerin sonunda ekranda Şekil 4.22'deki gibi “Sistem Başlat” yazısı belirecektir ve “Çökertme Başladı” bilgisinin görüntülenmesinden sonra kullanıcıdan sistemi tekrar başlatması (Şekil 4.23) istenecektir.



Şekil 4.22. Hasat başlatılıyor ve çökertme başladı ekranları



Şekil 4.23. Sistemi başlat ekranı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Otomasyon sistemlerinin malzeme pahalılığı bunların fotobiyoreaktör sistemlerinde kullanım oranlarını maalesef en az seviyeye çekmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek ve zirai alanlarında da otomasyon sistemlerinin kullanımını arttırabilmek için ucuz ve kaliteli üretim yapılmalıdır. Güncellenen sistemlerde bu durum aşılmaktadır. En önemlisi ise teknik personelin bu gibi sistemlerde etkin rol oynamasıdır. Teknik personelin yetiştirilmesi ve bu alanda tutulabilmesi yaygınlaştırılmasında büyük engel olarak karşımıza çıkmaktadır.

Endüstri 4.0'ın en önemli özelliği kişiselleşmiş ürünlerin ortaya çıkarılmasıdır. Bunun yanında sistemlerin kolaylaştırılarak ve duru hale getirilerek herkesin kullanabileceği düzeye indirgenmesidir. Bunu esas alarak tasarlanmış bu sistem, kullanıcı dostu yönlendirilmeler ile sistemin herkes tarafından anlaşılır ve kullanılabilir duruma getirilmesi hayali ile planlanmıştır. Sistemin bir özelliği de dokunmatik ekran ile durumun anlık bilgilendirilmesi ve kontrolüdür. Bu kullanıcı için karmaşıklığı ortadan kaldırmaktadır.

Tasarım aşamasında sistemde kullanılan sensörler, hassas çalışmaktadırlar. Ortam değişkenlerine bağlı olarak ölçümlerde sürekli farklılık göstermesi sistemin başlangıç kalibre ayarlarını değiştirmekte ve zorlaştırmaktadır. Sistemin başlangıcında bu ayarların doğru kurularak sisteme entegre edilebilmesi gerekmektedir.

Fotobiyoreaktör sisteminin tüm teknolojik aletleri seçilirken kolay bulunabilmesine, kolay montajlanabilmesine ve uygun fiyatlı olmasına dikkat edilerek seçilmiştir. Sistem elemanlarının birbirleri ile uyumlu çalışabilmesi için mikrodenetleyicili, yani yazılım içerikli bir ana kumanda sistemi tercih edilmiştir. Diğer kontrol cihazları tak çıkar mantığı üzerine kurulmuştur.

Sistem tabanının veriyi kolaylıkla değiştirilebildiği bir ortam tasarlanmıştır. Bu sayede sistemin sürekli güncellenebilmesi, yeniliğe açık olabilmesi sağlanmıştır. Bunun yanı sıra verimliliği temel almış bir fotobiyoreaktör olarak planlanmıştır. En az girdi ile en çok çıktı alabilmek ana hedeflerden biri olarak alınmıştır. Yosunun verimliliğini arttırıcı müdahaleler sistem tarafından programa uygun olarak yerinde ve zamanında yapılacak şekilde uygulanmıştır.

Sistem her ne kadar en yeni teknolojiler ile tasarlanmış olsa da, laboratuvar tip olduğu düşünüldüğünde bazı kısıtlılıklar ve bunları aşmak için farklı yöntemler tercih edilebilir. Bunlardan biri sistemin anlık bilgilerinin ekranda görüntülenebildiği gibi kablolu veya kablosuz

olarak internet ortamında da istenildiği yerden gerek kişisel bilgisayarlardan gerekse cep telefon uygulamasından da ulaşılabilir. Sistemde kullanılan algılayıcıların tamamı kablosuz hale getirilebilir. Bu pratiklik ve oluşabilecek arıza, bakım işlemlerinde kolaylık sağlayabilir. Sistem verileri sürekli kayıt edilerek geçmişe dönük mikroalg kültür denetimi ve takibi yapılabilir. Gübre tankındaki solüsyonu yine burada kullanıldığı gibi peristaltik pompalar yardımı ile sistem ihtiyaç duyduğunda karışımı kendi hazırlayabilir. Hasat tankına hasat olunan mikroalglerin yağ kütle ölçümleri yapıp kullanıcı yine dokunmatik ekran üzerinden bilgilendirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abudula Dilixiati (2006). A C++ Implementation And Evaluation Of Alternative Plan Generation Methods For Multiple Query Optimization, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Amaro, H.M., Guedes, A.C., Malcata, F.X (2011). Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. *Appl. Energ.* 88(10), 3402-3410.
- Aminah Nurrahmawati, Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Oksigen yang Dihasilkan oleh (2017).Fotobioreaktor Mikroalga *Chlorella vulgaris* Menggunakan Sensor SK-25F, *Jurna Fisika Unand Vol. 6, No. 3.*
- Anonim (2019). Arduino MEGA 2560'a Giriş. <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-mega-2560.html> Erişim Tarihi: 15.05.2019
- Barros A.I., Gonçalves A.L., Si mões M., Pires J.C.M (2015). Harvesting techniques applied to microalgae: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 41, 1489-1500.
- Becker, E.W. Carolina T. Miranda (1994). *Microalgae: Biotechnology and Microbiology.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Bento A (2018). IoT of Nextion X TFT ILI9341. *International Research Journal Of Engineering, IT & Scientific Research*, 4(2), 14-23. doi:10.21744/irjeis.v4i2.624.
- Bilad M.R., Vandamme D., Foubert I., Muylaert K., Vankelecom I.F.J. (2015). Harvesting microalgal biomass using submerged microfiltration membranes, *Bioresour. Technol.*, 111, 343-352.
- Borowitzka, M.A (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of Biotechnology* 70, 313-321.doi: 10.1016/S0168-1656(99)00083-8.
- Carioca J.O.B., Hiluy Filho J.J., Leal M.R.L.V. (2009). Macambira F.S., The hard choice for alternative biofuels to diesel in Brazil, *Biotechnology Advances*, Volume 27, Issue 6, November–December 2009, Pages 1043-1050.
- Carney Laura T ve Lane Todd W (2014). “Parasites in Algae Mass Culture.” *Frontiers in Microbiology* 5 (January):278. Cheng-Wu Z, Zmora O, Kopel R, Richmond A. An industrial-size flat plate glass reactor for mass production of *Nannochloropsis* sp. (Eustigmatophyceae) *Aquaculture*. 2001;195:35–49.doi: 10.1016/S0044-8486(00)00533-0.
- Carvalho Ana P, Luís a Meireles ve F Xavier Malcata (2006). “Microalgal Reactors: A Review of Enclosed System Designs and Performances.” *Biotechnology Progress* 22 (6): 1490–1506.
- Chaumont Daniel (1993). “Biotechnology of Algal Biomass Production: A Review of Systems for Outdoor Mass Culture.” *Journal of Applied Phycology* 5 (6): 593–604.
- Cheng-Wu Z, Zmora O, Kopel R, Richmond A (2001). An industrial-size flat plate glass reactor for mass production of *Nannochloropsis* sp. (Eustigmatophyceae) *Aquaculture*. 195:35–49.doi: 10.1016/S0044-8486(00)00533-0.
- Chisti Y., 2007, “Biodiesel from microalgae”, *Biotechnology Advances* 25, 294–306.

- Ciğer Mehmet (2010). Bilgisayar Kontrollü, İnternet Destekli Sera Otomasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, sayfa 6 – 12.
- Cotteau P (1996). Microalgae. In Manual on Production and Use of Live Food for Aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper Sorgeloos Edition. Roma. 295 pp.
- Cui Xiaoyi (2014). The Internet of Things. Ethical Ripples of Creativity and Innovation Palgrave Macmillan, London. pp 61-68. Online ISBN 978-1-137-50554-5. DOI: https://doi.org/10.1057/9781137505545_7.
- Çağatay Ersin (2015), Arduino Mikrodenetleyici ve Güneş Enerjisi ile Çalışan Otomatik Bitki Sulama Sistemi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Dipasmita, P., I. Khozin Goldberg, Z. Cohen and S.Boussiba (2011). The effect of light, salinity, and nitrogen availability on lipid production by *Nannochloropsis* sp. Applied Microbial And Cell Physiology 90:1429–1441. DOI 10.1007/s00253-011-3170-1
- Doan T.Y., J. P. Obbard (2011). Improved Nile Red staining of *Nannochloropsis* sp. J Appl Phycol 23:895–901, DOI 10.1007/s10811-010-9608-5.
- Durgut M.R., T. Aktaş, S. Kayışoğlu, Ç. Yağcılar (2015). Mikrodalga Yöntemiyle Mikroalg Yağından Biyodizel Üretiminde Optimum Reaksiyon Koşullarının Belirlenmesi, Namık Kemal Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No: NKUBAP.00.24.AR.14.08
- Elçik Harun, Çakmakçı Mehmet (2017). Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.
- Fei Jia, Murat Kacira and Kimberly L. Ogden (2015). Multi-Wavelength Based Optical Density Sensor for Autonomous Monitoring of Microalgae, Sensors, 15, 22234-22248; doi:10.3390/s150922234.
- Fei Jia (2015). Multivariable And Sensor Feedback Based Real-Time Monitoring And Control Of Microalgae Production System, Department Of Agricultural And Biosystems Engineering, Doktora Tezi, The University Of Arizona.
- Fernandez F. G. A., Sevilla J. M. F. and Grima E. M. (2013) Photobioreactors for the production of microalgae. Reviews in Environmental Science and Bio-Technology, 12(2) Jun, pp.131-151.
- Graham L. E. ve Wilcox, L. W (2000). Algae. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Griffiths MJ ve Harrison (2009). STL J Lipid productivity as a key characteristic for choosing algal species for biodiesel production Apphy Phycol 21: 493.
- Jin-Chywan Gwoa Ju, YuChiuaChin, ChengChoubHsien, YuChengc (2005). Cryopreservation of a marine microalga, *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae). Cryobiology. Pages 338-343.
- Ketheesan B., Nirmalakhandan N (2012). Feasibility of microalgal cultivation in a pilot-scale airlift-driven raceway reactor Bioresour. Technol., 108 pp. 196-202.
- Koval L., Vaňuš J., Bilík P (2016). Distance Measuring by Ultrasonic Sensor IFAC – Papers Online 49 – 25 153 – 158p.
- Loannis Dogaris, Michael Welch, Andreas Meiser, Lawrence Walmsley, George Philippidis, (2015). A novel horizontal photobioreactor for high-density cultivation of microalgae, Bioresource Technology 198 316–324

- Maruyama, I., Nakamura, T., Matsubayashi, T., Ando, Y. and Naeda, T (1986). Identification of the alga known as „marine chlorella“ as a member of the Eustigmatophyceae. *Jap. J. Phyco.* 34: 319-325
- Mata T.M., Martins A.A., Caetano N.S (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 14 (1), 217-232.
- Micaela Benavides, Johan Mailier, Anne-Lise Hantson, Gerardo Muñoz, Alejandro Vargas, Jan Van Impe and Alain Vande (2015). WouwerDesign and Test of a Low-Cost RGB Sensor for Online Measurement of Microalgae Concentration within a Photo-Bioreactor, *Sensors* 15, 4766-4780; doi:10.3390/s150304766.
- Özdemir Emre, Çağatay Ersin, Canal M. Rahmi (2017). Arduino Uno Uygulama Setinin Gerçekleştirilmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Pages 127 – 133.
- Pawlowski, A, J L Mendoza, J L Guzmán, M Berenguel, F G Acién, and S Dormido (2014). “Effective Utilization of Flue Gases in Raceway Reactor with Event-Based pH Control for Microalgae Culture.” *Bioresource Technology* 170 (October): 1–9.
- Pragya N., Pandey K.K., Sahoo P.K (2013). A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 24, 159-171.
- Puruhito, E (2014). Automated Monitoring and Control Systems for an Algae Photobioreactor, Master Thesis, Arizona State University.
- Rawat I., Ranjith Kumar R., Mutanda T., Bux F (2013). Biodiesel from microalgae: A critical evaluation from laboratory to large scale production, *Appl. Energy*, 103, 444-467.
- Richardson, James W., Myriah D. Johnson, and Joe L. Outlaw (2012). “Economic Comparison of Open Pond Raceways to Photo Bio-Reactors for Profitable Production of Algae for Transportation Fuels in the Southwest.” *Algal Research* 1 (1): 93–100.
- Richmond A., Cheng-Wu Z (2001). Optimization of a flat plate glass reactor for mass production of *Nannochloropsis* sp. Outdoors. *Journal of Biotechnology* 85 (2001) 259–269p.
- Richmond, A. and Zou, N (1999). Effect of light-path length in outdoor flat plate reactors on output rate of cell mass and of EPA in *Nannochloropsis* sp., *J Biotechnol*, 70: 351–356p.
- Richmond, A. and Cheng-Wu, Z (2000). Optimization of a flat plate glass reactor for mass production of *Nannochloropsis* sp. outdoors, *Journal of Biotechnology* 85: 259-269p.
- Richmond, A, Becker, W (2004). Microalgae in Human and Animal Nutrition. In *Handbook of Microalgal Culture*;., Ed.; Blackwell: Oxford, UK, pp. 312–351.
- Salim Songül (2014). Tank Namlusu Stabilizasyon Sisteminin Arduino ile Uygulanması ve Deneysel Düzeninin Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi.
- Schenk P. M., Skye R. Thomas-Hall, Evan Stephens, Ute C. Marx, Jan H. Mussgnug, Clemens Posten, Olaf Kruse, Ben Hankamer, (2008). Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *Bioenergy Research*, 1(1) Mar, pp.20-43.
- Sonnleitner B., Locher G., Fiechter A (1991). Automatic Bioprocess Control. 1. A General Concept. *Journal of Biotechnology* 19: 1-18. doi: 10.1016/0168-1656(91)90071-3

- TAOS (2009). TCS3200, TCS3210 Programmable Color Light-To-Frequency Converter, TAOS099.
- Ülker Diler Keriş Şen (2016). Mikroalglerin Sudan Ayrıştırılmasında Ve Biyoetanol Üretiminde Ozon Ve Ultrases Kullanımı, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.
- Weiming Cai, Nurhan Turgut Dunford, Ning Wang, Songming Zhu, Yongbo Wan ve Yan Zhu, (2013). "Development of an Automated Algae Growth System", 2013 Kansas City Missouri.
- Zitelli G.C., L. Rodolfi and M.R. Tredici (2003). Mass cultivation of *Nannochloropsis* sp. in annular reactors. *Journal of Applied Phycology* 15: 107–114.
- Zou N., A. Richmond (2000). Light-path length and population density in photoacclimation of *Nannochloropsis* sp. (Eustigmatophyceae) *Journal of Applied Phycology* 12: 349–354.

ÖZGEÇMİŞ

Fuat ÖZBAY 05/02/1988 tarihinde Çorlu/TEKİRDAĞ'da doğdu. Atatürk İlkokulunu (1999), 1 Kasım Ortaokulunu (2002), Türk – Alman Mesleki Eğitim Merkezini (2005), Açık öğretim meslek lisesini (2007), Trakya Üniversitesi Meslek Yüksek Okulunu (2009), dikey geçiş sınavı ile Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesini (2013) okudu. 2017 yılında Erasmus+ programı 2016-1-TR01-KA102-033510 nolu "Robotik ve Biyomekatronik Eğitim Teknikleri ve Araçları, Robotics and Biomechatronics Training Techniques and Tools." isimli projede görev aldı. 2014 yılından beri Özel Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Elektronik Öğretmeni olarak halen görev yapmaktadır.

EK 1. ARDUİNO PROGRAMININ KODLARI

Arduino için kullanılan açık kaynak kodlu yazılım aşağıdaki gibidir:

```
/*Nextion Kütüphanesi ve Nextion tanımlamalar*/
#include "Nextion.h"
#define buton 18
NexNumber n0 = NexNumber(3, 7, "n0"); //PH birler
NexNumber n4 = NexNumber(3, 13, "n4"); //PH birler
NexNumber n1 = NexNumber(3, 8, "n1"); //PH onlar
NexNumber n2 = NexNumber(3, 9, "n2"); //PH yüzler
NexNumber n3 = NexNumber(3, 10, "n3"); //Su seviye
NexText t4 = NexText(3, 14, "t4");
NexText t2 = NexText(3, 5, "t2");
NexText t3 = NexText(3, 6, "t3");
NexText t1 = NexText(3, 4, "t1");
NexPicture p2 = NexPicture(3, 12, "p2");
NexPicture p3 = NexPicture(3, 16, "p3");

NexButton b0 = NexButton(3, 14, "b0");// Sistemi tekrardan başlat.
NexButton b1 = NexButton(3, 11, "b1");// Sistemi tekrardan başlat.
NexButton b2 = NexButton(3, 15, "b2");// Sistemi tekrardan başlat.
//NexDSButton bt0 = NexDSButton ( 3 , 10, " bt0 " );
NexDSButton bt1 = NexDSButton ( 3 , 18, " bt1 " );

char buffer[100] = {0};
NexTouch *nex_listen_list[] =
{
    &n0,
    &n4,
    &n1,
    &n2,
    &n3,
```

```
&t1,  
&t2,  
&t3,  
&t4,  
&b0,  
&b1,  
&b2,  
// &bt0,  
&bt1,  
&p2,  
&p3,  
NULL  
};
```

```
/*RGB için tanımlamalar*/
```

```
#define S0 4 // RGB sensörü için tanımlamalar
```

```
#define S1 5 //RGB sensörü için tanımlamalar
```

```
#define S2 6 //RGB sensörü için tanımlamalar
```

```
#define S3 7 //RGB sensörü için tanımlamalar
```

```
#define sensorOut 8 //RGB sensörü için tanımlamalar
```

```
int kirmizi_f = 0, yesil_f = 0, mavi_f = 0; // RGB sensörü için tanımlamalar
```

```
/*PH sensörü için tanımlamalar*/
```

```
const int pinPo = A0; // PH kontrolü için tanımlamalar. Sensör analog sinyal üretir. okunan analog sinyal A0 ucundan okunacaktır.
```

```
float vyslednePH; // PH değeri için tanımlanan değişken
```

```
float calibration = -1.08; //change this value to calibrate
```

```
const int analogInPin = A0;
```

```
int sensorValue = 0;
```

```
unsigned long int avgValue;
```

```
float b;
```

```
int buf[10],temp;
```

```

int mod_say=0;
int akvaryum_seviye = 0;

/*Ultrasonic sensör için tanımlamalar*/
const int trigPin = 10; // Ultrasonic sensör için tanımlamalar
const int echoPin = 9; // Ultrasonic sensör için tanımlamalar
uint16_t number=0;

/*Akvaryumda ki elemanlar*/
const int su_besleme_pompasi = 11; //
//const int selonoid2 = 12; //
const int su_pompa = 28; //
const int gubre_pompa = 22, hasat_pompa = 23, RGB_Motor = 24; //
const int co2_valf = 25;
const int aydinlatma = 26;
const int cokertme_pompa = 27;
int aydinlatma_say=0;
long uzaklik = 0, hasat_basladi = 0;
long eklemesi_gereken_litre = 0;
long pompa_calisma_suresi = 0;
int sistem_baslat = 0;//sistemi nextiondan basılan bir tuş ile çalıştırmak için
int sistem_kurulum = 1; //yeni açılan sistemi 1 kere kontrol etmek için verilen değişken.

/*Milis Fonksiyonu*/
unsigned long eskiZaman = 0;
unsigned long yeniZaman;

void b0PopCallback(void *ptr)
{
}
void b1PopCallback(void *ptr)
{

```

```

    uint32_t number = 41;
    p3.setPic(number);
    sistem_baslat=1;
    sistem_kurulum = 1;
}
void b2PopCallback(void *ptr)
{
    uint32_t number = 39;
    p3.setPic(number);
    sistem_baslat=0;
    number = 35;
    p2.setPic(number);
    digitalWrite(su_pompa, LOW);digitalWrite(su_besleme_pompasi, LOW);
    digitalWrite(gubre_pompa, LOW);
    digitalWrite(RGB_Motor, LOW);
}

/*void bt0PopCallback(void *ptr)
{
}
*/
/*void bt1PopCallback(void *ptr)
{
    uint32_t dual_state;
    NexDSButton *btn = (NexDSButton *)ptr;
    memset(buffer, 0, sizeof(buffer));
    bt1.getValue(&dual_state);
    if(dual_state)
    {
        digitalWrite(13,HIGH);
        uint32_t number = 41;
        p3.setPic(number);

```

```

        sistem_baslat=1;
        sistem_kurulum = 1;
    }
    else
    {
        digitalWrite(13,LOW);
        uint32_t number = 39;
        p3.setPic(number);
        sistem_baslat=0;
        number = 35;
        p2.setPic(number);
    }
}*/

void n0PopCallback(void *ptr)
{
    dbSerialPrintln("n0PopCallback");
}
void n4PopCallback(void *ptr)
{
    dbSerialPrintln("n4PopCallback");
}
void setup(void)
{
    nexInit();
    Serial.begin(9600);
    attachInterrupt(5, BASLA , RISING);
    uint32_t number = 35;
    p2.setPic(number); //Sistemi başlat yazısı

    b1.attachPop(b1PopCallback, &b1);
    b2.attachPop(b2PopCallback, &b2);

```



```

pinMode(buton, INPUT);
pinMode(13,OUTPUT);
// b0.attachPop(b0PopCallback, &b0);
// bt1.attachPop(bt1PopCallback, &bt1);
pinMode(S0, OUTPUT);
pinMode(S1, OUTPUT);
pinMode(S2, OUTPUT);
pinMode(S3, OUTPUT);
pinMode(sensorOut, INPUT);

digitalWrite(S0, HIGH); // S0 HIGH S1 LOW yaparak renk sensörünü aktif ettik
digitalWrite(S1, LOW); //

pinMode(trigPin, OUTPUT); //
pinMode(echoPin, INPUT);
pinMode(su_besleme_pompasi, OUTPUT);
// pinMode(selonoid2, OUTPUT);
pinMode(gubre_pompa, OUTPUT);
pinMode(hasat_pompa, OUTPUT);
pinMode(su_pompa, OUTPUT);
pinMode(RGB_Motor, OUTPUT);
pinMode(aydinlatma, OUTPUT);
pinMode(cokertme_pompa, OUTPUT);
digitalWrite(aydinlatma,HIGH);
}
void su_seviye_kontrol()
{
long sure;
nexLoop(nex_listen_list);

digitalWrite(trigPin, LOW); /* sensor pasif hale getirildi */

```

```

delayMicroseconds(5);
nexLoop(nex_listen_list);
digitalWrite(trigPin, HIGH); /* Sensöre ses dalgasının üretmesi için emir verildi */
delayMicroseconds(10);
nexLoop(nex_listen_list);
digitalWrite(trigPin, LOW); /* Yeni dalgaların üretilmemesi için trig pini LOW konumuna
getirildi */
sure = pulseIn(echoPin, HIGH, 11600); /* ses dalgasının geri dönmesi için geçen süre
ölçülüyor */
uzaklik = sure / 29.1 / 2; /* ölçülen süre uzaklığa çevriliyor */
akvaryum_seviye=map(uzaklik,0,50,50,0);
nexLoop(nex_listen_list);
n3.setValue(akvaryum_seviye);
if (akvaryum_seviye < 40 && hasat_basladi == 0) //10 cm den yüksek olduğunda döngüye
gir
{
nexLoop(nex_listen_list);
uint32_t number = 26;
p2.setPic(number); //Su seviyesi düşük yazısı
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
su_ayari(); //su_ayari() fonksiyonuna gitmek için bir sorgulama işareti
nexLoop(nex_listen_list);
digitalWrite(su_besleme_pompasi, LOW);
//digitalWrite(selonoid2, HIGH);
digitalWrite(gubre_pompa, LOW);
number = 38;
p2.setPic(number); //Su seviyesi normal yazısı
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
}

```

```

    }
    }
    nexLoop(nex_listen_list);
}
void su_ayari()
{
    nexLoop(nex_listen_list);
    //eklemesi_gereken_litre = 0.9 * uzaklik; //Kabın ölçülerine göre: x ekseninde ki değişimle
    0.9 sabitinin çarpımı akvaryumdaki litreyi verir.
    //pompa_çalışma_suresi= eklemesi_gereken_litre / pompanın saniyedeki lt kapasitesi
    nexLoop(nex_listen_list);
    uint32_t number = 25;
    p2.setPic(number); // sisteme su alınıyor yazısı
    for(int a=0;a<=7;a++){
        nexLoop(nex_listen_list);
        gecikme();
    }
    //sisteme su ve besin veriliyor yazısı
    digitalWrite(su_besleme_pompasi, HIGH);
    //digitalWrite(selonoid2, LOW);
    digitalWrite(gubre_pompa, HIGH);
    nexLoop(nex_listen_list);
    su_seviye_kontrol();
    nexLoop(nex_listen_list);
    //milis donkiyonunu kullanarak pompa_çalışma_suresi sonunda sıvı dolumunu
    // kes. Daha sonra su_seviye_kontrol fonksiyonuna git kontrolü yap
    nexLoop(nex_listen_list);
}
void ph_kontrol() // Türkçeleştir
{
    nexLoop(nex_listen_list);
    for(int i=0;i<10;i++)
    {

```

```

buf[i]=analogRead(analogInPin);
delay(30);
nexLoop(nex_listen_list);
}
for(int i=0;i<9;i++)
{
for(int j=i+1;j<10;j++)
{
if(buf[i]>buf[j])
{
nexLoop(nex_listen_list);
temp=buf[i];
buf[i]=buf[j];
buf[j]=temp;
}
}
}
avgValue=0;
for(int i=2;i<8;i++)
avgValue+=buf[i];
float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6;
float vyslednePH = 5.70 * pHVol + calibration;
//Serial.print("sensor = ");
//Serial.println(vyslednePH);
nexLoop(nex_listen_list);
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
float vyslednePH1 = vyslednePH * 100;
// Serial.println (vyslednePH1);
int deg1 = (int)vyslednePH1;

```

```

nexLoop(nex_listen_list);
//Serial.println (deg1);
int birler = deg1 % 10;
//Serial.println (birler);
int deg2 = deg1 / 10;
int onlar = deg2 % 10;
//Serial.println (onlar);
int deg3 = deg2 / 10;
int yuzler = deg3 % 10;
//Serial.println (yuzler);
nexLoop(nex_listen_list);
delay(10);
n0.setValue(birler);
n4.setValue(birler);
n1.setValue(onlar);
n2.setValue(yuzler);
nexLoop(nex_listen_list);
if ( 6 <= vyslednePH < 8)
{
    nexLoop(nex_listen_list);
    uint32_t number = 30;
    p2.setPic(number); //Ph değeri normal yazıyor
    for(int a=0;a<=7;a++){
        nexLoop(nex_listen_list);
        gecikme();
    }
}
if ( vyslednePH > 8 && hasat_basladi == 1) //ph değeri 8.5 ten büyük ve hasat başlamamışsa
"ph_ayari" fonksiyonuna git
{
    nexLoop(nex_listen_list);
    uint32_t number = 36;

```

```

p2.setPic(number); //Ph değeri yüksek yazıyor
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
ph_ayari();
}
nexLoop(nex_listen_list);
}

```

```

void ph_ayari()
{
nexLoop(nex_listen_list);
uint32_t number = 27;
p2.setPic(number); // CO2 VERİLİYOR YAZIYOR
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
digitalWrite(co2_valf, HIGH);
do
{
nexLoop(nex_listen_list);
ph_kontrol();
} while (vyslednePH > 8);
digitalWrite(co2_valf, LOW);
number = 30;
p2.setPic(number);
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
}

```

```

    nexLoop(nex_listen_list);
}

void hasat_kontrol()// rgb renk kontrolü
{
    nexLoop(nex_listen_list);
    digitalWrite(RGB_Motor,HIGH);
    for(int a=0;a<=70;a++){ //// DEĞİŞTİRİLECEK!!!!!!
    nexLoop(nex_listen_list);
    gecikme();
    }
    nexLoop(nex_listen_list);

    /******* Kirmizi Renk Filtresi*****
    nexLoop(nex_listen_list);
    digitalWrite(S2, LOW);
    digitalWrite(S3, LOW);
    kirmizi_f = pulseIn(sensorOut, LOW);
    kirmizi_f = map(kirmizi_f, 1, 5000, 0, 100);
    /*Serial.print("Kirmizi= ");//printing name
    Serial.print(kirmizi_f);//printing RED color frequency
    Serial.print(" ");
    delay(10);*/
    nexLoop(nex_listen_list);

    /******* Yesil Renk Filtresi*****
    nexLoop(nex_listen_list);
    digitalWrite(S2, HIGH);
    digitalWrite(S3, HIGH);
    yesil_f = pulseIn(sensorOut, LOW);
    yesil_f = map(yesil_f, 86, 4000, 0, 100);

```

```

// Serial.print("Yesil= ");
// Serial.print(yesil_f);
// Serial.print(" ");
// delay(10);
nexLoop(nex_listen_list);

//***** Mavi Renk Filtresi*****
nexLoop(nex_listen_list);
digitalWrite(S2, LOW);
digitalWrite(S3, HIGH);
mavi_f = pulseIn(sensorOut, LOW);
mavi_f = map(mavi_f, 25, 4000, 0, 100);
/*Serial.print("Mavi= ");*/printing name
Serial.print(mavi_f);/*printing RED color frequency
Serial.println(" ");
delay(10);*/
nexLoop(nex_listen_list);

uint16_t len;
memset(buffer, 0, sizeof(buffer));
itoa(kirmizi_f, buffer, 10);
t4.setText(buffer);
t2.setText(buffer);
nexLoop(nex_listen_list);
memset(buffer, 0, sizeof(buffer));
itoa(yesil_f, buffer, 10);
t1.setText(buffer);
nexLoop(nex_listen_list);
memset(buffer, 0, sizeof(buffer));
itoa(mavi_f, buffer, 10);
t3.setText(buffer);
nexLoop(nex_listen_list);

```



```

/* if (50 < kirmizi_f < 60) //değiştirilebilir
{
  if (150 < yesil_f < 200)
  {
    if (50 < mavi_f < 60)
    {
      uint32_t number = 33;
      p2.setPic(number);
      gecikme();
      hasat_zamani();
    }
  }
}
*/

if(75 < kirmizi_f && kirmizi_f < 120)
{
  if(100 < yesil_f && yesil_f < 140)
  {
    if(80 < mavi_f && mavi_f < 130)
    {
      nexLoop(nex_listen_list);
      uint32_t number = 33;
      p2.setPic(number); //yosun hazır yazısı
      for(int a=0;a<=7;a++){
        nexLoop(nex_listen_list);
        gecikme();
      }
      digitalWrite(RGB_Motor,LOW);
      hasat_zamani();
    }
  }
}

```

```

    nexLoop(nex_listen_list);
}
}
}
    nexLoop(nex_listen_list);
}

```

```

void hasat_zamani()

```

```

{
    nexLoop(nex_listen_list);
    uint32_t number = 34;
    p2.setPic(number); //hasat başlatılıyor yazısı
    for(int a=0;a<=7;a++){
        nexLoop(nex_listen_list);
        gecikme();
    }
}

```

```

    hasat_basladi = 1;

```

```

    digitalWrite(hasat_pompa, HIGH);

```

```

    nexLoop(nex_listen_list);

```

```

    do

```

```

    { nexLoop(nex_listen_list);

```

```

        su_seviye_kontrol();

```

```

    } while (akvaryum_seviye > 24); // akvaryumda ki su boşaldı mı????

```

```

    for(int a=0;a<=25;a++){ //5 sn ye bekle ki hortumlarda ki su boşalsın.

```

```

        nexLoop(nex_listen_list);

```

```

        gecikme();

```

```

    }

```

```

    digitalWrite(hasat_pompa, LOW); //boşaltım pompasını kapat

```

```

    nexLoop(nex_listen_list);

```

```

    hasat_basladi = 0; // hasatın bittiğini bildir.

```

```

    sistem_baslat = 0;

```

```

naOH (); // çökertme işlemi başlasın
nexLoop(nex_listen_list);
}
void naOH()
{
nexLoop(nex_listen_list);
digitalWrite(cokertme_pompa,HIGH);
uint32_t number = 42;
p2.setPic(number);
for(int a=0;a<=25;a++){ //çökertme süresi DEĞİŞEBİLİR!!
nexLoop(nex_listen_list); //bu değer diyafıramlı pompaya göre hesaplanacak
gecikme();
}
digitalWrite(cokertme_pompa,LOW);
sistem_baslat=0;
}

void BASLA ()
{
//sistem_baslat=1;
attachInterrupt(5, DUR , RISING);
}

void DUR ()
{
//sistem_baslat=0;
attachInterrupt(5, BASLA , RISING);
}

void gecikme()
{
nexLoop(nex_listen_list);
}

```

```

delay(200);
nexLoop(nex_listen_list);
}
void loop(void)
{
nexLoop(nex_listen_list);
digitalWrite(su_besleme_pompasi, LOW);
// digitalWrite(selonoid2, HIGH);
digitalWrite(gubre_pompa, LOW);
nexLoop(nex_listen_list);
if (sistem_baslat == 1 && sistem_kurulum == 1)
{
nexLoop(nex_listen_list);
digitalWrite(su_pompa, HIGH);
////////// SİSTEM BAŞLATILİYOR //////////
uint32_t number = 22; //sistem başlatılıyor yazısı
p2.setPic(number);
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}

////////// SİSTEM KONTROL EDİLİYOR //////////
number = 37;
p2.setPic(number); //burada "sistem kontrol ediliyor" yazdır
nexLoop(nex_listen_list);
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}

////////// SU SEVİYESİ ÖLÇME //////////

```

```
nexLoop(nex_listen_list);
number = 24;
p2.setPic(number);//su seviyesi ölçülüyor yazdır
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
su_seviye_kontrol();
```

```
////////// PH KONTROL ////////////
```

```
nexLoop(nex_listen_list);
number = 28;
p2.setPic(number);//ph kontrol ediliyor yazısı
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
ph_kontrol();
```

```
////////// HASAT KONTROL ////////////
```

```
nexLoop(nex_listen_list);
number = 31;
p2.setPic(number); //yosun kontrol ediliyor yazdır
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
sistem_baslat = 1;
hasat_kontrol();
sistem_kurulum = 0;
if(sistem_baslat==0)
{
```

```

    nexLoop(nex_listen_list);
    uint32_t number = 35;
    p2.setPic(number); //Sistemi başlat yazısı
}
nexLoop(nex_listen_list);
}
//Serial.print("sistem_basladi");
//Serial.println(sistem_baslat);

/*5 dk bir su seviyesini kontrol et (300000ms = 5dk)*/
yeniZaman = millis();
if (yeniZaman - eskiZaman > 30000 && sistem_baslat == 1) //30 saniye
{ aydinlatma_say++;
  nexLoop(nex_listen_list);

  /////////// SİSTEM KONTROL EDİLİYOR ///////////
  uint32_t number = 37;
  p2.setPic(number); //burada "sistem kontrol ediliyor" yazdır
  nexLoop(nex_listen_list);
  for(int a=0;a<=7;a++){
    nexLoop(nex_listen_list);
    gecikme();
  }

  /////////// SU SEVİYESİ ÖLÇME ///////////
  nexLoop(nex_listen_list);
  number = 24;
  p2.setPic(number); //su seviyesi ölçülüyor yazdır
  for(int a=0;a<=7;a++){
    nexLoop(nex_listen_list);
    gecikme();
  }
}

```

```

su_seviye_kontrol();

////////// PH KONTROL ////////////
nexLoop(nex_listen_list);
number = 28;
p2.setPic(number);//ph kontrol ediliyor yazısı
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
ph_kontrol();

////////// HASAT KONTROL ////////////
nexLoop(nex_listen_list);
number = 31;
p2.setPic(number); //yosun kontrol ediliyor yazdır
for(int a=0;a<=7;a++){
nexLoop(nex_listen_list);
gecikme();
}
hasat_kontrol();

////////// SİSTEM STABİL ÇALIŞIYOR ////////////
number = 23;
p2.setPic(number);//sistem stabil çalışıyor yazısı
nexLoop(nex_listen_list);

////////// ZAMAN ÖLÇÜMÜ ////////////
eskiZaman = yeniZaman;
nexLoop(nex_listen_list);

////////// SİSTEM BAŞLAT KONTROLÜ ////////////

```

```

if(sistem_baslat==0)
{
  nexLoop(nex_listen_list);
  uint32_t number = 35;
  p2.setPic(number); //Sistemi başlat yazısı
}
  nexLoop(nex_listen_list);
}

//////////AYDINLATMA ZAMANLAMASI //////////
if (aydinlatma_say == 5) //
{
  mod_say++;
  nexLoop(nex_listen_list);
  if(mod_say % 2 == 0)
  {
    digitalWrite(aydinlatma,HIGH);
    nexLoop(nex_listen_list);
  }
  else
  digitalWrite(aydinlatma,LOW);
  nexLoop(nex_listen_list);
  aydinlatma_say=0;
}
  nexLoop(nex_listen_list);
/* int val = digitalRead(buton);
if(val==1)
{
  sistem_baslat=1;
  delay(250);
}
else

```



```
{
  sistem_baslat=0;
  delay(250);
}
*/
nexLoop(nex_listen_list);
}
```