

**HAYVAN BARINAKLARINDAN SALINAN KİRLETİCİ
GAZLARIN FOTOBİYOREAKTÖR SİSTEMLERİ İLE
AZALTILMASI**

Seyit UĞUZ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAYVAN BARINAKLARINDAN SALINAN KİRLETİCİ GAZLARIN
FOTOBİYOREAKTÖR SİSTEMLERİ İLE AZALTILMASI**

Seyit Uğuz
0000-0002-3994-8099

Prof. Dr. Ercan ŞİMŞEK
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Seyit UĞUZ tarafından hazırlanan “**HAYVAN BARINAKLARINDAN SALINAN KİRLETİCİ GAZLARIN FOTOBİYOREAKTÖR SİSTEMLERİ İLE AZALTILMASI**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ercan ŞİMŞEK

Başkan	:	Prof. Dr. Ercan ŞİMŞEK 0000-0000-0000-0000 Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Prof. Dr. Erkan YASLIOĞLU 0000-0000-0000-0000 Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Prof. Dr. Mete YILMAZ 0000-0000-0000-0000 Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Anabilim Dalı	İmza
Üye	:	Prof. Dr. Yahya ULUSOY 0000-0000-0000-0000 Bursa Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Programı	İmza
Üye	:	Prof. Dr. Ünal KIZIL 0000-0000-0000-0000 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././.....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../.....
Seyit UĞUZ

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı
Tarih

Öğrencinin Adı-Soyadı
Tarih

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

HAYVAN BARINAKLARINDAN SALINAN KİRLLETİCİ GAZLARIN FOTOBİYOREAKTÖR SİSTEMLERİ İLE AZALTIKMASI

Seyit UĞUZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ercan ŞİMŞEK

Hayvansal üretimden kaynaklanan kirletici gazların, başta küresel ısınma olmak üzere olumsuz çevresel etkileri nedeniyle üreticileri, çevrecileri ve ilgili devlet kurumlarını her geçen gün rahatsız etmektedir. Kirletici gaz emisyonlarının tarım ve hayvancılığı da olumsuz yönde etkilemesine rağmen, ülkemizde emisyonların azaltılması ile ilgili çok fazla bilimsel çalışma bulunmamaktadır. Gelişmiş ülkelerde uygulanan emisyon azaltım yöntemleri, başta yüksek maliyetli olmalarının yanında sürdürülebilir sistemler olmamaları bu yöntemlerin ülkemizde uygulanabilirliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Son yılların yenilenebilir hammadde kaynağı olan mikroalgler ise, hayvan barınaklarından salınan kirletici gazların azaltılmasında daha ekonomik ve sürdürülebilir bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, hayvansal üretim yapılarından kaynaklanan kirletici gazların fotosentez yoluyla mikroalgler aracılığıyla azaltılması amaçlanmıştır.

Çalışmada, Güney Dakota Devlet Üniversitesi'nin domuz çiftliğine 2 adet fotobiyoreaktör sistem entegre edilerek 3 hafta süreyle barınak iç ortam gazı ile alg gelişimi (*Scenedesmus dimorphus*) izlenmiştir. *Scenedesmus dimorphus*, barınak havasındaki NH₃ ve CO₂ konsantrasyonlarının sırasıyla 25,6 ppm ve 3150 ppm olduğu 17. günde maksimum hücre sayısına ulaşmıştır. Maksimum biyokütle konsantrasyonu ise, NH₃ ve CO₂ konsantrasyonlarının sırasıyla 14,6 ve 2250 ppm olduğu 11. günde elde edilmiştir. Fotobiyoreaktör sistemin NH₃ ve CO₂ azaltım etkinlikleri sırasıyla %31-50 ve %1-1.7 şeklinde gerçekleşmiştir. Bu sistemde, 1 g NH₃ ve CO₂'in azaltım maliyetleri sırasıyla 3,77\$ ve 0,20\$ olduğu hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, fotobiyoreaktör sistemlerin hayvansal üretimden kaynaklanan kirletici gazların azaltılmasında alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca kış mevsiminde fotobiyoreaktörden çıkan hava, barınak içerisine tekrar verilerek yapının ısıtma yükü azaltılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Mikroalg, *Scenedesmus dimorphus*, kirleticiler, hayvan barınakları biyokütle, fotobiyoreaktör

2023, xiv + 89 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

MITIGATION OF POLLUTANT GASES RELEASED FROM ANIMAL BARNs BY PHOTOBIOREACTOR SYSTEMS

Seyit UĞUZ

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

Supervisor: Prof. Dr. Ercan ŞİMŞEK

Pollutant gases originating from animal production and negative environmental effects, especially global warming, are disturbing producers, environmentalists and relevant government institutions day by day. Although pollutant gas emissions also negatively affect agriculture and livestock, there are not many scientific studies on reducing emissions in our country. Emission reduction methods applied in developed countries, on the other hand, are not sustainable systems, which negatively affects their applicability in our country. Microalgae, which has been a renewable raw material source in recent years, is a more economical and sustainable method for reducing the pollutant gases released from animal barns. In this study, it is aimed to reduce the polluting gases originating from animal production structures by means of photosynthesis through microalgae.

In the study, two photobioreactor systems were integrated into the pig farm of South Dakota State University and algae growth (*Scenedesmus dimorphus*) was monitored with the exhaust barn air for 3 weeks. *Scenedesmus dimorphus* reached maximum cell count at day 17, when the NH₃ and CO₂ concentrations in the exhaust air were 25.6 ppm and 3150 ppm, respectively. The maximum biomass concentration was obtained on the 11th day, when the NH₃ and CO₂ concentrations were 14.6 and 2250 ppm, respectively. The NH₃ and CO₂ reduction efficiencies of the photobioreactor system were 31-50% and 1-1.7%, respectively. In this system, the abatement costs of 1 g of NH₃ and CO₂ were calculated to be \$3.77 and \$0.20, respectively. The results show that photobioreactor systems can be used as an alternative method to reduce polluting gases originating from animal production. In addition, the air coming out of the photobioreactor in winter will be recirculated into the barn, thereby reducing the heating load of the building.

Key words: Microalgae, *Scenedesmus dimorphus*, pollutants, animal barn, biomass, photobioreactor
2023, xiv + 89 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesi için gerekli zemini hazırlayan, bilgi ve tecrübeleriyle beni aydınlatan, yol gösteren ve hiçbir zaman emeğini esirgemeyen çok değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Ercan Şimşek' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve tamamlanmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Gary Anderson'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez dönemimin başlangıcında çalışmamı değerlendirerek tavsiyelerini esirgemeyen, fikir ve görüşlerini aldığım Prof. Dr. Mete Yılmaz ve Prof. Dr. Erkan Yashoğlu hocalarıma katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Hayatıma girdiği andan itibaren yaşamıma anlam ve değer katan, desteğini ve yardımını kalpten hissettiğim, iyi ve kötü her anımı güzelleştiren ve her zaman yanımda olacağını bildiğim sevgili eşim Buket UĞUZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın başlangıcından itibaren yanımda olan ve bana maddi manevi her türlü imkânı sağlayarak her konuda desteklerini hissettiğim sevgili annem Birsen Uğuz ve babam Mehmet Uğuz'a sonsuz şükranlarımı sunarım. Beni güçlü ve şanslı hissettiren, benimle bütün güzellikleri ve zorlukları paylaşan sevgili ablam Şerife Uğuz Arsu, eniştem Talip Arsu ve kardeşim Şeyma Nur Uğuz'a ve minik yeğenlerim Arda ve Atlas'a teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman koşulsuz destek ve yardımlarıyla yanımda olan ve aileye sonradan katılan oğulları olmaktan gurur duyduğum sevgili annem Demet Ayten, babam Turgut Ayten ve kardeşim Tuğçe Ayten'e de teşekkürü bir borç bilirim.

Amerika'da yürüttüğüm laboratuvar çalışmalarım sırasında akademik bilgi ve tecrübeleriyle kilometrelerce uzaktan bana sabırla destek olan sevgili arkadaşım Gökşen Arık ve eşi Burak Arık'a teşekkür ederim.

Dost deyince aklıma gelen tek kişi, en yakın arkadaşım, her zaman yanımda hissettiğim kardeşim İhsan Demirtaş'a teşekkür ederim.

Seyit UĞUZ
.../.../.....

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
2.1. Hayvan Barınakları İç Ortamında Bulunan Kirletici Gazlar.....	6
2.1.1. Amonyak.....	6
2.1.2. Karbon dioksit.....	8
2.1.3. Metan.....	8
2.1.4. Hidrojen sülfür.....	9
2.1.5. Uçucu Organik Bileşikler (VOC).....	9
2.2. Hayvan Barınaklarından Kaynaklanan Kirletici Gaz Emisyonları ve Miktarları	10
2.3. Kirletici Gazların Çevreye Etkisi.....	14
2.4. Kirletici Gazların Azaltılması İçin Kullanılan Yöntemler.....	15
2.4.1. Barınak tasarımı.....	16
2.4.2. Yem rasyonu.....	16
2.4.3. Hava temizleyiciler.....	17
2.4.4. Biyofiltreler.....	17
2.4.5. Biyokömürler.....	18
2.5. Mikroalg Üretim Sistemleri.....	19
2.5.1. Açık Sistemler.....	19
2.5.2. Kapalı sistemler.....	22
2.6. Mikroalg Gelişiminde Etkili Parametreler.....	26
2.6.1. Alg türü.....	28
2.6.2. Işık.....	30
2.6.3. Sıcaklık.....	32
2.6.4. Havalandırma.....	33
2.6.5. Besin.....	33
2.6.6. pH.....	35
2.7. Mikroalglerin Hasat Edilmesi.....	36
2.8. Mikroalglerin Kullanım Alanları.....	37
2.8.1. Mikroalglerin atıksu arıtımında kullanılması.....	38
2.8.2. Kirletici gazların azaltılmasında mikroalg uygulaması.....	38
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	41
3.1. Materyal.....	41
3.1.1. Alg ve besiyeri.....	41
3.1.2. Fotobiyoreaktör tasarımı.....	43
3.1.3. Barınak denemesi.....	45
3.2. Yöntem.....	48
3.2.1. Hücre sayımı.....	48

3.2.2. Biyokütle ölçümü	48
3.2.3. Amonyak ve karbondioksit gaz konsantrasyonlarının ölçümü	49
3.2.4. NH ₃ ve CO ₂ gaz konsantrasyonlarının azaltım miktarlarının hesaplanması.....	49
3.2.5. Enerji Tüketimi	51
3.3. İstatistiksel analizler.....	52
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	53
4.1. Mikroalg gelişimine etki eden parametreler	53
4.1.1. pH.....	53
4.1.2. Sıcaklık.....	55
4.1.3. Amonyak ve karbondioksit gaz konsantrasyonları	56
4.2. Alg Gelişimi	58
4.2.1. Hücre Konsantrasyonu	58
4.2.2. Biyokütle verimi	61
4.3. Amonyak ve karbondioksit gazı azaltım etkinliği	63
4.4. Ekonomik Analiz	65
5. SONUÇ	68
KAYNAKLAR	71

EK 1 86

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
NH ₃	Amonyak
CO ₂	Karbondioksit
CH ₄	Metan
N ₂ O	Nitröz oksit
N	Azot
P	Fosfor
K	Potasyum
Zn	Çinko
Fe	Demir
Cu	Bakır
NH ₄ NO ₃	Amonyum nitrat
NH ₄ HSO ₄	Amonyum bisülfat
SO ₂	Kükürt dioksit
HNO ₃	Nitrik asit
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
ppm	Milyonda bir birim (parts per million)
AU	500 kg canlı ağırlık
NH ₃ -N	Amonyak azotu
Ha	Hektar
Tg	Teragram
H ₂ S	Hidrojen sülfür
C	Karbon
H	Hidrojen
O	Oksiyen
Mg	Magnezyum
NaNO ₃	Sodyum nitrat
K ₂ HPO ₄ .3H ₂ O	Potasyum fosfat di-bazik
KH ₂ PO ₄	Mono Potasyum Fosfat
MgSO ₄ .7H ₂ O	Magnezyum sülfat
CaCl ₂ .2H ₂ O	Kalsiyum Klorür Dihidrat
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	Kalsiyum Nitrat Tetrahidrat
Na ₂ SiO ₃ .9H ₂ O	Sodyum Silikat
FeCl ₃	Demir(III) Klorür
FeSO ₄ .7H ₂ O	Demir sülfat heptahidrat
EDTA	Etilendiamin tetraasetik asit
Na ₂ CO ₃	Sodyum karbonat
NaCl	Sodyum Klorür
KOH	Potasyum hidroksit
H ₃ BO ₄	Borik asit
MnCl ₂ .4H ₂ O	Mangan (II) Klorür
ZnSO ₄ .7H ₂ O	Çinko sülfat
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	Sodyum molibdat
CuSO ₄ .5H ₂ O	Bakır (II) sülfat

$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Kobalt nitrat heksahidrat
MoO_3	Molibden trioksit
OH^-	Hidroksit
SO_2	Kükürt dioksit
K_2HPO_4	Dipotasyum fosfat
HCl	Hidroklorik Asit
NaOH	Sodyum hidroksit
μ	Spesifik büyüme hızı (gün^{-1})
N_{t1}	t_1 inci gündeki hücre konsantrasyonu (hücre sayısı/mL)
N_{t0}	t_0 ncı gündeki hücre konsantrasyonu (hücre sayısı/mL)
t_d	İkilenme süresi (gün)
R_{gaz}	CO_2 ve NH_3 fiksasyon oranı ($\text{mg L}^{-1} \text{gün}^{-1}$)
$C_{C/N}$	S. Dimorphus türünün karbon (C) ve azot (N) içeriği (%)
Y	Biyokütle verimi ($\text{mg L}^{-1} \text{gün}^{-1}$)
M_{gaz}	CO_2 ve NH_3 gazlarının moleküler ağırlığı
$M_{C/N}$	Karbon (C) ve azotun (N) moleküler ağırlığı
E_{gaz}	NH_3 ve CO_2 gaz azaltım etkinliği
C_{gaz}	PBR'a CO_2 ve NH_3 gaz konsantrasyonları ($\text{mg L}^{-1} \text{gün}^{-1}$)
E	Günlük enerji tüketimi (kWh)
$P_{(W)}$	Cihaz gücü (W)
kWh	Kilovat saat
t	Zaman (saat gün^{-1})
EE	Enerji verimliliği
H_2CO_3	Karbonik asit
HCO_3^-	Bikarbonat iyonu
CO_3^{2-}	Karbonat iyonu

Kısaltmalar Açıklama

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesi
PBR	Fotobiyoreaktör
PM	Partikül madde
VOC	Uçucu organik bileşikler
BBM	Bold's Basal Medium
AOM	Algojenik organik maddeler
UTEX	The University of Texas at Austin

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Çalışmanın yürütüldüğü domuz barınağında kullanılan biyofiltre sistem görüntüsü..... 18
Şekil 2.2.	Biyolojik kömür örneği 19
Şekil 2.3.	Yarış pisti havuzu şematik gösterimi 21
Şekil 2.4.	Dairesel havuz sistemleri..... 21
Şekil 2.5.	Yatay ve düşey tübüler fotobiyoreaktör sistem örnekleri 23
Şekil 2.6.	Plastik torba PBR sistemler..... 24
Şekil 2.7.	Karıştırmalı fotobiyoreaktör sistem..... 25
Şekil 2.8.	Düz panel fotobiyoreaktör sistemler 26
Şekil 2.9.	Mikroalglerin tipik büyüme evresi..... 28
Şekil 2.10.	Floresan Lambaların Işık Spektrumu 32
Şekil 2.11.	<i>Scenedesmus sp.</i> türünün farklı sıcaklıklardaki gelişimi..... 33
Şekil 3.1.	<i>Scenedesmus Dimorphus</i> alg kültürü 41
Şekil 3.2.	<i>Scenedesmus Dimorphus</i> 'un mikroskop altında görüntüsü..... 42
Şekil 3.3.	Alg ekiminin ilk günü..... 43
Şekil 3.4.	Panel tip fotobiyoreaktör..... 44
Şekil 3.5.	Alg gelişimi için kullanılan ışık sistemi..... 44
Şekil 3.6.	South Dakota Devlet Üniversitesi Domuz barınağı..... 45
Şekil 3.7.	Çalışmanın yürütüldüğü barınak iç ortamı..... 46
Şekil 3.8.	Barınak içerisine yerleştirilen fotobiyoreaktör sistem..... 47
Şekil 3.9.	Kurutulmuş biyokütleler 49
Şekil 3.10.	Gaz ölçüm cihazı..... 49
Şekil 4.1.	Deney boyunca alg kültür ortamının pH değerinin değişimi (pH dengelemesi yapılmadan önceki değerler) 55
Şekil 4.2.	Deney süresince kültür ortamının sıcaklık değişimi..... 56
Şekil 4.3.	NH ₃ ve CO ₂ gaz konsantrasyonlarının değişimi 58
Şekil 4.4.	İki PBR'de <i>S. dimorphus</i> hücre konsantrasyonları (Veriler ilk gün ki hücre konsantrasyonlarına göre normalize edilmiştir)... 61
Şekil 4.5.	21 günlük deney boyunca biyokütle konsantrasyonu değişimi... 62

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Domuz ve süt sığırı barınaklarından toplanan hava örneklerinde bulunan organik bileşenler	10
Çizelge 2.2. Hayvansal üretimden kaynaklanan sera gazı emisyon miktarlarını değiştiren faktörler	10
Çizelge 2.3. Farklı tür barınaklardan kaynaklanan amonyak konsantrasyonları ve emisyonları.....	12
Çizelge 2.4. Süt sığırı barınaklarındaki sera gazı konsantrasyonları ve emisyonları.....	13
Çizelge 2.5. Kümes hayvanlarından kaynaklanan sera gazı konsantrasyonları ve emisyonları.....	13
Çizelge 2.6. Domuzculuk işletmelerinde sera gazı konsantrasyonları ve emisyonları.....	14
Çizelge 2.7. <i>S. dimorphus</i> 'un kimyasal özellikleri.....	29
Çizelge 2.8. <i>Scenedesmus dimorphus</i> türü için kullanılan çevresel parametreler	30
Çizelge 2.9. Farklı alg türleri için tasarlanmış olan üç farklı besiyerinin besin değerleri	34
Çizelge 3.1. Bold Basal Medium İçeriği	42
Çizelge 3.2. Fotobiyoreaktörlerde kullanılan malzemelerin optik özellikleri.....	43
Çizelge 4.1. Domuz barınağı iç ortamındaki karbondioksit ve amonyak gaz konsantrasyonları	57
Çizelge 4.2. Fotobiyoreaktör Sistemin Ekonomik Analizi.....	67

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun 2050'li yıllarda 7,2 milyardan 9,6 milyara çıkacağı tahmin edilmektedir. Nüfustaki bu %33'lük artışa karşılık, tarımsal ürünlere olan talebin ise yaklaşık %70 oranında artacağı düşünülmektedir (Rojas-Downing, Nejadhashemi, Harrigan, Woznicki, 2017). Bununla birlikte, hayvancılık işletmelerinin giderek artması ile çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri bilim insanlarını endişelendirmektedir.

Hayvan barınaklarından salınan amonyak (NH₃) ve karbondioksit (CO₂) gazları, asit birikimi, amonyum aerosollerinin oluşumu, ötrofikasyon ve iklim değişikliği dâhil olmak üzere çeşitli çevresel sonuçlara yol açmaktadır (Arogo, Westerman, Heber, Robarge, Classen, 2006). Amerika Birleşik Devletleri'nde, hayvancılık işletmeleri toplam antropojenik NH₃ emisyonlarının %50'sini oluşturmaktadır (Li, Powers, Rozeboom, Liu, Liao, 2016). Dong, Kang, Zhu, Tao, Chen, Xin, Harmon (2009) domuz kümeslerinde NH₃ ve CO₂ konsantrasyonlarının ilkbaharda sırasıyla 5,9±2,7 ve 2,183±1,376 mg m⁻³, yazın ise sırasıyla 6,8±3,4 ve 1,530±364 mg m⁻³ olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle hayvan barınaklarından salınan kirlenici gaz konsantrasyonlarının ve emisyonlarının azaltılması hem hayvan refahı açısından hem de çevresel etkileri açısından büyük önem taşımaktadır (Maurer, Koziel, Bruning, Parker, 2017).

Sera gazı konsantrasyonlarının artması küresel ısınma sebebiyle çevresel bir sorun haline gelmeye başlamıştır (Rotz, 2018). Dünya'da son 10 yılda sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar artış göstermiştir. Tarım sektörü enterik fermantasyon ve gübrenin araziye uygulanmasıyla sera gazı emisyonlarının artışına katkıda bulunmaktadır (Balafoutis, Beck, Fountas, Vangeyte, Van der Wal, Soto, 2017). ABD ve AB ülkelerinde hayvancılık işletmelerinden kaynaklanan kirlenici gaz emisyonlarının belirlenmesine ve azaltılmasına yönelik bilimsel araştırmalara büyük ölçüde maddi destek vermeye başlanmıştır.

Günümüzde, barınak iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi ve atmosfere salınan kirlenici gazların azaltılması için geliştirilen teknolojiler, hayvancılık sektörünün

öncelikleri arasında yer almaya devam etmektedir. Hayvan barınaklarından kaynaklanan kirletici gazları azaltmak sadece emisyonları azaltmakla kalmaz, aynı zamanda hayvanlar ve çiftlik çalışanları için iyileştirilmiş bir iç ortam havası sağlar. Literatürde hayvan barınaklarından salınan kirletici gazların azaltılmasına yönelik; ozonlama (Bildsoe vd., 2012; Liu vd., 2011), yıkayıcılar (Feilberg ve Sommer, 2013; Mostafa vd., 2020; Van der Heyden vd., 2015), biyofiltreler (Tymczyna vd., 2010), bariyerler (Berg vd., 2006), yem rasyonu ayarlama (Recharla vd., 2017; Saeed vd., 2018) ve fotokataliz (Zhang, Hou, Wang, Liu, Gao, Wang, 2022) gibi birçok yöntem geliştirilmiştir. Ancak, bu teknolojilerin çoğu, kurulum zorlukları ve yüksek maliyetler nedeniyle kapsamlı bir şekilde uygulanmamaktadır. Maurer vd., (2017), hayvan barınaklarından kaynaklanan gaz emisyonunun azaltılmasına ilişkin araştırmaların yalnızca %25'inin çiftliklerde test edildiğini ve ölçeklendirildiğini belirtmiştir.

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesi kapsamında UNFCCC'ye taraf bir ülke olarak 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını azaltmayı kabul etmiştir. Bu kapsamda tarım sektöründen kaynaklanan emisyonların azaltılmasına yönelik azaltım stratejileri geliştirilmiştir. Bu stratejiler arasında; toplulaştırma ile yakıt tasarrufu, meraların iyileştirilmesi, gübre yönetimi ve modern tarım uygulamaları yer almaktadır. Ne yazık ki tarımsal üretimde en yüksek emisyon kaynağına sahip olan enterik fermantasyonu kapsayan bir azaltım stratejisi bulunmamaktadır. Tarımsal kaynaklı sera gazlarının %47'si enterik fermantasyondan, %40'ı tarım topraklarından, %11'i gübre yönetiminden ve %2'si diğer atıklardan kaynaklanmaktadır (Ağaçayak ve Öztürk, 2017).

Sera gazı emisyonları küresel ısınma yanında tarım ve hayvancılığı da olumsuz yönde etkilemesine rağmen, Türkiye'de emisyonların azaltılması ile ilgili çok fazla bilimsel çalışma bulunmamaktadır. Kyoto protokolü gereğince, Türkiye de hayvan barınaklarından yayılan emisyonların kontrol altına alınması ve azaltılmasına ilişkin yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi zorunluluğu bulunmaktadır.

Son yıllarda biyoteknoloji alanında yapılan çalışmalar, NH₃, CH₄, N₂O ve CO₂ gibi kirletici gazların azaltılmasında düşük maliyetli ve çevre dostu sistemlerin

geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Yaygın biyoteknolojik yöntem olan mikroalgler, sera gazları için etkili azaltma yöntemi olmalarının yanı sıra, yüksek potansiyel protein ve yağ içeriği gibi faydalı özellikleriyle yem ve yiyecek olarak kullanılma olanağına sahiptir.

Dünyada artan alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyaçlar doğrultusunda mikroalgler yenilenebilir hammadde kaynaklarından birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yenilenebilir kaynak olarak mikroalgerin başta biyoyakıt üretimi olmak üzere, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında da önemli bir rolü vardır. Mikroalglerin büyüme hızlarının dolayısıyla biyokütle verimlerinin çok yüksek olması, üretimleri için ekilebilir araziye ihtiyaç duyulmaması, yüksek yağ içermeleri ve bütün bunlar için başta atık baca gazlarından olan karbondioksit ve diğer sera gazlarını kullanıyor olmaları ekonomik sürdürülebilir bir enerji kaynağı olduklarını göstermektedir (Soydemir, 2016).

Mikroalgler günümüzde biyoteknolojik süreçlerden geçirilme kolaylığı ve çok hızlı yetiştirilebilme özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle yakıt üretiminde, gıda maddesi olarak, ilaç sektöründe ve tarımda kullanımına yaygın olarak rastlanmaktadır. Bu nedenle mikroalgler üzerine yapılan çalışmalar biyoteknoloji alanında önemli bir yer tutmaktadır.

Atmosfere salınan kirletici gazların azaltılması için kullanılan biyoteknolojiler, kirleticilerin arıtılması için ekonomik ve çevre dostu bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Mikroalgler, biyomitigasyonda kirleticileri değerli ürünlere dönüştürmek veya metabolize etmek için kullanılır. Son zamanlarda, mikroalg yetiştiriciliği atık su arıtımında (Nagarajan vd., 2020) ve hayvansal atıkların (Peter vd., 2021) temizlenmesinde biyolojik bir arıtma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Feng, Sun, Zhang, Chang, Zhong, Wu, ... ve Ho, (2022), amonyak bakımından zengin atıksuların mikroalg ile biyohidrojen ve uçucu yağ asitlerine biyolojik dönüşümünü araştırmışlardır. Öte yandan araştırmacılar, mikroalgal yetiştirilen Fotobiyoreaktör Sistemlerinin (PBR) laboratuvar ölçekli çalışmalarda NH₃, CO₂ ve diğer kirleticileri azaltabildiğini bildirmişlerdir (Kang, Wang, Xin, Wen, 2014; Kang ve Wen, 2015; Liv vd., 2016). Hayvan barınaklarından yayılan kirleticiler, mikroalglerin gelişimi için

gerekli olan azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) - ve mikro besinler - çinko (Zn), sodyum (Na), demir (Fe) ve bakır (Cu) gibi ana besin maddelerini içerir (Li vd., 2014; 2017). Mikroalgler gibi fotosentetik organizmalar NH_3 ve CO_2 'yi kullanabilir ve bunları biyokütle, biyoyakıt ve hayvan yemine dönüştürebilir. Mikroalg türlerinin çoğu, yüksek karbondioksit konsantrasyonlarında gelişim gösterebilmektedirler.

Kang vd. (2014) çalışmalarında, laboratuvar ölçekli bir PBR'de yüksek konsantrasyonlarda saf amonyak içeren mikroalglerin büyüme performansını araştırmış ve *S. dimorphus* türünün %94,9 oranında amonyak azaltım kapasitesine sahip olduğunu belirmişlerdir. Bir başka çalışmada Kang ve Wen (2015), *S. dimorphus*'u CO_2 - NH_3 içeren bir hava ile beslenen düz panel PBR'de yetiştirmiştir. Sabit bir NH_3 gaz konsantrasyonunda ($42.4 \text{ mg L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$) ve farklı CO_2 konsantrasyonlarının (0.64 - $5.49 \text{ g L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$) *S. Dimorphus* türünün gelişimine etkisini incelemişlerdir. Karbondioksit konsantrasyonunun $0.64 \text{ g CO}_2 \text{ L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ olduğu durumda, *S. Dimorphus* türünde en yüksek CO_2 absorpsiyon verimliliğini %78 olarak elde etmişlerdir. Li vd. (2016) üç aşamalı olarak yürüttükleri bir çalışmada, hayvan barınaklarından kaynaklanan kirletici gazların fotobiyoreaktör sistemler ile azaltılması ve bir gıda kaynağı olarak kullanılmasının ekonomik etkisini incelemişlerdir. İlk aşamada, depolanmış hayvan gübresinden salınan gazları ile bir alg kültürünü besleyerek alglerin büyümesini ve NH_3 gazının azaltılmasını incelemişlerdir. Bu aşamada *Scenedesmus* ve *Desmodesmus* türleri ile sırasıyla %92,7 ve %71 NH_3 azaltma verimi elde etmişlerdir. İkinci aşamada, depolanan hayvan gübresinden elde edilen partikül madde (PM), alg üretimi için besin kaynağı olarak kullanılmıştır. Üçüncü aşamada, alg kültür ortamından besin elementleri ve tüm mineraller elimine edilmiş ve ortama besin kaynağı olarak sadece filtrelenmiş kümes havası verilmiş ve üç farklı alg türünün (*Scenedesmus*, *Chlorella* ve *Chlamydomonas*) gelişimi incelenmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, hayvansal üretimden salınan gaz kirleticilerin mikroalgler için besin maddesi olarak kullanılmasının alg üretim maliyetini azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, test sisteminin günlük 20 g m^{-2} alg biyokütle verimi ile yumurta başına $0,0005\text{\$}$ 'lık bir kâr sunduğunu da belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, domuz barınaklarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılmasında işletme ölçeğinde mikroalg kullanımının etkilerinin belirlenmesi

amaçlanmıştır. Çalışmanın uygulanabilirliğini kısıtlayacak en önemli faktörler; barınak iç ortam havasında bulunan gazların alglerde toksik etki yaratıp yaratmayacağı ve alg kültürünün sıcaklık, pH gibi çevresel faktörlerden olumsuz etkilenip etkilenmeyecekleridir. Çalışmada, laboratuvar şartlarında ekimi yapılan ve 10 L'lik kapasiteye getirilen 2 tane Fotobiyoreaktör sistem Amerika'da Güney Dakota Devlet Üniversitesi'nin domuz çiftliğine entegre edilerek 3 hafta süreyle barınak iç ortam gazı ile alg gelişimi izlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Hayvan Barınakları İç Ortamında Bulunan Kirletici Gazlar

Hayvan barınakları iç ortamında bulunan hava kirleticileri, barınak içerisindeki çeşitli biyolojik, fiziksel ve kimyasal kaynaklardan üretilen gaz ve partiküler maddeleri içermektedir. Gaz halindeki kirleticiler, çoğunlukla hayvan metabolizması, gübre ve idrarın parçalanması sonucu açığa çıkmaktadır. Bu kirleticilerin konsantrasyonları, barınak tipine, hayvan türüne, hayvan yaşına, yem rasyonuna, gübre yönetimine ve çevresel faktörlere (havalandırma, sıcaklık, nem) bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Amonyak (NH_3), metan (CH_4), karbon dioksit (CO_2) ve azot oksit (N_2O), hayvansal üretimden kaynaklanan önemli kirletici gazlardır (Chiumenti, da Borso, Pezzuolo, Sartori, Chiumenti, 2018). Metan (CH_4) ve azot oksit (N_2O) gazları küresel ısınmayı etkilerken amonyak (NH_3) gazı ise ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedir. Amonyak (NH_3) ayrıca aşırı seviyelere ulaşırsa ötrofikasyona sebep olmaktadır (Ngwabie, Jeppsson, Nimmermark, Swensson, Gustafsson, 2009).

2.1.1. Amonyak

Amonyak (NH_3) hayvansal üretimde gübre ve idrardaki azotlu bileşiklerin ayrışması sonucu ortaya çıkan zararlı kirletici bir gazdır. Amonyak ötrofikasyona ve toprak asitliğine etkisi olmakla birlikte insan sağlığı içinde oldukça zararlı bir gazdır. Ayrıca amonyak, küresel ısınma potansiyeline sahip olan ve CO_2 emisyonunun doğrudan 300 kat fazlasına eşdeğer olan N_2O gazının oluşumunda da rol oynamaktadır. Tarımsal faaliyetten kaynaklanan N_2O emisyonları temel olarak nitrifikasyon ve denitrifikasyonun mikrobiyal proseslerinden kaynaklanmaktadır. Azot, gübre veya gübre olarak toprağa eklendiğinde, doğrudan N_2O emisyonlarına neden olabilir (Hristov, Hanigan, Cole, Todd, McAllister, Ndegwa, Rotz, 2011).

Bu gaz, partiküler maddelerin oluşmasına sebep olan sülfür ve azot oksit bileşenleriyle atmosferde çok kolay ve hızlı bir şekilde kimyasal reaksiyona girebilmektedir. Ancak

bu reaksiyon, sıcaklık ve reaktanların konsantrasyonu gibi çevresel koşullara bağlıdır. (Hristov vd., 2011; Leytem, 2017).

Amonyak, atmosferde, amonyum nitrat (NH_4NO_3) ve amonyum bisülfat (NH_4HSO_4) gibi aerosoller oluşturmak için kükürt dioksit (SO_2), nitrik asit (HNO_3) ve sülfürik asit (H_2SO_4) gibi asidik bileşiklerle kolayca reaksiyona girebilir. Bu aerosoller atmosferde hava kirliliğine neden olmaktadır (Arogo, Westerman, Heber, 2003).

Amonyak gazı, hayvancılık işletmelerinde gübrenin katı zemin üzerinde depolanması durumunda daha yüksek konsantrasyonlara (10-20 ppm) ulaşabilmektedir. Ayrıca amonyak gaz konsantrasyonları kış mevsiminde düşük havalandırma koşullarında 25 ppm'in üzerindeki değerlere de çıkabilmektedir. İşletmelerde havalandırmanın yetersiz olması durumunda 40 ppm'i de aşabilmektedir (Casey, Gates, Wheeler, Zajackowski, Topper, Xin, Liang, 2003).

Ahırlarından yayılan amonyak emisyonları kaynağın türü (bina, gübre, depolama ve arıtma tipi, arazi uygulama yöntemi), sıcaklık, pH ve rüzgâr hızı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Literatürde ölçülen amonyak emisyonları, domuzlar, süt sığırları, besi sığırları ve kümes hayvanları için sırasıyla 0,2 ila 5, 0,12 ila 1,48, 0,28 ila 0,74 ve 0,5 ila 10 g $\text{NH}_3\text{-N/sa-AU}$ (1 AU = 500 kg canlı ağırlık) aralığında değişmektedir. Depolama ve işleme yapıları için bu rakamlar, lagünler ve depolama tankları için sırasıyla 0,25 ila 156 ve 3 ila 90 kg $\text{NH}_3\text{-N / ha-gün}$ olarak ölçülmüştür (Arogo vd., 2003).

Süt sığırları ve besi sığırlarının yetiştirildiği işletmelerde domuz ve kanatlıya oranla amonyak konsantrasyonları daha düşük seviyelerdedir. Domuzdan kaynaklanan NH_3 emisyon oranları 0,09 ile 12,9 gr $\text{NH}_3 \text{ AU}^{-1} \text{ saat}^{-1}$ arasındadır. Kanatlı kümes hayvanları için bu oranlar, 0,24-12,5 g $\text{NH}_3 \text{ AU}^{-1} \text{ saat}^{-1}$ olarak domuz ahırlarından daha fazladır (Casey vd., 2003).

2.1.2. Karbon dioksit

Karbondioksit aerobik ve anaerobik koşullar altında organik maddenin parçalanmasıyla üretilir. Ahırlardaki karbondioksit, hayvanların solunumu, ısınma ve pişirmeden çıkan gazlar ve organik maddenin bozulmasıyla yayılmaktadır (Mihina, Sauter, Palkovičová, Karandušovská, Brouček, 2012). Arazi uygulama alanlarından mineralli organik bileşiklerin toprak mikroorganizmaları ile ayrıştırılmasıyla da karbondioksit salınır. Karbondioksit üretiminin hayvancılık işletmelerindeki konsantrasyonlarının belirlenmesi oldukça zordur. Hayvan barınağındaki CO₂ konsantrasyonlarının hesaplanmasında, toplam CO₂, hayvan ve gübre olmak üzere iki farklı kaynaktan değerlendirilir. Gübre hayvan barınağında uzun süre saklanmazsa, CO₂ üretimi yüksek değerlere ulaşmamaktadır.

2.1.3. Metan

Hayvancılık işletmelerinde sera gazı emisyonlarının temel kaynaklarından birisi olan gübre metan ve azot oksit gaz emisyonlarının %7'sini oluşturmaktadır (Aguirre-Villegas & Larson, 2017). Hayvansal üretimde metan gazı, hayvansal atıklar, biyokütlelerin yanması ve yemlerin ruminantlarla fermantasyonu sonucu açığa çıkmaktadır. Literatürde, dünyada yıllık 550 Tg metan üretiminin 85 Tg'sinin ruminant hayvanlardan kaynaklandığı bilinmektedir. Bu sebeple, hayvansal üretimden kaynaklı metan gazı emisyonlarının belirlenmesi ve tahminlenmesi konusu oldukça önemlidir. Fakat barınaklardan yayılan metan emisyonlarının ölçülmesi oldukça zordur. Metan, atmosfer için karbondioksitten yaklaşık 21 kat daha fazla zararlıdır. Bu nedenle metan karbondioksitten sonra ikinci önemli sera gazıdır (Dong vd., 2009).

Literatürde, hayvansal üretimden kaynaklanan metan gazı emisyonları günlük hayvan başına 194 ila 390 g (1 AU=50 kg) arasında değişmektedir ve bu rakamlar hayvan ağırlığına, beslenmeye ve süt verimine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Doğal havalandırılmalı hayvan barınaklarından yayılan metan emisyonları ile ilgili çok fazla veri bulunmamaktadır. Çünkü doğal havalandırılmalı işletmelerde havalandırma oranı ve emisyon değerlerinin hesaplanması oldukça zordur (Jungbluth, Hartung, Brose, 2001).

2.1.4. Hidrojen sülfür

Hidrojen sülfür gazı gübre içerisinde bulunan kükürt içerikli organik bileşenlerin ayrışmasıyla açığa çıkmaktadır. Hidrojen sülfür gazı renksiz ve yoğunluk olarak havadan daha ağır bir gazdır. Düşük konsantrasyonlarda çürük yumurta kokusu vardır. Yüksek konsantrasyonlarda insan ve hayvan sağlığı için oldukça tehlikelidir. Ancak hayvansal üretimde karbondioksit ve amonyak gazına oranla daha düşük konsantrasyonlarda görülmektedir (Casey vd., 2003).

Literatürde, süt sığırları ve kümes hayvanlarından kaynaklanan H₂S emisyonları üzerine çok fazla veri yoktur. Hayvansal üretimde H₂S gazının temel kaynakları, depolama tankları ve lagünlerdir (National Research Council, 2002).

2.1.5. Uçucu Organik Bileşikler (VOC)

Kimyasal yapılarında en az bir karbon ve bir hidrojen atomu içeren kimyasal bileşikler organik bileşikler olarak adlandırılırlar. Uçucu organik bileşikler ise atmosferde normal sıcaklık ve basınç koşulları altında buharlaşabilen organik kimyasal bileşikler olarak tanımlanır. Hayvansal üretim, uçucu organik bileşiklerin temel kaynaklarından birisidir. Araştırmacılar, son yıllarda hayvan ahırlarından kaynaklanan birçok farklı türde uçucu organik bileşikler tanımlamışlardır (Ni, Robarge, Xiao, Heber, 2012).

Uçucu organik bileşikler oda sıcaklığında çok kolay buharlaşabilmektedir. Bu bileşikler, sülfidler, aminler, yağ asitleri, alkoller, azot heterosiklikleri, alifatik aldehytler, hidrokarbonlar ve halokarbonları içermektedir (National Research Council, 2002).

Zhang, Cai, Koziel, Hoff, Schmidt, Clanton, ..., Heber, (2010) çalışmalarında hayvancılık işletmelerinden kaynaklanan uçucu organik bileşiklerin karakterizasyonunu yapmışlardır. İşletmelerden topladıkları hava örneklerini analiz ederek 15 farklı organik bileşik bulmuşlardır. Çizelge 2.1'de domuz ve süt sığırı barınaklarından toplanan hava örneklerinde bulunan organik bileşikler yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Domuz ve süt sığırı ahırlarından toplanan hava örneklerinde bulunan organik bileşikler (Zhang vd., 2010)

Bileşen	Konsantrasyon	Konstantrasyon
	(ppb) Domuz	(ppb) Süt Sığırı
Aseik asit	16,9	14,5
Propiyonik asit	29	7,15
Izobutirik asit	3,52	0,24
Butirik asit	20,3	3,93
İzovalerik asit	2,94	0,138
Valerik asit	2,18	0,198
Hekzanoik asit	0,589	0,327
Heptanoik asit	0,075	0,108
Fenol	1,7	2,16
p-krezol	9,45	0,737
4-Etilfenol	0,494	0,016
2-Aminoacetophenone	0,06	-
Indol	0,071	-
Skatole(3-methylindole)	0,027	-

2.2. Hayvan Barınaklarından Kaynaklanan Kirletici Gaz Emisyonları ve Miktarları

Hayvan barınaklarında iç ortam hava kalitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar; barınak tasarımı, sıcaklık, gübre yönetimi, beslenme, altlık ve havalandırma. Gübre kaynaklı metan emisyonları özellikle ortam sıcaklığı ve gübre yüzey alanına göre değişiklik göstermektedir. Amonyak emisyonları ise sıcaklık, yüzey alanı, pH ve azot alımına bağlıdır (Chiumenti vd., 2018; Deng, Gao, Addy, Chen, Li, Zhang, Ruan, 2018; Hristov vd., 2011). Çizelge 2.2’de barınaklardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını etkileyen faktörler verilmiştir.

Çizelge 2.2. Hayvansal üretimden kaynaklanan sera gazı emisyon miktarlarını değiştiren faktörler (Schiefler, 2013)

Hayvan	Beslenme	Barınak	Yapısal	Gübre	Gübre Yönetimi
Canlı ağırlık	Besin alımı	Sıcaklık	Hava hızı	Temizleme	Depolama
	Rasyon	Rüzgar hızı	Havalandırma	Altık	Yüzey alanı
Aktivite	Besleme	Yönlendirme	Rüzgar hızı	değiştirme	Araziye
Genetik	yönetimi	Nem	Birim alan	Zemin yapısı	uygulama
					Sıvı gübre

Chiumenti vd. (2018) çalışmalarında, iki farklı taban sistemine sahip (beton ve kauçuk altlık kaplı) işletmede robotik sistem kazıyıcı ve kazıyıcı olmadığı durumdaki sera gazı emisyonlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında robotik kazıyıcı sistem uygulaması ile sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlamışlardır. İç ortamdaki NH₃ emisyon oranını 12,8 mgh⁻¹m⁻², zemin yüzeyindeki emisyon miktarını ise 7,4 mgh⁻¹m⁻² olarak hesaplamışlardır. Ortalama N₂O emisyon oranları ise; 0,43 mgh⁻¹m⁻² (zeminden) ve 0,75 mgh⁻¹m⁻² (zemin ve tanktan) olarak hesaplamışlardır. Karbondioksit emisyon oranı ise 659,5 mgh⁻¹m⁻² ila 850,5 mgh⁻¹m⁻² olarak ölçülmüştür.

Ngwabie vd. (2009) doğal havalandırmalı bir süt sığırı işletmesinde, kış ve ilkbahar mevsiminde barınak iç ortamından salınan CH₄, N₂O, NH₃ ve CO₂ konsantrasyonlarını ölçmüşlerdir. Çalışmalarında 164-195 baş süt sığırı barındırılan bir barınak seçmişlerdir. Ölçülen iç ortam N₂O konsantrasyonu, 0.29-0.36 ppm (Aralık-Mart) ve 0.34-0.39 ppm (Mayıs) arasında değişmektedir. Amonyak emisyonlarının ise mayıs ayında daha düşük değerlerde (0.89 g AU⁻¹ saat⁻¹) olduğu görülmüştür. Bu düşük konsantrasyon değerlerinin o dönemde barınak içerisinde daha az hayvan faaliyeti olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ölçülen NH₃ emisyon değerleri ise 0.89 ila 1.13 g AU⁻¹ saat⁻¹ aralıklarında değişmektedir.

Leytem (2017), bir süt sığırı ahırındaki NH₃, CH₄, CO₂ ve N₂O gibi sera gazı emisyonlarının, üç farklı kaynaktan (açık alan, atık su havuzu, kompost) salınan emisyon oranlarını belirlemişlerdir. Atık su havuzundan kaynaklanan ortalama emisyonlar (gm⁻² gün⁻¹); 2 g NH₃, 103 g CH₄, 637 g CO₂ ve 0.49 g N₂O olarak hesaplanmıştır. Kompost tesisindeki ortalama emisyon değerleri ise (gm⁻² gün⁻¹); 1,6 g NH₃, 13,5 g CH₄, 516 g CO₂ ve 0,90 g N₂O olarak ölçülmüştür. Tüm işletmeden salınan NH₃, CH₄, CO₂ ve N₂O'nun birleşik emisyonlarının sırasıyla ortalama 0.15, 1.4, 30.0 ve 0.02 kg inek⁻¹ gün⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir.

Todd, Cole, Clark, Flesch, Harper, Baek (2008), 77 hektarlık bir işletmede 45000 baş sığırın barındırıldığı ahır iç ortamındaki amonyak emisyon oranlarını incelemişlerdir. Emisyon oranlarının; yaz mevsiminde 7420 kg NH₃ gün⁻¹ ve kış mevsiminde 3330 kg NH₃ gün⁻¹ olduğunu bildirmişlerdir.

Mihina vd. (2012) çalışmalarında tavukçuluk işletmelerinden salınan emisyon değerlerinin altlık durumuna göre değişimini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda kafeslerdeki altlıkların daha eski ve çok olmasının daha fazla kirletici gazın yayılmasına sebep olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca gaz emisyonlarının hayvanların metabolik aktivitelerine bağlı olarak değiştiğini de belirtmişlerdir.

Amonyak emisyon oranları genellikle hayvan birimi veya hayvan ahırına başına NH_3 veya amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) kütlesi olarak tanımlanmaktadır. Arogo vd. (2003), aşağıdaki Çizelge 2.3’de gösterildiği gibi $\text{NH}_3\text{-N}$ kütlesi kullanılarak farklı tip hayvan ahırlarından amonyak emisyon oranlarını hesaplamışlardır.

Çizelge 2.3. Farklı tür barınaklardan kaynaklanan amonyak konsantrasyonları ve emisyonları (Arogo vd., 2003)

	Konsantrasyon	Emisyon ($\text{NH}_3\text{-N}$)	Kaynak
Domuz yavrusu		4 kg/yıl-domuz barınak	Gastel vd. (1995)
Besi domuzu	10-35	2.5 g/h-AU	Hinz ve Linke (1998)
Damızlık/besi	11-14.7	1.65-4.94 g/h-AU	Hendriks vd. (1998)
Dişi domuz	11-22.1	0.86-1.41 g/h-AU	Koerkamp vd. (1998)
Sütten kesilmiş domuz	4.6-7.8	0.55-1.27 g/h-AU	Koerkamp vd. (1998)
Broiler	24.2	7.6 g/h-AU	Wathes vd. (2007)
Yumurta tavuğu	13.5	7.6 g/h-AU	Wathes vd. (2007)
Besi sığırtı		0.35-0.4 g/h-AU	Koerkamp vd. (1998)
Süt sığırtı		0.26-0.86 g/h-AU	Koerkamp vd. (1998)

*AU – Birim hayvan = 500 kg canlı ağırlık, 1 g NH_3 = 1.214 g $\text{NH}_3\text{-N}$.

Çizelge 2.4-2.6, literatürdeki, süt sığırcılığı, kümes hayvanları ve domuz barınaklarından kaynaklanan kirletici gaz konsantrasyonlarını ve emisyonlarını göstermektedir.

Çizelge 2.4. Süt sığırı ahırlarındaki sera gazı konsantrasyonları ve emisyonları

Gaz	Konsantrasyon		Emisyon	Kaynak
	Yaz	Kış		
			6.2-21.4 g/AU gün	Koerkamp vd. (1998)
			20.2-42.5 g/AU gün	Koerkamp vd. (1998)
			38.9-40.32 g/AU gün	Snell vd. (2003)
	CO ₂	1430 ppm	1700 ppm	Brose vd. (1998)
	777 ppm	658 ppm	Zhang & Chen (2014)	
			1697-2281 kg/baş yıl	Jungbluth vd. (2001)
			11900-17500 g/AU gün	Kinsman vd. (1995)
CH ₄			327 g/LU gün	Crutzen vd. (1986)
			194 g/LU gün	Amon vd. (2001)
	87.13 ppm	-		Snell vd. (2003)
			373-617 g/AU gün	Kinsman vd. (1995)
			194,4 g/LU gün	Amon vd. (2001)
			672-528 g/sığır gün	Fiedler ve Muller (2011)
			25-312 g/baş gün	Ngwabie vd. (2009)
H ₂ S	31 ppb	4 ppb		Zhao vd. (2007)
N ₂ O			619,2 mg/LU gün	Amon vd. (2001)

Çizelge 2.5. Kümes hayvanlarından kaynaklanan sera gazı konsantrasyonları ve emisyonları

Gaz	Konsantrasyon		Emisyon		Kaynak	
	Yaz	Kış	Yaz	Kış		
NH ₃				0,12 g/ tavuk-d (11-27 gün)	Casey vd. (2003)	
				0,96 g/tavuk-d (47-56 gün)		
		1-9 ppm	36,9 NH ₃ /broiler	g 23,1 g NH ₃ /broiler	Cheng vd. (2011)	
				0,21 kg NH ₃ /tavuk/yıl	Faulkner ve Show (2008)	
				0,26 kg NH ₃ /tavuk/yıl		
		0,23-10,77 mg/m ³			Mihina vd. (2012)	
		15,1 ppm			Chiumenti ve Borso (2018)	
		5,8 ppm	28,5 ppm		Redwine vd. (2002)	
				300 g/AU gün	190 g/AU gün	Wathes vd. (1997)
				10-385 g/AU gün	6.9-344.2 g/AU gün	Redwine vd. (2002)
CH ₄	46,59-134,12 mg/m ³				Mihina vd. (2012)	
N ₂ O	0,92-8,24 mg/m ³				Mihina vd. (2012)	

Çizelge 2.6. Domuzculuk işletmelerinde sera gazı konsantrasyonları ve emisyonları

Gaz	Konsantrasyon		Emisyon		Kaynak
	Yaz	Kış	Yaz	Kış	
NH ₃	2,64-22,9 mg/m ³				Heber vd. (2000)
			50-62 g/AU gün		Koerkamp vd. (1994)
			72 g/AU gün		Heber vd. (2000)
			124 g AU-1 gün ⁻¹		Dong vd. (2009)
			34 g/gün-AU		Heber vd. (2000)
			120 g/gün-AU		Heber vd. (2000)
			2.5 g/h-AU		Heber vd. (2000)
CO ₂	975,36-9948,78 mg/m ³				Mihina vd. (2012)
			11.3 kg AU ⁻¹ gün ⁻¹		Dong vd. (2009)
CH ₄	33,51-189,63 mg/m ³				Mihina vd. (2012)
			36.2 g AU-1 gün ⁻¹		Dong vd. (2009)
N ₂ O	3,62-6,39 mg/m ³				Mihina vd. (2012)

2.3. Kirletici Gazların Çevreye Etkisi

Hayvansal üretimden kaynaklanan kirletici gazlar, Dünya’da sera gazı emisyonlarının %14,5’lik kısmının temel kaynağı olarak bilinmektedir. Hayvansal üretimden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının büyük kısmı araziye uygulama, enterik fermantasyon ve gübre yönetim sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Sera gazı emisyonlarının artması tarım arazilerinin zarar görmesine, hava ve çevre kirliliğine ve biyo-çeşitliliğin azalmasına sebep olmaktadır.

Kirletici gazların çevreye verdiği zararlardan birisi küresel iklim değişikliğidir. Tarım ve hayvancılık faaliyetleri atmosferdeki metan, nitrojen oksit ve karbondioksit gazlarının artmasına sebep olmakta bu da dolaylı olarak küresel iklimi etkilemektedir. Hayvansal üretimin artması, gübrenin araziye uygulanması doğal kaynakların kirlenmesine ve azalmasına sebep olmaktadır (Rojas-Downing vd., 2017).

Dünya’da ulaşım sektörü 5656 Tg CO₂-eşdeğeri emisiyona sebep olurken, hayvanlık sektörü 7100 Tg CO₂-eşdeğeri emisiyona sebep olmaktadır. Bu da hayvancılık sektörünün küresel olarak ulaşım sektöründen daha fazla kirletici gaz emisyonuna sebep olduğunu göstermektedir (Rojas-Downing vd., 2017).

Gübre depolama ve enterik fermentasyon sonucu salınan metan gazı, karbon dioksit gazından 28 kat daha fazla küresel ısınmaya katkı sağlamaktadır. Gübrenin araziye uygulanması sonucu salınan nitrojen oksit ise yine karbon dioksit gazından 265 kat daha fazla küresel ısınmaya katkı sağlamaktadır (Grossi, Goglio, Vitali, Williams, 2019)

2.4. Kirletici Gazların Azaltılması İçin Kullanılan Yöntemler

Dünya’da, besin zinciri önemli derecede sera gazı emisyonlarını artırmaktadır. Artan nüfusa bağlı olarak daha fazla et ve süt üretim ihtiyacı, bitkisel ve hayvansal üretimin dolaylı olarak da sera gazı emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Küresel sıcaklık her geçen gün artmakta ve küresel iklim değişikliği canlı yaşamı için tehlikeli hale gelmektedir. Bu tehlikenin minimum düzeyde tutulabilmesi için küresel sera gazı emisyonlarının azaltılması gerekmektedir (Garnett, 2009).

Hayvan barınaklarından kaynaklanan kirletici gazların azaltılmasına yönelik literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bunların birçoğu hayvanların yem içeriğinin ve gübre yönetim sistemlerinin kontrol edilmesi ile gazların azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalardır. Örneğin metan gazının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalara bakıldığında, pek çok araştırmada hayvanların yem rasyonlarının kontrol edilmesiyle metan gazının çıkışının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Mostafa vd. (2020) çalışmalarında, amonyak ve partiküler maddelerin emisyonlarının azaltılması üzerine "hava karıştırıcı (air scrubber)" ve "su-yağ karışımli sprey" olmak üzere 2 farklı yöntem geliştirmişlerdir. Kapasiteleri 515 ve 680 baş olan iki ayrı domuz barınağında bu iki yöntemin etkinliğini incelemişlerdir. Ortalama emisyon azaltım oranlarını, PM10 için %61 ve NH₃ için %32 olarak bulmuşlardır.

2.4.1. Barınak tasarımı

Büyükbaş ve küçükbaş hayvan barınaklarında hava kirleticileri, hayvanların ve çiftlik çalışanlarının sağlığı için risk oluştururken çevresel kirliliğe de sebep olmaktadır. Hava kirleticilerinin konsantrasyonları, barınak sistemlerinin tasarımına, havalandırma koşullarına ve gübre yönetimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Aarnink vd., 1995).

Hayvan barınaklarının tasarımı, gübrenin toplanması, depolanması ve işlenmesi için kullanılan yöntemlere göre kirletici gaz emisyonlarını doğrudan etkileyebilmektedir. Genellikle, gübrenin uzun süre depolandığı gübre sistemleri, günlük olarak uzaklaştırıldığı sistemlere göre daha fazla NH₃ ve CH₄ emisyonu üretmektedir. Bu sebeple barınak tasarımı ve gübre yönetim sistemlerinin hayvansal üretimden kaynaklanan amonyak emisyonu üzerinde büyük etkisi vardır (Gerber, Henderson, Makkar, 2013).

Besi sığırcılığı için kullanılan barınaklar, N₂O ve CH₄ emisyonlarına neden olan süreçleri doğrudan etkilemez; bununla birlikte, hayvanları barındırmak için kullanılan yapı türü, gübre ve nihai atığın depolanması ve işlenmesi için kullanılan yöntemi belirler. Bu nedenle, barınak tasarımının hayvan gübresinden kaynaklanan NH₃ ve CH₄ emisyonları üzerinde önemli bir dolaylı etkisi olabilmektedir.

2.4.2. Yem rasyonu

Yem rasyonunun, özellikle geniş getiren hayvanlarda azot atılım yolu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Powell ve Broderick (2011) çalışmalarında, yem rasyonunda protein oranının düşürülmesinin, üretilen gübredeki azot mineralizasyon oranını düşürmesi nedeniyle, araziye uygulanan gübrelerden amonyak emisyonlarını azaltmada etkili bir yol olduğunu belirtmişlerdir. Literatürde yapılan çalışmalarda, yemden alınan ham protein ve rumende parçalanabilen protein konsantrasyonunun azaltılması, üre atılımında, amonyak konsantrasyonunda ve gübreden kaynaklı N₂O emisyonlarında etkili olduğu belirtilmiştir (Külling vd., 2001, Lee vd., 2012, Luo, De Klein, Ledgard, Saggar, 2010).

2.4.3. Hava temizleyiciler

Hava temizleyiciler, barınak ortamından salınan partiküler maddeler ve kirletici gazları, filtre ve nem ile havadan uzaklaştıran bir hava temizleme sistemidir. Literatürde yapılan çalışmalar, hava temizleyici sistemlerin mekanik havalandırılmalı hayvan barınaklarında kirletici gazları başarılı bir şekilde temizlediğini göstermektedir.

Hava temizleyiciler; kimyasal, biyolojik ve kombine havalı yıkayıcı sistemler olarak 3 gruba ayrılmaktadır. Kimyasal hava temizleyicilerde, sisteme asit vb kimyasallar ekelenerek amonyum absorbe etme kapasitesi artırılmaktadır. Biyolojik hava temizleyicilerde ise, kirli hava sistemdeki su içerisinde tutulur ve kirletici gazlar mikroorganizmalar tarafından absorbe edilir. Örneğin amonyak, bakteriler tarafından nitrifikasyon yoluyla nitrite oksitlenir ve ardından nitrate dönüştürülür. Bu dönüşüm işlemleri, Nitrosomonas ve Nitrospira gibi amonyak ve nitrit oksitleyici bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Kimyasal hava temizleyiciler amonyak gazının azaltılmasında etkili olurken, biyolojik hava temizleyiciler kokunun azaltılmasında etkili olmaktadır. Bu sebeple kimyasal ve biyolojik hava temizleyiciler kombine olarak arka arkaya gelecek şekilde yerleştirildiğinde, amonyak, koku ve partiküler maddeler gibi farklı tipteki kirleticiler aynı anda ayrıştırılabilmektedir (Guo vd., 2022, Van der Heyden, Demeyer, Volcke, 2015).

2.4.4. Biyofiltreler

Biyofiltreler, mikroorganizmalar ile filtre yatağının bir araya getirilmiş halidir. Ağaç kabuğu, talaş, turba, kompost, çakıl, aktif karbon veya plastik gibi maddeler sürekli olarak nemli tutulan filtre yatağının malzemesi olarak kullanılmaktadır. Biyofiltrenin çalışma mekanizmasında, biyofiltre materyalinin içerisinde gelişen mikroorganizmalar biyofilm oluşturmaktadır. Hayvan barınaklarından gelen kirli hava biyofiltre yatağından geçerken, hava içerisinde bulunan kirletici gazlar mikroorganizmalar tarafından parçalanır. Ayrıca mikrobiyal bozunma sonucu açığa çıkan su, sülfat ve nitrat gibi bileşenlerde ekolojik olarak güvenli bileşikler üretirler. Biyofiltreler genellikle tek

başına değil, hava temizleyiciler (air scrubbers) ile kombine olarak kullanılmaktadır (Guo vd., 2022). Şekil 2.1’de örnek bir biyofiltre sistem görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.1 Çalışmanın yürütüldüğü domuz barınağında kullanılan biyofiltre sistem görüntüsü

2.4.5. Biyokömürler

Kirletici gazların azaltılmasında gübre katkısı olarak biyokömür uygulaması özellikle depolanan gübreden kaynaklanan gaz emisyonlarını uzun vadede etkili bir şekilde azaltmaktadır. Biyokömür; piroliz ya da torrefaksiyon yoluyla çeşitli biyokütle türlerinden yapılan bir yan üründür. Biyokömürler, azaltılması istenilen kirletici gazların çeşitlerine göre pH, gözeneklilik ve kimyasalları ayarlanarak tasarlanabilirler (Chen, 2021). Maurer vd. (2017) çalışmalarında ince bir kömür tabakasının (pH:7,28) pilot ölçekte kurulan bir gübre deposundan salınan amonyak gazının azaltımında önemli düzeyde etkili olduğunu bulmuşlardır. Bir başka çalışmada Meiirkhanuly, Koziel, Chen, Białowiec, Lee, Wi, Bakshi, (2020), biyokömürün laboratuvar ölçeğinde bir ortamdaki domuz gübresine bir kerelik yüzeysel uygulamasının NH_3 ve fenolü önemli ölçüde azalttığını gözlemlemişlerdir. Şekil 2.2’de biyokömür örneği verilmiştir.



Şekil 2.2. Biyolojik kömür örneği (Kumar vd., 2022)

Perera ve Sampath (2020) çalışmalarında, 6 L domuz gübresinden kaynaklanan amonyak ve karbondioksit gazları için 85 günlük %2,5 odun talaşlı biyokömür uygulamasında amonyak gazında %26 ve karbondioksit gazında %50 oranında azaltım elde etmişlerdir. Liu vd. (2011) çalışmalarında ceviz kabuğu, hindistan cevizi kabuğu ve kömürün sıvı domuz gübresinden kaynaklanan amonyak ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli derecede etkili olduklarını belirtmişlerdir.

2.5. Mikroalg Üretim Sistemleri

Mikroalg üretim sistemleri açık ve kapalı sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Açık sistemler kurulumu kolay ve ekonomik, kapalı sistemler ise daha kompleks ve maliyeti yüksek sistemlerdir. Ancak kapalı sistemlerde biyokütle verimi daha yüksek ve alg gelişim parametreleri daha iyi kontrol edilebilmektedir (Ahmad, Abdullah, Koji, Yuzir, Muhammad, 2021).

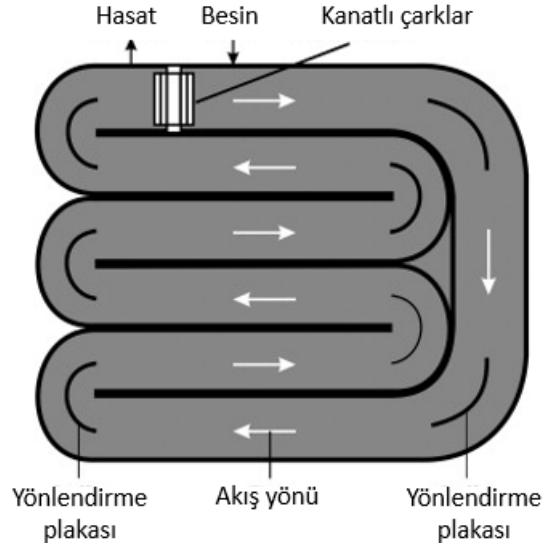
2.5.1. Açık Sistemler

Açık havuz sistemleri ilk defa Almanya'da II. Dünya Savaşı sırasında *Scenedesmus* ve *Chlorella* türlerinin lipid içeriğini incelemek amacıyla kullanılmıştır. Fotobiyoreaktör sistemler ise ilk olarak 1950'li yıllarda geliştirilmiştir. Kirleticilerin uzaklaştırılması özellikle CO₂ gazı için PBR sistemlerin uygulanması ise ilk olarak 1953 yılında ABD'deki Carnegie Enstitüsü'nde çalışılmıştır (Ahmad vd., 2021).

Açık havuzlar, kurulum maliyetlerinin ve enerji tüketimlerinin düşük olması sebebiyle çok sık olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel ölçekteki açık havuz PBR sistemler 1000-5000 m²'lik alanlara kadar kurulabilmektedir. Açık havuzların en önemli dezavantajı mikroalg kültür ortamının dış ortama direk maruz kalmasından dolayı bakteriyel kontaminasyon çok sık görülmektedir ve bu da biyokütle verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Açık havuzlarda çevresel faktörlerden dolayı sıcaklığın değişken olması, yetersiz aydınlatma ve besin eksikliğinden düşük biyokütle verimliliği görülmektedir (Zhou, Lu, Han, Li, 2020). Açık havuz sistemleri; dairesel, eğimli, karıştırmasız ve yarış pisti olarak ayrılmıştır.

Yarış pisti (raceway) havuzları

Mikroalg üretiminde en yaygın kullanılan büyük ölçekli sistemlerden yarış pisti havuzlarında, mikroalg kültürü yarış pisti boyunca sirküle edilerek yetiştirilmektedir. Güneş ışığından faydalanma ve mikroalg hücrelerinin büyüme oranını arttırmak için 15-50 cm yükseklikte sığ yapırlar. Yarış pisti havuzlarında, mikroalglerin çökmesini engellemek için sürekli çalışan kanatlı çarklar sirkülasyonu sağlamaktadır (Elcik ve Cakmacı, 2017). Sürekli üretim döneminde çarkların ön kısmından besin takviyesi yapılırken arka kısmında da hasat yapılmaktadır. Bu sistemlerde, alg kültürü diğer mikroorganizmalar tarafından kolayca kontamine olabilmektedir. Bu sebeple yarış pisti tipi havuzlarda yapılan yetiştiricilikte, kontaminasyonu önlemek için kültür ortamı yüksek pH'larda tutulmalıdır bu da yetiştiricilik yapılacak alg türünü kısıtlamaktadır (Bahadar ve Khan, 2013). Yarış pisti tipi havuzların şematik gösterimi Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Yarış pisti havuzu şematik gösterimi (Bahadar ve Khan, 2013)

Dairesel Havuz Sistemleri

Dairesel havuz sistemleri, mikroalg kültürünün hareketinin ve karıştırma işleminin merkezi bir döner karıştırıcı tarafından yapıldığı dairesel havuzlardır. Havuzlar genellikle 20-30 cm derinliğinde ve 40-50 cm çapında yapılmaktadır ancak sadece 10000 m²'lik alanlara kadar verimli bir şekilde üretim yapılabilir. Diğer açık sistemlerde olduğu gibi sıcaklık ve kontaminasyon kontrolünün zor olması sistemin dezavantajlarından. Asya ülkelerinde çoğunlukla *Chlorella sp.* türünün geliştirilmesi için kullanılmaktadır (Ahmad vd., 2021). Dairesel havuz sistemlerine bir örnek Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Dairesel havuz sistemleri (Shen vd., 2009)

2.5.2. Kapalı sistemler

Kapalı yada fotobiyoreaktör sistemler (PBR), mikroalglerin sağlıklı büyümesi için ışık, besin maddeleri, sıcaklık ve hava gibi tüm temel unsurları sağlayan etkili yetiştirme tekniklerini kullanan yetiştirme sistemleridir. Fotobiyoreaktörler daha genel olarak mikroalg gelişimi için kullanılan kapalı kap olarak tanımlanabilir (Huang, Jiang, Wang, Yang, 2017).

Fotobiyoreaktör sistemlerin avantajları; mikroalglerin fotosentez etkinliğinin ve biyokütle veriminin daha yüksek olması, kontaminasyon riski ve buharlaşma ile su kaybının daha düşük olması, kontrol edilebilir ortam koşullarının sağlanabilir olmasıdır. Daha etkili ve ekonomik mikroalg üretimi için farklı tipte fotobiyoreaktör sistemler geliştirilmiştir. Bunlar; plastik torbalar (plastic bags) (Kim vd., 2016; Sierra vd., 2008; Wang vd., 2012), tübüler (tubular) (Richmond vd., 1993), düz panel (flat-plate), hava kaldırmalı (air-lift) (Kaewpintong vd., 2007; Ranjbar vd., 2008; Rubio vd., 1999; Ugwu vd., 2002), karıştırmalı tank (stirred-tank) fotobiyoreaktörlerdir (Ogbonna, Soejima, Tanaka, 1999; Zhang, 2013).

Tübüler Fotobiyoreaktörler

Tübüler reaktörler, aydınlatma için nispeten geniş bir kullanılabilir yüzey alanına sahip olduğundan, açık havada mikroalg üretimi için en uygulanabilir sistemlerden biridir. Reaktör malzemesi olarak genellikle cam veya plastik borular kullanılmaktadır (Iluz & Abu-Ghosh 2016; Vasumathi, Premalatha, Subramanian, 2012, Wang vd., 2012). Bu şeffaf tüpler, güneş ışığını en üst düzeye çıkarmak için farklı desenlerde (örneğin düz, bükülmüş veya spiral) ve yönlerde (örneğin yatay, eğimli, dikey veya sarmal) düzenlenebilir ve mikroalg kültürü bir pompa ile sirküle edilebilmektedir. Arazi kullanımını azaltmak için, borular genellikle yatay çit benzeri bir yapıda dizildiğinde, bu durum işletme maliyetini artırmaktadır (Huang vd., 2017). Yatay ve düşey tübüler fotobiyoreaktör sistem örnekleri Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5 Yatay ve düşey tübüler fotobiyoreaktör sistem örnekleri (Slegers vd., 2013)

Tübüler PBR'lerin çapları genellikle 10-60 mm arasında değişiklik göstermektedir ve uzunlukları birkaç yüz metreye kadar çıkabilmektedir (Posten, 2009). Tüp içerisinde 0,2 ila 0,5 ms^{-1} aralığındaki sıvı hızları genellikle alg gelişimi için uygun kabul edilmektedir. Tübüler PBR'ler popüler olmasına rağmen, hala birçok dezavantajı vardır. Özellikle büyük çaplı tüplerde dış mekân kültürlerinde tüpün orta kısmındaki hücreler çok az ışık almakta ve büyümeleri kısıtlanmaktadır. Ayrıca PBR borularının küçük çaplarından kaynaklanan sınırlı hacim sebebiyle kültür ortamlarında yüksek sıcaklık artışı meydana gelebilmektedir (Junying, Junfeng, Baoning, 2013).

Plastik Torbalar (Plastic bag PBR)

Plastik torba PBR sistemler düşük maliyetlerinden dolayı son yıllarda özellikle mikroalglerin ticari üretimi için çok sık kullanılmaktadır. 5 ila 250 L hacimli plastik

torbalarda havalandırma sistemleri ile düşük maliyetli olarak mikralg gelişimi sağlanabilmektedir. Şekil 2.6’da plastik torba PBR sistemlerinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.6. Plastik torba PBR sistemler

Plastik torba PBR’ler son yıllarda yaygın olarak tercih edilmesine rağmen, birçok dezavantajı vardır. İlk olarak, genellikle torbaların yerçekimi ile bozulmasından dolayı mikroalglerde fotosınırlama meydana gelmektedir. Bu sistemlerde yetersiz karıştırmadan dolayı hücreler zarar görmekte ve PBR’ın bazı bölgelerinde hücre büyümesi azalmaktadır. Bir diğer dezavantaj ise, temizleme ve sızdırma sorunları nedeniyle torbaların ömrünün kısa olması ekonomikliğini sınırlandırmaktadır. Son olarak, büyük miktarlardaki plastik poşetlerin atılması potansiyel bir sorun teşkil etmektedir (Kim vd., 2016; B. Wang vd., 2012).

Karıştırmalı Tank Fotobiyoreaktörler

Karıştırmalı tank tipi PBR’ler, çelik, cam ya da organik camdan yapılan ve genellikle sanayide ince kimyasallar veya farmasötik ürünler elde etmek için kullanılan tank biyoreaktörlerdir. Karıştırmalı tank PBR’lerin çalışma parametrelerinin kesinliği ve doğruluğu, ısı yoluyla sterilizasyon yaparak kontaminasyonu en aza indirebilmesi gibi avantajları vardır (Assunção ve Malcata, 2020). Şekil 2.7’de örnek bir karıştırmalı fotobiyoreaktör sistem verilmiştir.



Şekil 2.7. Karıştırırmalı fotobiyoreaktör sistem (Benner vd., 2022)

Düz Panel Fotobiyoreaktörler

Düz panel PBR'lar her iki tarafında şeffaf plaka bulunan pileksi cam, akrilik cam gibi şeffaf malzemeden ya da polikarbonat ve plastik torbalardan yapılan çerçeveden oluşmaktadır. Düz panel PBR'ların temel tasarım ilkesi kültür yüzeyine etki edecek ışık penetrasyon derinliğinin azaltılmasıdır. Düz panel PBR'lerin ışık alan yüzey alanlarının fazla olması sebebiyle yüksek fotosentetik verim elde edilmesini sağlamaktadır (Sirohi, Pandey, Ranganathan, Singh, Udayan, Awasthi., 2022). Şekil 2.8'de düz panel fotobiyoreaktör sistem verilmiştir.



Şekil 2.8. Düz panel fotobiyoreaktör sistemler (Bitog vd., 2011)

Düz panel PBR'lerde, ışık yolu, panel eğimi, panel kalınlığı, alg türü ve sıcaklık gibi çalışma koşulları optimize edilerek daha düşük enerji tüketimi ile maksimum biyokütle eldesi sağlanabilmektedir. Slegers, Wijffels, Van Straten, Van Boxtel, (2011) çalışmalarında paneller arasında oluşacak gölgelerin ışık penetrasyonunu olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Bu sebeple 0,2-0,4 m aralığında panel kalınlığının optimum olduğunu belirtmişlerdir.

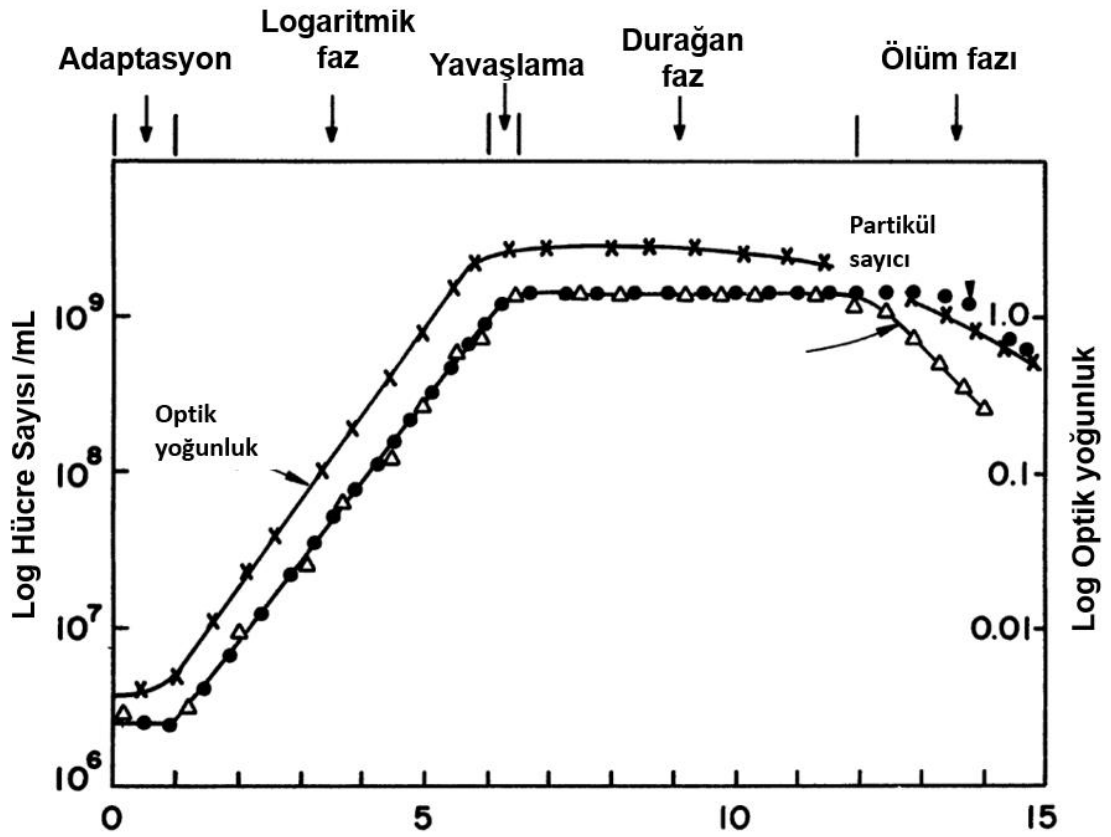
2.6. Mikroalg Gelişiminde Etkili Parametreler

Mikroalgler için dört ana yetiştirme koşulu vardır. Bunlar; fotoototrofik, heterotrofik, miksotrofik ve fotoheterotrofik yetiştirme şeklinde sınıflandırılmıştır (Chojnacka ve Marquez-Rocha, 2004). Mikroalglerin yetiştirilmesinde en çok kullanılan yetiştirme koşulu olan fototrofik yetiştirme, mikroalglerin fotosentez için enerji kaynağı olarak ışığı ve karbon kaynağı olarak da karbondioksiti kullandığı yetiştirme koşuludur (Huang vd., 2010). Bazı mikroalg türleri sadece fototrofik koşullar altında büyümekle kalmaz, aynı zamanda bakteriler gibi karanlık koşullar altında da organik karbonu kullanır. Mikroalglerin organik karbonu hem enerji hem de karbon kaynağı olarak kullandığı duruma ise heterotrofik yetiştirme denir (Chojnacka ve Marquez-Rocha, 2004). Miksotrofik yetiştirme, mikroalglerin fotosentez yapması ve gelişimi için karbon kaynağı olarak hem organik bileşikleri hem de inorganik karbonu (CO₂) kullanmasıdır. Bu durum, mikroalglerin fototrofik veya heterotrofik koşullar veya her ikisi altında yaşayabileceği anlamına gelmektedir. Mikroalgler, karbon kaynağı olarak organik

bileşikleri ve CO₂'i özümser ve mikroalgler tarafından solunum yoluyla salınan CO₂, fototrofik yetiştirme altında tutulur ve yeniden kullanılır (Mata, Martins, Caetano, 2010). Fototrofik ve heterotrofik yetiştirme ile karşılaştırıldığında, mikroalgal yağ üretiminde miksotropik yetiştirme nadiren kullanılmaktadır (Chen vd., 2011). Fotoheterotrofik yetiştirme, karbon kaynağı olarak organik bileşikler kullanıldığında mikroalglerin ışığa ihtiyaç duymasüdür. Miksotropik ve fotoheterotrofik yetiştirme arasındaki temel fark, ikincisinin enerji kaynağı olarak ışık gerektirmesidir, miksotropik yetiştirmede ise mikroalgler enerji kaynağı için organik bileşikler kullanabilir. Bu nedenle, fotoheterotrofik yetiştirme aynı anda hem şekere hem de ışığa ihtiyaç duyar (Chojnacka vd., 2004). Işıkla düzenlenen bazı faydalı metabolitlerin üretimi, fotoheterotrofik yetiştirme kullanılarak artırılabilir de (Ugwu vd., 2002), bu yaklaşımı biyodizel üretmek için kullanmak, miksotropik yetiştirmede olduğu gibi çok nadirdir. Mikroalglerin karbonhidrat, yağ ve protein içerikleri türlerine göre ve yetiştirme koşullarına göre farklılık gösterebilmektedir. Xu, Miao, Wu, (2006) çalışmalarında *Chlorella protothecoides* türünde yetiştirme koşulu fototrofikten heterotrofik'e değiştirildiğinde lipit içeriğinde %40'lık bir artış olduğunu gözlemlemiştir.

Mikroalg gelişiminin 5 farklı aşaması vardır (Şekil 2.9);

- **Adaptasyon evresi:** Yeni aşılınmış kültürün çevreye uyum sürecidir.
- **Üstel (logaritmik) büyüme aşaması:** Adaptasyon evresinden sonra, alg hücre sayısı ve biyokütle konsantrasyonundaki artış zamana bağlı olarak orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Bu aşamada besin, alg gelişiminde sınırlayıcı bir faktör değildir.
- **Yavaşlama aşaması:** Artan biyokütle konsantrasyonu, besin ve ışık sınırlaması ya da diğer toksik etkiler sebebiyle bu aşamada büyüme hızı yavaşlar. Bu aşama kısa bir zaman diliminde gerçekleşir.
- **Durağan faz:** Durağan evre, büyüme hızının sıfır ya da ölüm hızına eşit olduğu durumda gerçekleşir. Biyokütle ya da hücre konsantrasyonu maksimum değerine ulaşır ve neredeyse sabit kalır.
- **Ölüm fazı:** Durağan fazda hücre ölümleri nedeniyle ortama salınan toksik bileşenler, ölüm evresinin başlamasına neden olur. Ölüm oranı yüksek ve büyüme hızı ihmal edilebilir hale gelir (Kılıç, 2017).



Şekil 2.9 Mikroalglerin tipik büyüme evresi (Kılıç, 2017).

Alglerin gelişiminde en önemli parametreler; besin, ışık, karbon kaynağı, karıştırma, pH ve sıcaklıktır. Bu parametrelerin optimum değerleri alglerin türlerine göre farklılık göstermektedir.

2.6.1. Alg türü

Mikroalgler denizde, temiz suda ve atık suda gelişebilen sucul bitkilerdir. Kökleri ve yaprakları yoktur. Yüksek ya da düşük sıcaklık, açık ya da kapalı sistemler gibi farklı çevre koşullarında gelişme gösterebilmektedirler. Birgün içerisinde hücrelerinin iki katına çıkarabilme özelliğine sahiptirler. Sadece sanayi endüstrisinden, insanların doğal aktivitelerinden ve diğer kaynaklardan açığa çıkan karbondioksite ihtiyaçları vardır (Mahfouz, 2014).

Klorofil a ve klorofil b'ye sahip olan yeşil alglerin doğada yaklaşık 8000 bin türü bulunmaktadır. Yeşil algler tek hücreli, çok hücreli ya da koloni formunda

bulunabilmektedir. Yeşil algler fotosentez için gerekli olan organik karbonu aldıkları sürece çok hızlı gelişme gösterebilmektedirler (Encarnacion, Benitez, Santos, Medina, 2010).

Scenedesmus Dimorphus

Chlorophyceae sınıfında tek hücreli bir alg olan *Scenedesmus Dimorphus*, biyodizel üretmek için yüksek yağ içeriğine sahip en yaygın türlerden biridir. *Scenedesmus dimorphus*, büyüklüğü yaklaşık 10 µ olan fasulye şeklindeki yeşil alglerdir. Yüzde 16-40 gibi yüksek yağ içeriğine sahiptir, bu sebeple biyodizel üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu türün hücreleri çok ağırdır ve bu sebeple reaktör içerisinde devamlı karıştırma olmazsa dibe çökme meydana gelmektedir. Bu alg türü için gerekli olan optimum sıcaklık aralığı 30-35°C arasındadır (Encarnacion vd., 2010). Bu türlerin kimyasal formülü literatürde $CO_{0.48}H_{1.83}N_{0.11}P_{0.01}$ olarak verilmiştir (Chisti, 2007). *Scenedesmus dimorphus*'un kimyasal özellikleri Çizelge 2.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.7. *S. dimorphus*'un kimyasal özellikleri (Bordoloi vd., 2016, Vidyashankar vd., 2014)

Özellikleri	Kuru biyokütle (Ağırlık%)
C	52.6
H	6.21
N	8.75
O	31.92
H/C	1.42
O/C	0.46
HHV (Mj/kg)	1
Nem içeriği	0.083
Kül içeriği	17.33
Uçucu bileşen içeriği	51.45
Fikse edilmiş C	31.13
Protein	53.13
Yağ	10.23
Karbonhidrat	22.9
Na	0.11
K	0.09
Ca	1.2
Mg	0.4
Fe	0.09
Zn	0.0057
Cu	0.0003

Scenedesmus Dimorphus kolayca hasat edilebilmektedir. Ayrıca biyo yakıt ve biyoetanol üretimi için oldukça yüksek yağ içeriğine sahiptir. Diğer bitkilerle

kıyaslandığında çok yüksek oranda fotosentetik aktiviteye sahiptir (Chng vd., 2016). Bordoloi vd. (2016) çalışmalarında, *Scenedesmus dimorphus*, *Selenastrum sp*, *Desmodesmus sp*, *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella sp*. gibi alg türlerinin sera gazlarını absorbe ederek yüksek miktarlarda biyokütle üretme özellikleri olduğunu belirtmişlerdir. Çizelge 2.8’de *Scenedesmus Dimorphus* türü için literatürde yapılan çalışmalarda kullanılan çevresel faktörler verilmiştir.

Çizelge 2.8. *Scenedesmus dimorphus* türü için kullanılan çevresel parametreler

Alg	Besiyeri	Strain ID	Işık (mol s ⁻¹ m ⁻²)	pH	Sıcaklık (°C)	Hava	CO ₂	Hacim (mL)	Kaynak
Scenedesmus Dimorphus	BBM	UTEX 1237	110-120	6.8	25	2.774 l/min	Air	250	Kang (2012)
	BG-11		100	7	25	0.25 vvm			Jiang vd. (2013)
	BBM		100	8	25 ± 1			250	Zhang vd. (2015)
	BBM		60–80		26 ± 2			250	Xu vd. (2015)
	BBM		1.3 Klux		28-30	1.5 L/min			Al-Shatri vd. (2015)
	BBM	UTEX 1237	110-120	6.8	25	2.774 l/min			Kang vd. (2014)
	3N-BB	UTEX 746	14 W, 48” florasan		25	0.1 LPM	5%	150	Welter vd. (2013)

2.6.2. Işık

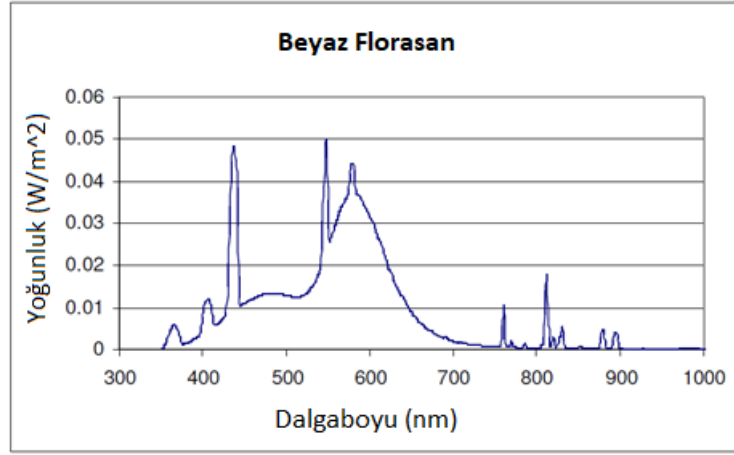
Işık alglerin büyümesini etkileyen ana etkenlerden biridir ve metabolizmaları için gerekli enerjiyi sağlar. Bununla birlikte, fazla ışık alg hücrelerine zarar da verebilir ve aşırı miktarda foton alg kültürünün inhibisyonuna neden olabilir (Gris vd., 2014).

Algler, diğer tüm bitkiler gibi fotosentez yoluyla inorganik karbonu organik maddeye dönüştürür. Işık yoğunluğu alglerin gelişiminde etkili olan en önemli faktörlerden biridir. Işık yoğunluğu, spektral kalitesi ve fotoperiyot gibi parametreler bu reaksiyonun gerçekleşmesi için oldukça önemlidir. Algler, foto-inhibitasyon nedeniyle algin fotosentetik kapasitesinden daha yüksek ışık yoğunluğunda düzgün şekilde büyümeyebilirler. Doğrudan güneş ışığı da alglerin gelişiminde olumsuz etkilidir. Algler güneş ışığının ancak 1/10’u kadarını absorbe edebilmektedirler (Encarnacion vd., 2010).

Mikroalg ve siyanobakteriler, spektrumu 400 ila 700 nm arasında olan ışıkları emer. Yapılan çalışmalar 750 nm dalga boyundan fazla olan ışık spektrumunun kimyasal enerjiye dönüştürülmek için yeterli enerjiye sahip olmadığını göstermektedir. Genellikle, 600-800 nm arasındaki ışık enerjisi spektrumunun en iyi fotosentetik aktivite için optimum foton aralığı olduğu düşünülmektedir (Katuwal, 2017).

Zhang vd. (2015), farklı aydınlık/karanlık döngüleri, ışık yoğunlukları ve ışık frekansları gibi ışık koşullarının *Scenedesmus dimorphus*'un büyümesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. *Scenedesmus Dimorphus* yetiştirmek için atık su kullanmışlardır. Azot tüketim oranlarının, farklı aydınlık/ karanlık döngülerinde (16: 8, 20: 4 ve 24: 0) aynı olduğu ($10 \text{ mgL}^{-1}\text{gün}^{-1}$) sonucuna varmışlardır. 20:4 ve 24 0 aydınlık/karanlık döngülerinde ise maksimum fosfor giderim oranı ($1.5 \text{ mgL}^{-1}\text{gün}^{-1}$) elde etmişlerdir. Çalışmaları, *Scenedesmus dimorphus*'un, nitrojen ve fosforun en iyi şekilde çıkarılma kapasitesi için en az 16 ve 20 saat boyunca aydınlatılması gerektiğini göstermektedir. Azot ve fosfor giderim hızı, ışık yoğunluğu 50 ila $400 \mu\text{molm}^{-2}\text{sn}^{-1}$ arasında değiştiğinde pozitif yönde etkilenmiştir. Dört yüz $\mu\text{mol}^{-1}\text{m}^{-2}\text{sn}^{-1}$ 'nin üzerindeki ışık yoğunluğu, *Scenedesmus dimorphus*'un büyümesinde foto-inhibasyona neden olmuştur. Ayrıca bu tür için en iyi ışık frekansının 2500 Hz olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında kırmızı ve mavi ışık karışımının alg büyümesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Elde edikleri sonuçlara göre; alg üretimi, aynı aydınlık/karanlık döngüsü 24:0 olan beyaz ışıktan % 43 daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Fotobiyoreaktörlerde alg yetiştirmek için birçok araştırmacı tarafından floresan lambalar kullanılmaktadır. Komarreddy vd. (2013), floresan lambaların verimliliğinin % 45 civarında olduğunu belirtmişlerdir. Floresan lambalar ekonomik ve kurulumları kolay olduğu için çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Floresan lambaların en önemli dezavantajı, verimlerinin zamanla azalması ve kullanım ömrünün yaklaşık 10000 saat olması, yani yaklaşık 1 yıl olmasıdır. Floresan lambalara ait ışık spektrumu Şekil 2.10'da verilmiştir.



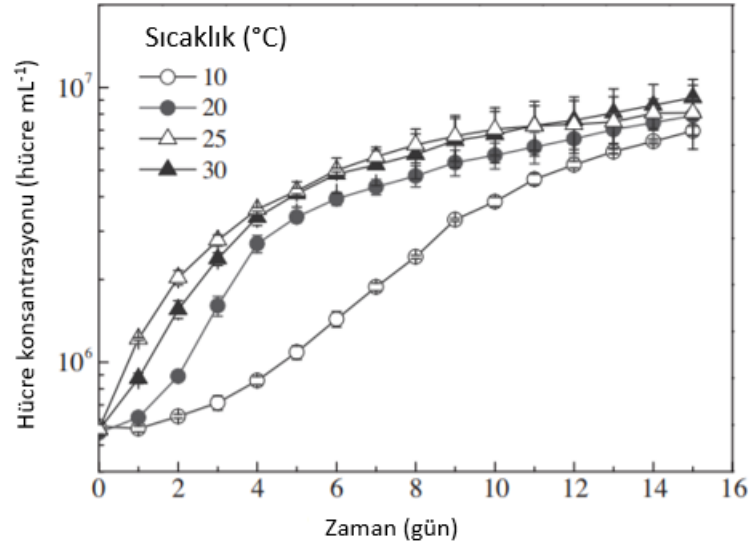
Şekil 2.10. Floresan Lambaların Işık Spektrumu (Kommareddy vd., 2013)

2.6.3. Sıcaklık

Sıcaklık, alg hücrelerinin metabolik aktivitelerini ve gelişimlerini doğrudan etkileyen çevresel parametrelerden birisidir. Çoğu alg türleri 16-27°C sıcaklık aralığında gelişim gösterebilmektedirler. Yapılan çalışmalar *Scenedesmus Dimorphus* türü için optimum sıcaklık aralığının 30-35°C olduğunu göstermiştir (Encarnacion vd., 2010). Çok yüksek ve düşük sıcaklıklar alg hücrelerinin gelişimini olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir (Mahfouz, 2014).

Knutson, McLaughlin, Barney (2018) yürüttükleri çalışmada sıcaklığın iki farklı alg türünün (*Neochloris oleoabundans* ve *Scenedesmus dimorphus*) gelişimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre *Scenedesmus Dimorphus* türünün gelişimi için optimum sıcaklığın 26°C olduğunu belirtmişlerdir.

Xin vd. (2011) çalışmalarında *Scenedesmus sp.* türünün gelişimi için gerekli optimum sıcaklığı araştırmışlardır. Elde ettikleri verilere göre *Scenedesmus sp.* türü için optimum sıcaklığın 20°C olduğunu belirtmişlerdir. Alg gelişiminin sıcaklığa bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. *Scenedesmus Sp.* türünün farklı sıcaklıklardaki gelişimi (Xin vd., 2011)

2.6.4. Havalandırma

Fotobiyoreaktör ortamında gazların (oksijen ve karbondioksit) taşınması fotosentez reaksiyonu için oldukça önemlidir. Reaktör içerisinde yeterli karışım oluşturulmazsa, alg hücrelerinde dibe çökme görülür ve bu da reaktör içerisinde karanlık bölgelerin oluşmasına sebep olur. Ayrıca yüksek seviyede karıştırma ise kesme kuvveti sebebiyle alg hücrelerine zarar verebilmektedir. Bu sebeple optimum karıştırma alglerin gelişimi açısından oldukça önemlidir. Genellikle, hava pompası, gaz enjeksiyonu ve mekanik karıştırma yöntemleri kullanılmaktadır (Rashid, Rehman, Sadiq, Mahmood, Han, 2014).

Reaktör içerisinde genellikle hava kabarcıkları oluşturularak havanın reaktör içerisine verilmesi en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu sistemin yaygın olarak kullanılmasının temel sebebi karbondioksit gazının da hava kabarcıklarıyla birlikte reaktör içerisine verilebilmesidir (Kommaredy vd., 2013).

2.6.5. Besin

Mikroalglerin gelişiminde kullanılacak besinlerle ilgili herhangi bir formül bulunmamaktadır. Ancak her alg türünün gelişmesi için gerekli optimum, minimum ve maksimum besin değerleri mevcuttur (Katuwal, 2017). Alglerin gelişmesini sağlayan

besin solüsyonları genellikle su ve kimyasal tuzları içermektedir. Alg kültürü genellikle her alg türünde farklı olan kimyasal yapılarına göre ayarlanmaktadır. Alglerin yetiştirilmesine yaygın olarak kullanılan alg kültürleri; Bold Basal Medium, Fogg's medium, F-2 medium, Beneck's medium, MA medium, Noro medium, BG-11 medium'dur. Çizelge 2.9'da bazı alg türleri için tasarlanmış olan üç farklı besiyerinin besin değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.9. Farklı alg türleri için tasarlanmış olan üç farklı besiyerinin besin değerleri (Hagendijk, 2015)

Besin	Bold's Basal (gL ⁻¹)	BG11 (gL ⁻¹)	Modifiye Allen's (gL ⁻¹)
NaNO ₃	0.25	1.5	1.5
K ₂ HPO ₄ .3H ₂ O	0.075	0.04	0.039
KH ₂ PO ₄	0.175		
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.075	0.075	0.075
CaCl ₂ .2H ₂ O	0.084	0.036	0.025
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O			0.02
Na ₂ SiO ₃ .9H ₂ O			0.058
Citric acid		0.006	0.006
Fe-Amonyum sitrat		0.006	
FeCl ₃			0.002
FeSO ₄ .7H ₂ O	0.005		
EDTA. 2Na-Mg tuz	0.05	0.001	0.001
Na ₂ CO ₃		0.02	0.02
NaCl	0.025		
KOH	0.031		
H ₃ BO ₄ (µg/l)	11.41	2.86	2.86
MnCl ₂ .4H ₂ O (µg/l)	1.44	1.81	1.81
ZnSO ₄ .7H ₂ O (µg/l)	8.82	0.222	0.222
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O (µg/l)		0.391	0.391
CuSO ₄ .5H ₂ O (µg/l)	1.57	0.079	0.079
Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O (µg/l)	0.49	0.0494	0.0494
MoO ₃ (µg/l)	0.71		
pH		7.4	7.8

Scenedesmus Dimorphus türünün gelişiminde genellikle Bold Basal's Medium kültürü kullanılmaktadır. Al-Shatri vd. (2015) çalışmalarında 5 farklı kültürün (Bold's Basal Medium (BBM), M4N medium, BG-11 medium, N-8 medium and M-8 medium) *Scenedesmus Dimorphus* türünün gelişimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. *Scenedesmus Dimorphus* türünün Bold Basal Medium ile en iyi gelişme gösterdiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca çalışmalarında 5 farklı kültür ortamında yetiştirilen *Scenedesmus Dimorphus* türünün spesifik büyüme oranı, biyokütle oranı, optik yoğunluğunu ve hücre konsantrasyonu değerlerini gözlemlemişlerdir.

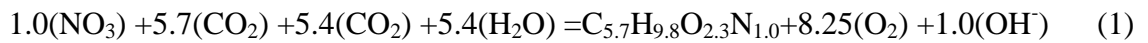
Literatürde yapılan çalışmalar *Scenedesmus Dimorphus* türünün BBM kültüründe daha iyi geliştiğini gösterdiğinden bu çalışmada da BBM kullanılmıştır.

2.6.6. pH

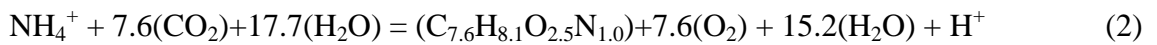
pH alg hücrelerinin gelişimini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Alg kültür ortamının pH değeri, biyokütle verimini ve algin spesifik gelişme oranını doğrudan etkilemektedir. pH ayrıca kültür ortamındaki besinlerin taşınmasında da etkili olarak rol almaktadır. Mikroalglerin gelişimi için gerekli olan pH genellikle 7-9 aralığındadır (Encarnacion vd., 2010; Hodaifa, Martínez, Sánchez, 2010).

Ahmad Latiffi, Radin Mohamed, Apandi, Tajuddin (2017) çalışmalarında, *Scenedesmus sp.* türünün farklı çevre koşulları (pH, sıcaklık, ve ışık) altında gelişimini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre *Scenedesmus sp.* türünün tolere edebildiği maksimum pH aralığının 7-8 olduğunu belirtmişlerdir.

Alg hücreleri nitrojeni, nitrat, nitrit, amonyak ve üre formunda besin olarak kullanabilmektedir. Besi ortamında bulunan nitrojen miktarı ve formu besiyerinin pH'ını doğrudan etkilemektedir. Yapılan çalışmalar alg hücrelerinin nitrojen alımı sırasında ortamın pH seviyesinin arttığını göstermektedir. Bunun sebebi ise, bir mol nitrat iyonunun oluşması bir hidroksit (OH⁻) iyonunun açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bunu gösteren kimyasal reaksiyon aşağıdaki denklemde verilmiştir.



Algler genellikle nitrojen kaynağı olarak nitrat yerine amonyağı tercih etmektedirler. Hücrelerin amonyak alımı esnasında ise ortama hidrojen (H⁺) vermektedirler. Bu da 1 mol amonyak alımı için bir mol hidrojen iyonunun ortama verilmesi anlamına gelmektedir. Bu reaksiyon ise aşağıdaki denklemde verilmiştir (Rashid vd., 2014),



Alg gelişiminde nitrojen kaynağı olarak amonyak ya da nitrat kullanılacaksa, ortamın pH değerinin ayarlanması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda ortamın pH değerinin sabit tutulması için genellikle sodyum hidroksit ve hidroklorik asit kullanılmaktadır.

2.7. Mikroalglerin Hasat Edilmesi

Mikroalglerin hasadı fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere 3 farklı teknik ile yapılabilmektedir. Mikroalglerin hasadında mevcut uygulanan başlıca teknikler arasında santrifüjleme, flokülasyon, filtrasyon ve eleme, çöktürme, yüzdürme ve elektrokoagülasyon teknikleri yer almaktadır (Uduman vd., 2010). Hücreler normal olarak negatif yük ve aşırı algojenik organik maddeler (AOM) taşımaktadır ve kültür ortamındaki kütle fraksiyonları genellikle düşük olduğundan, alg hasadının maliyeti yüksek olmaktadır (Chen vd., 2011). Mikroalglerin hasadı, mikroalg üretimi için gerekli toplam maliyetin %20-30'luk kısmını oluşturmaktadır. Yüksek maliyetin sebebi ise mikroalg hücrelerinin çok küçük olması, alg yetiştirme havuzlarının çok büyük hacimlerde olması ve hasat işleminin zorluğundan kaynaklanmaktadır (Elçik ve Çakmakçı, 2017).

Santrifüjleme

Santrifüj, birçok mikroalg türünün kültür ortamından ayrılması için kullanılmaktadır. Laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmalar, santrifüj yöntemi ile 3-5 dakikalık sürelerde mikroalglerin %80-90'ının kültür ortamından başarılı bir şekilde ayrıştırılabildiğini göstermiştir (Grima vd., 2003). Ancak büyük ölçekli alg yetiştirme durumunda santrifüj yöntemi zaman alıcı ve maliyetli olmaktadır.

Flokülasyon

Flokülasyon işlemi, dağılmış parçacıkların çökme için büyük parçacıklar oluşturmak üzere bir araya toplandığı bir işlemdir. Flokülasyon işlemi; otoflokülasyon, kimyasal koagülasyon ve elektrolitik süreç olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

Otoflokülasyon, yüksek pH'da alg hücreleri ile karbonat tuzlarının çökmesinin bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Bu nedenle, sınırlı CO₂ kaynağı ile güneş ışığı altında uzun süreli kültürasyon, hasat için alg hücrelerinin otoflokülasyonuna yardımcı olmaktadır. Kimyasal koagülasyon, flokülasyon işlemini hızlandırmak için katı-sıvı ayırma işlemlerinde bir ön arıtma aşaması olarak mikroalg kültürüne kimyasalların eklenmesi ile yapılan uygulamadır (Chng vd., 2016). Kimyasal koagülasyon işlemi büyük hacimli mikroalg sistemlerinin hasadı için daha uygundur.

Çöktürme

Çöktürme işlemi, özellikle mikroalglerin su arıtmada kullanımında alg biyokütlesinin sudan ayrıştırılması için kullanılmaktadır. Çöktürme yoluyla gelişmiş mikroalg hasadı, lamel ayırıcılar ve çöktürme tankları ile gerçekleştirilmektedir (Uduman vd., 2010).

Filtreleme ve Eleme

Eleme işlemi, alg kültür ortamının belirli bir gözenek boyutuna sahip bir elekten geçirilmesidir. Mikro süzgeç ve titreşimli elek filtreleri mikroalg hasadında birincil eleme ekipmanlarıdır. Eleme işleminde, mikroalg kültürünün yoğun olması durumunda elekten tıkanmaya sebep olurken, biyokütle konsantrasyonunun az olması durumunda verimsiz elemeye sebep olmaktadır.

2.8. Mikroalglerin Kullanım Alanları

Mikroalgler, atıksuların arıtılmasında ve endüstriyel baca gazlarının azaltılmasında sıkça kullanılmaktadır. Jiang vd. (2013) çalışmalarında, bir enerji santralinin baca gazı ile *Spirulina platensis* yetiştirmişler ve yılda 2234 kg CO₂ (74 tonha⁻¹ yıl⁻¹ eşdeğeri) azaltımı elde etmişlerdir.

Literatürde, mikroalgler ile ağır metallerin uzaklaştırılması üzerine de çalışmalar bulunmaktadır. Arun vd. (2017) çalışmalarında, mikroalg kültürü ile CU(II)'nin uzaklaştırılmasını incelemişlerdir. Kültürde Cu (II) olmadan maksimum biyokütle

verimi $5.628 \pm 0.05 \text{ gL}^{-1}$ iken, 30 mgL^{-1} Cu(II) konsantrasyonu ile biyokütle verimi $2.51 \pm 0.01 \text{ gL}^{-1}$ 'ye düşmüştür.

2.8.1. Mikroalglerin atıksu arıtımında kullanılması

Mikroalgler ile atıksu arıtımı, diğer yöntemlere kıyasla sudaki zararlı besin maddelerin arıtımında ekonomik ve çevre dostu bir yöntemdir. Atık sudaki azot, fiziko-kimyasal teknikler (iyonizasyon ve klorlama) ve biyolojik teknikler (nitrifikasyon ve denitrifikasyon) ile giderilebilir. Atıksudaki fosfor ise fiziksel yöntemlerle (sedimentasyon, yüzdürme ve filtrasyon), kimyasal yöntemlerle (çökeltme) ve biyolojik yöntemlerle giderilebilir. Ancak kullanılan bu yöntemlerin çoğu yüksek enerji kaynağı gerektirmektedir. Mikroalgal sistemler ise, atıksudaki zararlı maddeleri temizlerken atmosferdeki zararlı gazlarında (CO_2) kullanarak düşük enerji ile çalışabilmektedir (Kılıç 2017). Mikroalgal sistemlerle; kentsel atıksuları (Kim vd., 2010, Renuka, Sood, Ratha, Prasanna, Ahluwalia, 2013), tekstil atıksuları, hayvansal üretimden kaynaklı atık suları (Park, Jin, Lim, Park, Lee, 2010, L. Wang vd., 2010, Woertz, Feffer, Lundquist, Nelson, 2009) gibi farklı kaynaklı atıksularının arıtılması üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

2.8.2. Kirletici gazların azaltılmasında mikroalg uygulaması

Algler 1950'li yıllarda yapılan çalışmalarla birçok sektörün ilgisini çekmiştir. Günümüzde biyoteknoloji alanında yapılan çalışmalar hızla artmakta ve alglerin yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılması birçok bilimsel araştırmaların temel kaynağı olmaktadır.

Algler, biyolojik karbondioksit oksijen dengesinde rol alan birincil canlılardır. Günümüzde alglerin, çevre, gıda, TARIM, yem ve kozmetik gibi alanlarda kullanılması yaygınlaşmıştır. Alg kültürlerinin yetiştirilmesi, uygun biyolojik koşullarının hazırlandığı fotobiyorektör sistemler içerisinde yapılmaktadır. Son yıllarda ticari ya da bilimsel amaçlı yetiştirilen algler açık ve kapalı sistemlerde üretilmektedir. Ancak bu üretim sistemlerinden en etkili olanları kapalı sistemlerden birisi olan fotobiyoreaktörlerdir (Şahin ve Akyurt, 2010)

Mikroalgler, fotosentetik aktiviteleri ile birlikte gelişmelerinin diğer bitkilere oranla daha hızlı olmasından dolayı karbondioksit emisyonunun azaltılmasında çok etkindirler. Ayrıca, yetiştirilen alglerin biyoyakıt, besin maddesi ve hayvan yemi olarak kullanılma olanakları da bulunmaktadır (Yen, Ho, Chen, Chang, 2015).

Keffer ve Kleinheinz (2002) çalışmalarında *Chlorella vulgaris* türünün 1850 ppm CO₂ gazı ile bir fotobiyoreaktör içerisindeki gelişimini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, fotobiyoreaktörün karbondioksit absorbe etme kapasitesini 63,9 gm⁻³saat⁻¹ olarak bulmuşlardır. Noktasal kaynaklı karbondioksit emisyonunun azaltılmasında fotobiyoreaktörlerin olumlu etkisinin olduğu sonucuna varmışlardır.

Kang vd. (2014) çalışmalarında, amonyak gazının azaltılması amacıyla kapalı sistem fotobiyoreaktör içerisinde bir mikroalg kültürü (*Scenedesmus dimorphus*) yetiştirmişlerdir. 5 farklı amonyak dozunda (9.4, 19.3, 28.9, 39.9, 55.6 mgL⁻¹gün⁻¹), 4 farklı pH değerinde (5, 6, 7, 8) ve 4 farklı seyreltide (D=0.05, 0.1, 0.2, 0.3 gün⁻¹) alg gelişimini incelemişlerdir. En yüksek hücre yoğunluğunu günlük 0.1 litre seyrelti, 39.9 mgL⁻¹gün⁻¹ amonyak ve pH=7 olduğu koşulda elde etmişlerdir. Kapalı fotobiyoreaktörlerde yetiştirilen algere hayvansal üretimden kaynaklanan amonyak gazı verilerek alg gelişiminin elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Bu sayede özellikle tavukçuluk işletmelerinden kaynaklanan kirletici gazlardan amonyak gazının azaltılmasında mikro alg yetiştiriciliğinin olumlu etkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca hasat edilen biyokütlenin besin değerini incelemişler ve yeterli aminoasit besin değerlerini sağlamasından dolayı hayvan yemi olarak kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

Negoro, Shioji, Miyamoto, Micira, (1991) çalışmalarında, SO_x ve NO_x bileşenlerinin tuza dayanıklı deniz alglerinin gelişimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 3 farklı alg türünün (*Nannochloris sp.*, *Phaeodactylum tricorntutum* ve *Nannochloropsis sp.*) gelişimlerinde 50 ppm'lik SO₂ konsantrasyonuna kadar değişim olmadığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca SO₂ gazının yüksek konsantrasyonları (400 ppm) alg yetiştirme ortamındaki pH'ı düşürdüğünden alg kültürünün inhibe olmasına sebep olmuştur.

Chiu, Kao, Chen, Kuan, Ong, Lin (2008), *Chlorella sp.* alg türünün karbondioksit emisyonunu absorbe etme kapasitesi, biyokütle ve yağ içeriğini incelemek amacıyla bir fotobiyoreaktör ortamında yetiştirmişlerdir. Çalışmalarında hücre yoğunluğunun ve karbondioksit emisyonlarının alg gelişimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. %2, %5, %10 ve %15'lik karbondioksit konsantrasyonlarındaki CO₂ indirgeme oranları sırasıyla 0.261, 0.316, 0.466 ve 0.573 g saat⁻¹ ve karbondioksit absorbe etme kapasitelerini sırasıyla %58, %27, %20 ve %16 olarak bulmuşlardır.

Kang ve Wen (2015) çalışmalarında, karbondioksit ve amonyak gazının bulunduğu bir hava ile beslenen düz panel fotobiyoreaktörde bir yeşil alg (*Scenedesmus dimorphus*) yetiştirmişlerdir. Amonyak gazı günlük 42,4 mgL⁻¹'ye sabitlenmiş ve karbondioksit gazı ise günlük 0,64 ile 5,49 gL⁻¹ aralıklarında verilmiştir. En yüksek karbondioksit absorbe etme etkinliğini (%78), 0,64 gL⁻¹gün⁻¹'lük karbondioksit yüklemesinde elde etmişlerdir. Elde ettikleri biyokütlenin besin içeriğini ise %7-8 yağ, %55-60 protein ve %21-28 karbonhidrat olarak bulmuşlardır. Bu besin değerlerine göre biyokütle içeriğindeki aminoasit profilinin hayvan yemindeki ideal protein profiline benzer özellikleri taşıdığından hayvan yemi olarak kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

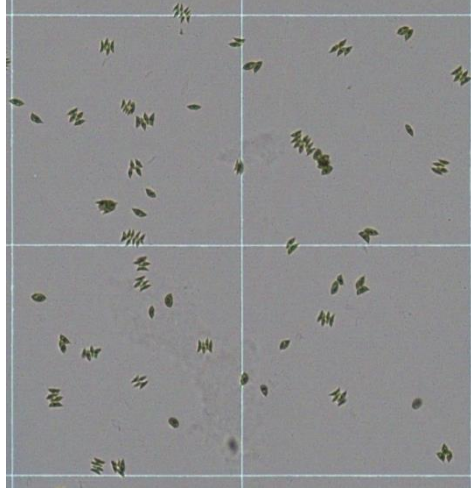
3.1.1. Alg ve besiyeri

Bu çalışmada *Scenedesmus Dimorphus* türü kullanılmıştır. Bu türün seçilmesinin temel nedeni, çok hızlı ve kolay yetiştirilebilmeleri, yüksek oranda karbondioksit absorbe edebilmeleri ve yağ oranının yüksek olmasıdır. Bu çalışmada kullanılmak üzere Texas Kültür Koleksiyonu kurumundan *Scenedesmus Dimorphus* temin edilmiştir.

Scenedesmus Dimorphus kültürü, Texas da bulunan, UTEX Alg Kültürü Koleksiyon merkezinden temin edilen alg kültürü ile hazırlanmıştır (Şekil 3.1). Kültürde biyolojik kirlilik olmadığından emin olmak için tür mikroskop altında kontrol edilmiştir. Bu, toplanan kültürden 1µl örnek alınarak ve mikroskopta bir cam lam üzerine yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Görüntüyü yakalamak için 40X objektif lensli kameralı mikroskop kullanılmıştır. Alg kültürünün görüntüsünü doğrudan mikroskoptan bilgisayara aktarmak için Infinity Analyzer yazılımı kullanılmıştır. Alg kültürünün mikroskop altındaki görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. *Scenedesmus Dimorphus* alg kültürü



Şekil 3.2. *Scenedesmus Dimorphus*'un mikroskop altında görüntüsü

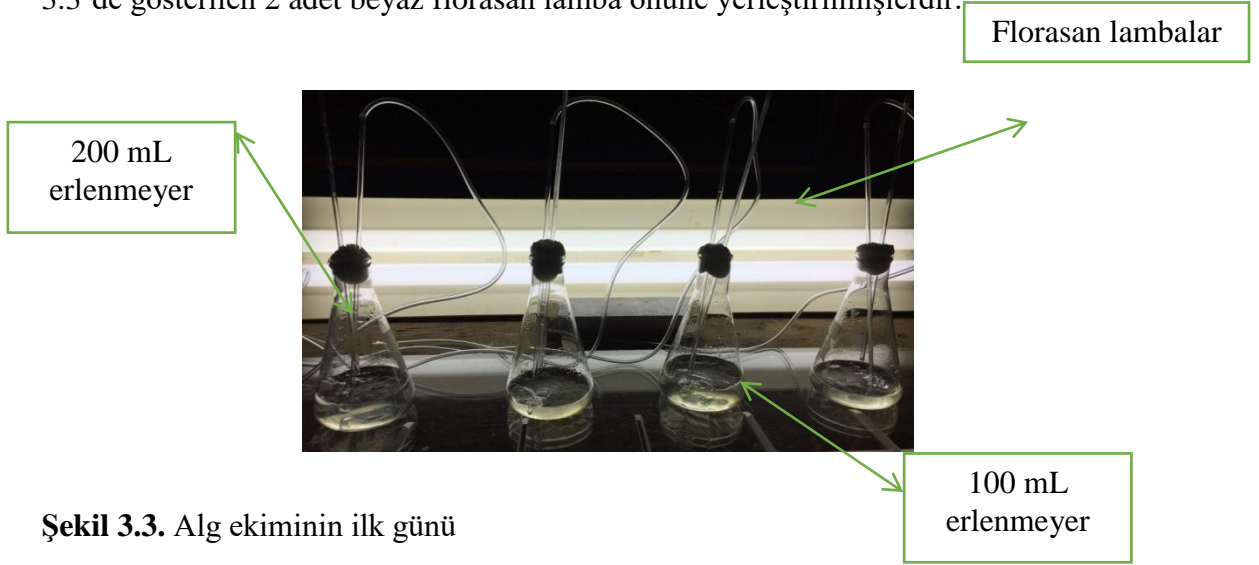
Alg besiyeri için Bold Basal Medium (BBM), Çizelge 3.1'de gösterilen kompozisyon kullanılarak hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1. Bold Basal Medium İçeriği

Bold Basal Medium	
K ₂ HPO ₄	175 mg L ⁻¹
CaCl ₂ *2H ₂ O	25 mg L ⁻¹
MgSO ₄ *7H ₂ O	75 mg L ⁻¹
NaNO ₃	250 mg L ⁻¹
K ₂ HPO ₄	75 mg L ⁻¹
MoO ₃	1.42 mg L ⁻¹
NaCl	25 mg L ⁻¹
EDTA C ₁₀ H ₁₆ N ₂ O ₈	50 mg L ⁻¹
KOH	31 mg L ⁻¹
FeSO ₄ *7H ₂ O	4.98 mg L ⁻¹
H ₂ SO ₄	1uL
H ₃ BO ₃	11.42 mg L ⁻¹
İz Elementler (1 mL L⁻¹)	
ZnSO ₄ *7H ₂ O	8.82 g L ⁻¹
MnCl ₂ *4H ₂ O	1.44 g L ⁻¹
CuSO ₄ *5H ₂ O	1.57 g L ⁻¹
Co(NO ₃) ₂ *6H ₂ O	0.49 g L ⁻¹

Bold Basal Medium hazırlamak için UV ışığı ile muamele edilmiş saf su kullanılmıştır. Saf su eldesi için Thermo Scientific Barnstead EASYpure RoDi ultra saf su arıtma sistemi kullanılmıştır. Hazırlanan besiyeri, 20 dakika boyunca 121°C'de otoklava yerleştirilerek sterilize edilmiştir. Sterilize edilmiş besiyeri kültür ekimi yapılmadan önce oda sıcaklığında soğutulmuştur. Algler, daha önce otoklavda steril edilmiş 100 mL

ve 200 mL'lik iki farklı erlenmeyere ekilmiştir. Alg ekimi yapılan erlenmeyeler Şekil 3.3'de gösterilen 2 adet beyaz florasan lamba önüne yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Alg ekiminin ilk günü

3.1.2. Fotobiyoreaktör tasarımı

Fotobiyoreaktör tasarımında reaktör içinde etkin ışık yoğunluğunu sağlamak amacıyla genellikle transparan malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler; cam, akrilik, plastik cam, polikarbonat (PC), polietilen (PE) ve polivinil klorürdür. Reaktör tasarımında kullanılacak malzeme seçilirken yüksek dayanımlı, kimyasal özellikleri sabit ve temizlenmesi kolay olmasına dikkat edilmelidir. Fotobiyoreaktör sistemlerde çoğunlukla kullanılan malzemelere ait optik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Fotobiyoreaktörlerde kullanılan malzemelerin optik özellikleri (Katuwal, 2017)

MALZEME	IŞIK İLETİMİ (%)	KRİTİK AÇI	KIRILMA İNDİSİ
Akrilik, Plastik Cam	95	42-16°-45°	1.49
Cam		43°	1.52 (1.473)
Polivinil Klorür (Pvc)	75		1.5
Polietilen (Pe),	92 (1/8 inch)	46°	1.51
Polikarbonat (Pc)			1.60
Fiberglas	90		

Akrilik camlar, yüksek ışık geçirgenliği ve daha az ısı kaybı gibi özelliklerinden dolayı diğer malzemelere oranla daha çok tercih edilmektedir. Akrilik cam uzun ömürlü ve

ergime noktası yüksek bir malzemedir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada tasarımı yapılacak olan reaktör için akrilik cam malzeme kullanılmıştır.

Panel tip reaktör için kullanılacak olan akrilik camlar gerekli boyutlarda kesilerek paslanmaz çelik vidalarla birbirine tutturulmuştur. Birleşim noktaları sızıntıyı engellemek için silikonlanmıştır. Reaktör boyutları 35 cm yüksekliğinde, 50 cm eninde ve 10 cm genişliğinde 15 L hacim kapasiteli olacak şekilde yapılmıştır. Şekil 3.4'te reaktöre ait fotoğraf verilmiştir.



Şekil 3.4. Panel tip fotobiyoreaktör

Fotobiyoreaktör tasarımında en önemli çevresel koşullardan birisi ışıktır. Alglerin ışık spektrumuna uyacak özelliklere sahip 2 adet cool-white floresan lambalar kullanılmıştır. Seçilen floresan lamba ve özellikleri Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Alg gelişimi için kullanılan ışık sistemi

Bu çalışmada kullanılacak fotobiyoreaktörlerde havalandırma ve karıştırma işlemi için kabarcık sistemli difüzer seçilmiştir. Bu difüzer reaktörün uzun kenarına paralel ve reaktör ortasında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Difüzer reaktöre gelen havanın besiyerine aktarılmasını ve aynı zamanda karıştırma görevini yerine getirmektedir.

3.1.3. Barınak denemesi

Çalışmada laboratuvar koşullarında yetiştirilen ve 10 L'lik hacime getirilen alg kültürleri iki adet 10 L kapasiteli fotobiyoreaktörde South Dakota Devlet Üniversitesi Domuz Çiftliğine götürülerek 3 hafta süre ile test edilmiştir. 3 haftalık sürede domuz barınak havası doğrudan fotobiyoreaktöre verilerek alg gelişimi incelenmiştir.



Şekil 3.6. South Dakota Devlet Üniversitesi Domuz Barınağı

South Dakota Devlet Üniversitesi Domuz Çiftliği, Domuz Eğitim ve Araştırma Tesisi, Domuz Yetiştirme tesisi ve Üretim tesisi olmak üzere üç binadan oluşmaktadır. Tesise ait görüntü Şekil 3.6'da verilmiştir. Barınak biyogüvenliği sebebiyle tesise giriş ve çıkışlarda duş alma sistemi uygulanmaktadır. Domuz yetiştiriciliği hepsi içeride ve hepsi dışarıda sistemi ile yapılmaktadır. Barınak mekanik olarak havalandırılan 300 başlı dört odadan oluşmaktadır.

Binanın güney tarafındaki iki oda, her biri ızgara tabanlı ve 3 m derinliğinde gübre çukuruna sahiptir. Her bir odada 50 bölme vardır ve her bir bölmede 6-7 domuz yetiştirilmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü barınak iç ortamına ait görüntü Şekil 3.7'de verilmiştir.

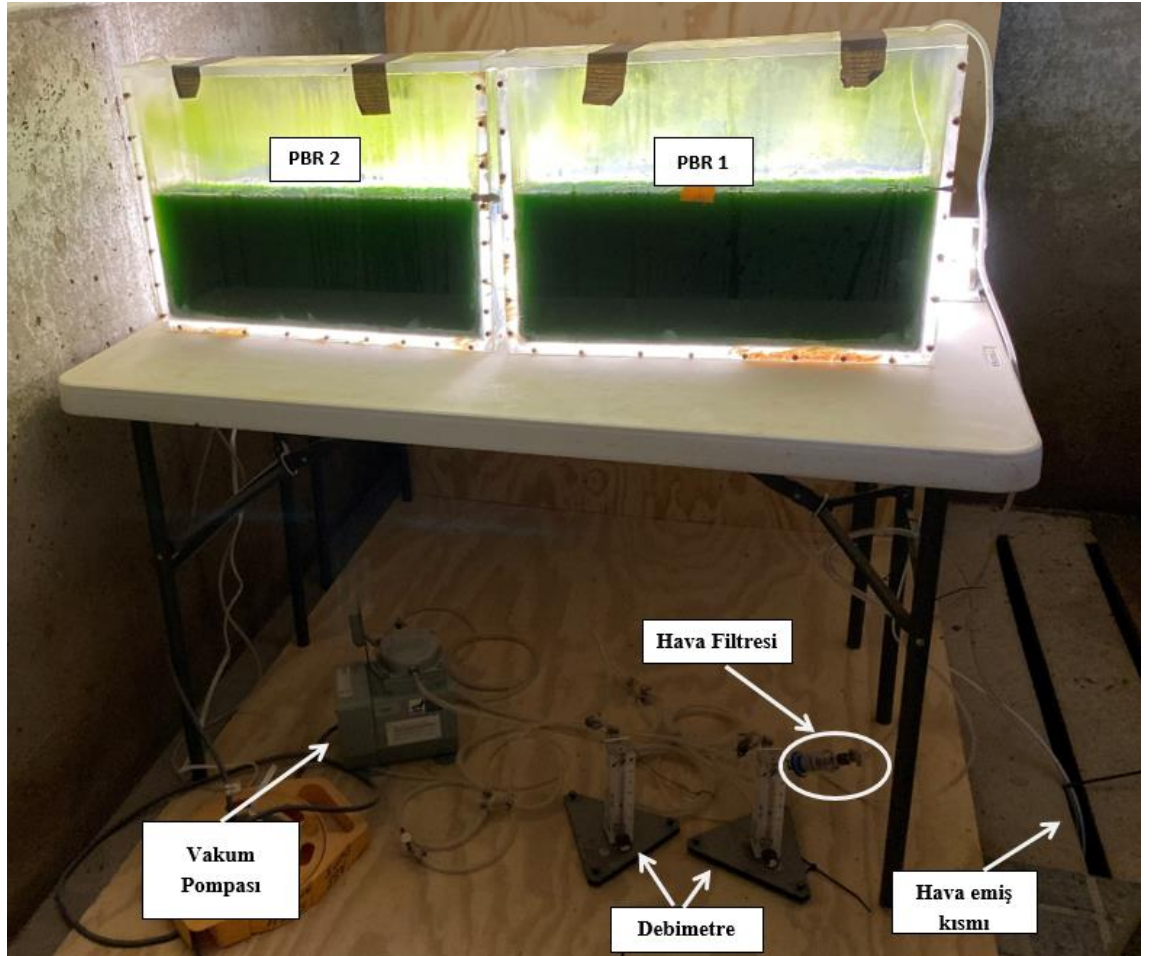


Şekil 3.7. Çalışmanın yürütüldüğü barınak iç ortamı

Deneyin başlatıldığı dönemde barınak iç ortam havasında bulunan NH_3 konsantrasyonu yaklaşık 5 ppm olarak ölçülmüştür. Fotobiyoreaktör sisteme daha yüksek miktarlarda amonyak konsantrasyonu sağlamak için, PBR sistemin hava giriş borusu ızgara zeminin yaklaşık 30 cm altına yerleştirilmiştir. Bu sayede hayvanların bulunduğu iç ortam havasına ilave olarak daha kirli olan ızgara tabanın alt kısmındaki hava da PBR sisteme aktarılmıştır.

Barınak iç ortam havasının PBR sisteme aktarılmasında 1/8 Hp vakum pompası kullanılmıştır. Vakum pompasının havayı emdiği kısımda, toz ve partiküler maddelerin PBR sisteme taşınarak difüzörlerde tıkanıklık ya da kültür ortamında kontaminasyona sebep olmaması için 0.2 μm 'lik hava filtresi yerleştirilmiştir. Vakum pompası ile PBR sistemlere aktarılan havanın miktarının kontrol edilebilmesi ve istedilen debiye ayarlanabilmesi için ise her bir reaktör için ayrı hava debimetreleri (Cole Parmer, Amerika Birleşik Devletleri) kullanılmıştır. Her bir reaktör için havalandırma oranı 5 L dakika⁻¹ olarak ayarlanmıştır. Fotobiyoreaktör tanklarına sadece tek yan yüzeylerinden

deney süresince $60-70 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ışık şiddetinde iki adet cool-white floresan lamba ile ışık verilmiştir. Kültür ortamının sıcaklık ve pH değerleri 24 saatlik periyotlarla ölçülmüştür. Ortam pH değeri her bir 24 saatlik ölçümlerde 0.1 M HCl ve 0.5 M NaOH ile pH değeri 7'ye ayarlanmıştır. Deney süresi boyunca 24 saatlik periyotlarla her bir tanktan alınan numuneler ile günlük hücre sayımı ve kuru ağırlık tayini yapılarak alg gelişimi izlenmiştir. Barınak içerisine yerleştirilen fotobiyoreaktör sistem Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Barınak içerisine yerleştirilen fotobiyoreaktör sistem

3.2. Yöntem

3.2.1. Hücre sayımı

Hücre sayımında; 24 saatlik periyotlarla yaklaşık 100 µL'lik pipet yardımıyla fotobiyoreaktör içerisinden alınan örnekler hemositometre slaydı üzerine aktarılarak mikroskopta sayılmıştır. Hücreler mikroskop yardımıyla sayılarak ve mL'deki hücre sayıları hesaplanmıştır. Veriler her bir numune için alınarak dijital olarak saklanmıştır. Spesifik büyüme hızı ve ikilenme süresi aşağıdaki verilen eşitliklerle hesaplanmıştır (Becker, 1994);

$$\mu = \frac{L_n N_t - L_n N_0}{t - t_0} \quad (3)$$

$$t_d = \frac{L_n}{\mu} \quad (4)$$

μ : spesifik büyüme hızı (gün⁻¹)

N_{t1} : t_1 inci gündeki hücre konsantrasyonu (hücre sayısı/mL)

N_{t0} : t_0 ncı gündeki hücre konsantrasyonu (hücre sayısı/mL)

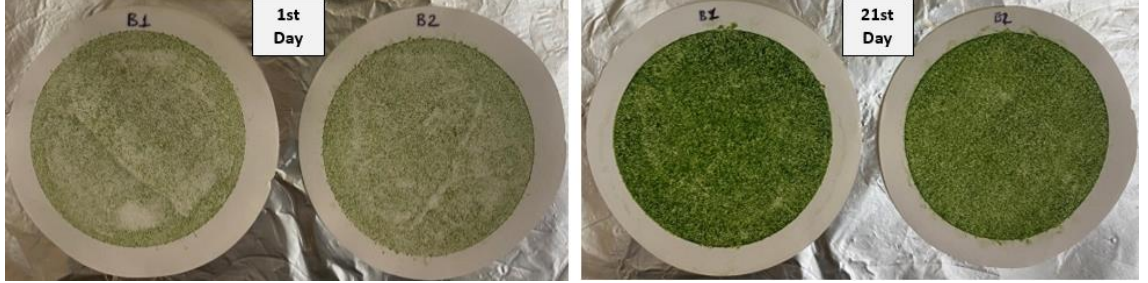
t_d : ikilenme süresi (gün)

3.2.2. Biyokütle ölçümü

Alg biyokütlesinin kuru ağırlık ölçümü 24 saatlik periyotlarla yapılmıştır. Kuru ağırlık tayini için tanktan volümetrik pipetle 25 mL'lik örnekler alınmıştır. Alınan örnekler, alg kütlesinin sudan ayrılması için filtre kâğıdı üzerinde vakum filtre sistemiyle süzülmüştür. Filtre kâğıdı olarak 90 mm çapında ve 2,5 µm delik çapı olan 5 numara Whatman marka filter kâğıdı kullanılmıştır. Filtre kâğıdına süzülen biyoküteller daha sonra 80-90 dereceye ısıtılmış fırında 3 saat kurutulularak kuru ağırlığı ölçülmüştür (Goswami ve Kalita 2011; Shen vd., 2009). Şekil 3.9'da filtre kâğıdında kurutulan biyokütlere ait görüntü verilmiştir. Kuru ağırlık hesabında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\text{Kuru ağırlık (Biyokütle)} (g L^{-1}) = \frac{\text{Son ağırlık (g)} - \text{İlk ağırlık (g)}}{25 (ml) \times 1 (L)} \times 1000 (L)$$

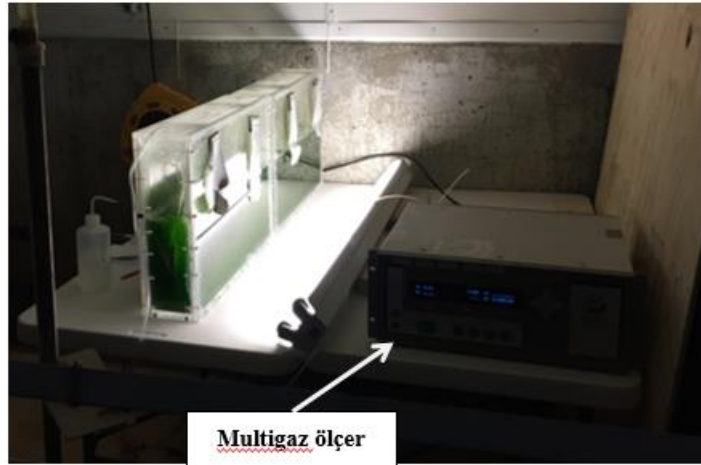
(5)



Şekil 3.9. Kurutulmuş biyokütleler

3.2.3. Amonyak ve karbondioksit gaz konsantrasyonlarının ölçümü

Amonyak ve karbondioksit gaz konsantrasyonlarının ölçümünde INNOVA 1312 fotoakustik multi gazölçer cihazı kullanılmıştır. Gaz ölçüm cihazının ölçüm probu fotobiyoreaktör sistemlere verilen havanın giriş açıklığından ölçülmüştür. Deney aşamasında kullanılan gaz ölçüm cihazının görüntüsü Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Gaz ölçüm cihazı

3.2.4. NH₃ ve CO₂ gaz konsantrasyonlarının azaltım miktarlarının hesaplanması

Barınak iç ortam havası, çeşitli gaz ve toz bileşenlerinden oluşmaktadır. İç ortamda bulunan gaz ve toz bileşenleri barınak tipine, hayvan sayısına, havalandırma oranına ve hayvan yaşına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Barınak iç ortam gazının direkt alg kültür ortamına verilecek olması ve alg kültür ortamının da sıvı olması sebebiyle, çıkış gazı bileşenlerinin (NH_3 , CO_2 , H_2S , PM) sudaki çözünürlüğü oldukça önemlidir. Amonyak gazı, moleküler yapısında hidrojen bağı oluşturma yeteneği sayesinde sudaki çözünürlüğü oldukça yüksektir. Amonyak gazı, sulu çözeltilerde amonyum ve hidroksit iyonları oluşturmak için sudaki hidrojen iyonlarını alarak çözeltilerde bazik yapı gösterir. Aşağıda verilen eşitlikte de görüldüğü gibi amonyak gazı suda çözüldüğünde suya amonyum iyonu ve hidroksit verir.



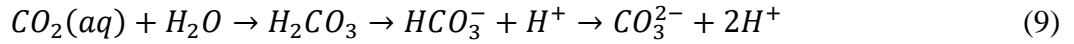
Suda çözünen amonyağın bir kısmı, amonyum iyonları oluşturmak için suyla reaksiyona girmez. NH_3 'ün önemli bir kısmı, su çözeltilisinde moleküler formda kalabilir. Amonyak gazının sudaki çözeltilisine ait iki farklı kimyasal eşitlik bulunmaktadır. Bunlar amonyum-amonyak dengesi ve amonyak sıvı-gaz faz dengesidir (Kang vd., 2014).



Azot bileşenleri, pH ve sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Düşük pH'da azot NH_4^+ olarak bulunurken, yüksek pH'da NH_3 olarak bulunmaktadır (Kang, 2012).

Karbondiyoksit gazı ise, su ortamına girdiğinde dört farklı bileşime sahiptir. Bunlar karbondiyoksit (CO_2), karbonik asit (H_2CO_3), bikarbonat iyonu (HCO_3^-) ve karbonat (CO_3^{2-}) iyonudur (Ji vd., 2017). Alg kültür ortamındaki CO_2 çözünürlüğü, foto-reaktöre, sistemin çalışma hacmine, alkaliniteye ve gaz çıkışına bağlıdır. Becker (1994) çalışmasında, alg kültür ortamına karbon kaynağı olarak CO_2 verildiğinde, %13-20 oranında karbondiyoksitin alg kültürü tarafında absorbe edilebildiğini belirtmiştir. Karbondiyoksit su ile reaksiyona girdiğinde karbonik asit ve onun iyonlarını oluşturmaktadır. Bu kimyasal denge depolanan CO_2 miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Alg tarafından kullanılan CO_2 miktarı arttığında, kültür ortamının pH'ı artmaktadır. Tam tersi durumda ise, alg tarafından absorbe edilen CO_2 miktarı azaldığında ve kültür ortamında çözülmüş karbondiyoksit miktarı arttığında ortamın pH'ı düşmektedir (Mcpherson ve Henderson, 1915). Karbondiyoksit gazının sudaki

çözeltisine ait kimyasal reaksiyon denklemi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Chng vd. 2016);



Amonyak ve karbondioksit gaz konsantrasyonlarının azaltım miktarları alg hücreleri tarafından alınan NH₃ ve CO₂ fiksasyon oranlarına göre hesaplanmıştır. Her bir fotobiyoreaktördeki NH₃ ve CO₂ fiksasyon oranları, alg hücrelerinin karbon (C) ve azot (N) içeriği ve hacimsel büyüme hızları kullanılarak hesaplanmıştır. Goswami ve Kalita (2011) çalışmalarında verilen alg biyokütlesinin stokiometrik formülü (CO_{0.48}H_{1.83}N_{0.11}P_{0.01}) kullanılmıştır. Bu formüle göre, *S. Dimorphus* türünde kütle bazında karbon ve azot içerikleri sırasıyla [C]= %44,83 ve [N]=%7,94 olarak tahminlenmiştir. NH₃ ve CO₂ fiksasyon oranları aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır (Vidyashankar vd. 2015);

$$R_{gaz} = C_{C/N} \times Y \times \frac{M_{gaz}}{M_{C/N}} \quad (10)$$

R_{gaz}: CO₂ ve NH₃ fiksasyon oranı (mg L⁻¹ gün⁻¹)

C_{C/N}: *S. Dimorphus* türünün karbon (C) ve azot (N) içeriği (%)

Y: biyokütle verimi (mg L⁻¹ gün⁻¹)

M_{gaz}: CO₂ ve NH₃ gazlarının moleküler ağırlığı

M_{C/N}: Karbon (C) ve azotun (N) moleküler ağırlığı

NH₃ ve CO₂ gaz azaltım etkinliği ise aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır (Kang ve Wen, 2015);

$$E_{gaz} = \frac{R_{gaz}}{C_{gaz}} \times 100 \quad (11)$$

Eşitlikte;

C_{gaz}: PBR sisteme verilen CO₂ ve NH₃ gaz konsantrasyonları (mg L⁻¹ gün⁻¹)

3.2.5. Enerji Tüketimi

Fotobiyoreaktör sistemin işletim maliyetinin hesaplanmasında, aydınlatma ve havalandırma için kullanılan enerji floresan lambaların ve vakum pompasının elektrik gücü tüketiminden yararlanılmıştır. Elektrik enerji tüketimi ise aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır (Ali, Hasanuzzaman, Rahim, Mamun, Obaidellah, 2021);

$$E_{kwh/gün} = P_{(W)} \times t_{(saat7gün)} / 1000_{(W/kW)}$$

(12)

Eşitlike;

E: günlük enerji tüketimi (kWh)

$P_{(W)}$: cihaz gücü (W)

t: zaman (saat gün⁻¹)

Enerji tüketim maliyetinin hesaplanmasında, çalışmanın yürütüldüğü Güney Dakota eyaleti için geçerli olan 1 kWh enerji tüketimi bedeli olarak 12 sent (c) esas alınmıştır. Enerji verimliliği (EE) ise elektrik enerjisi tüketiminin gaz emisyonlarındaki azalma miktarına bölünmesiyle hesaplanmıştır (Lee vd., 2020).

$$EE (KwH \cdot g^{-1} \cdot dak) = \frac{\text{Elektrik enerjisi tüketimi (kWh)}}{\text{Emisyon azaltımı (g \cdot dak^{-1})}}$$

(13)

3.3. İstatistiksel analizler

Elde edilen veriler JMP v13.0 istatistik programı ile analiz edilmiştir. Domuz barınağı iç ortam havası verilerek test edilen iki fotobiyoreaktör tank arasında hücre konsantrasyonu ve biyokütle verimi açısından istatistiksel farklılık olup olmadığı Student t-test ile incelenmiştir. İstatistiksel analizler için JMP ve MINITAP programları $\alpha=0,05$ önemlilik düzeyi dikkate alınmıştır. Her bir fotobiyoreaktörden 24 saatlik periyotlarla üç numune alınmıştır. Daha sonra hücre konsantrasyonları, biyokütle verimi, pH ve sıcaklık açısından PBR 1 ve PBR 2 t-testi ile karşılaştırmalı analize tabi tutulmuştur. Hücre konsantrasyonları ve biyokütle veriminde önemli düzeyde farklılık tespit edildiğinden, CO₂ ve NH₃ gaz konsantrasyonlarının hücre büyümesi üzerindeki etkilerini daha detaylı incelemek için LSD post hoc testi yapılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada, 2 adet fotobiyoreaktör tankı bir domuz barınağına yerleştirilerek barınak iç ortam havası ile alg gelişimi incelenmiştir. Deney süresince, mikroalg için gerekli çevre koşullarından ışık ve pH optimum değerlerde sabit tutulmuştur. Kültür ortamının sıcaklığı ise serbest bırakılmıştır. Ayrıca, 21 gün boyunca yapılan denemede, çevresel parametreler (sıcaklık, pH ve kirletici gaz konsantrasyonları) ve alg gelişimi (hücre sayısı, biyokütle verimi, hücre ağırlığı) incelenmiştir.

4.1. Mikroalg gelişimine etki eden parametreler

4.1.1. pH

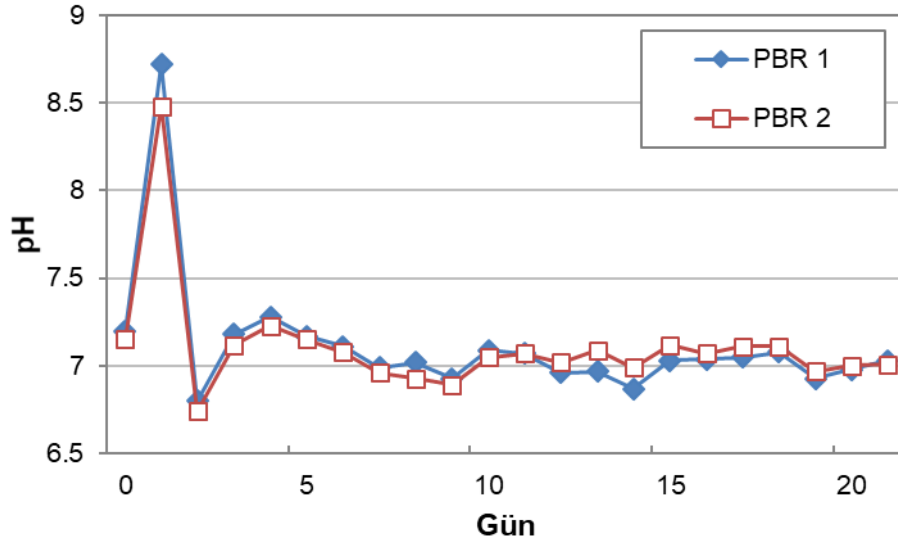
pH alg hücrelerinin gelişimini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Alg kültür ortamının pH değeri, biyokütle verimini ve algin spesifik gelişme oranını doğrudan etkilemektedir. pH ayrıca kültür ortamındaki besinlerin taşınmasında da etkili olarak rol almaktadır. Mikro alglerin gelişimi için gerekli olan pH aralığı genellikle 7-9 aralığındadır (Encarnacion vd., 2010, Hodaifa vd., 2010).

Alg gelişiminde azot kaynağı olarak amonyak ya da nitrat kullanılacaksa, ortamın pH değerinin günlük olarak ayarlanması gerekmektedir. Bu çalışmada ortamın pH değerinin stabil tutulması için sodyum hidroksit (NaOH) ve hidroklorik asit (HCl) kullanılarak kültür ortamının pH değeri günlük olarak 7'ye ayarlanmıştır. Şekil 4.1'de, alg kültür ortamının pH'ının 24 saatlik periyotlarla ölçülen değerleri verilmiştir. Şekil 4.1'de verilen pH değerleri pH ayarlaması yapılmadan önceki pH değerlerini göstermektedir.

Algler, fotobiyoreaktöre verilen CO₂'yi tam olarak kullanmadığında kültür ortamı asidik hale gelir. Amonyak ise mikroalgler tarafından yeteri kadar alınmadığında ise kültür ortamını bazik hale getirmektedir. Barınak iç ortam havasında nispeten yüksek bir NH₃ konsantrasyonu bulunmasına rağmen, deneyin 2. gününden sonra pH değeri neredeyse sabit kalmıştır. Bunun nedeni muhtemelen NH₄'ün barınak havasındaki organik asitler ve büyüme ortamındaki CO₂'den gelen karbonatlar ve bikarbonatlar tarafından nötrale edilmiş olmasıdır.

Barınak iç ortam havasında yağ asidi, diasetil, p-krezol, skatol ve indol gibi birçok organik kükürtlü bileşenler bulunmaktadır (Melse ve Ogink 2005). Bunlardan asetik asit ve bütrik asit daha yoğun olarak bulunmaktadır (Ni vd., 2012) ve yağ asidi konsantrasyonları 100 ppm değerlerine kadar ulaşabilmektedir (Gralapp, Powers, Bundy, 2000; Ni vd., 2012; Spinhirne ve Koziel, 2003). Asetik asitin asitlik değeri (pKa = 4.756), amonyak gazının bazik değerine (pKb = 4.75) oldukça yakındır. Bu da, bu iki kimyasalın kültür ortamında eşit konsantrasyon değerlerinde bulunması durumunda, alg kültür ortamının pH değerinin nötr olabileceğini göstermektedir. Bu durumda barınak iç ortam havasının fotobiyoreaktöre verilmesi durumunda, alg kültür ortamının pH değerinin çalışmada kullanılan olan *Scenedesmus Dimorphus* türü için optimum pH değerleri arasında kalmasını sağlamıştır.

Kültür ortamının pH'ı, deneyin 20 günü için 6.80 ile 7.10 arasında ölçülmüştür. NH₃ gazı konsantrasyonu ise 20 gün boyunca 2.5 ile 12,8 mgL⁻¹gün⁻¹ arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.1). Kang vd. (2014), *S. Dimorphus* türüne 9.4 ve 39.9 mgL⁻¹gün⁻¹ arasında bir NH₃ gazı vererek alg gelişimini incelemiştir. Kang vd. (2014) deneme süresi boyunca minimum miktarda asit ekleyerek ortam pH'ını 7-7.1 aralığında tutmuşlardır. Bu çalışmada elde edilen verilerde Kang vd. (2014)'ün sonuçlarına benzerlik göstermektedir. Alg kültürünün pH'ı 21 günlük süre boyunca minimum 6.8, maksimum 7.1 değerine ulaşmıştır (Şekil 4.1). Barınak gazındaki amonyak gazı kültür ortamını bazik hale getirirken, hava da bulunan organik asit gibi diğer bileşenler de asit hale getirmiştir. Bu durum kültür ortamının pH dengesinin 6.8-7.1 aralığında sabit kalmasını açıklamaktadır.

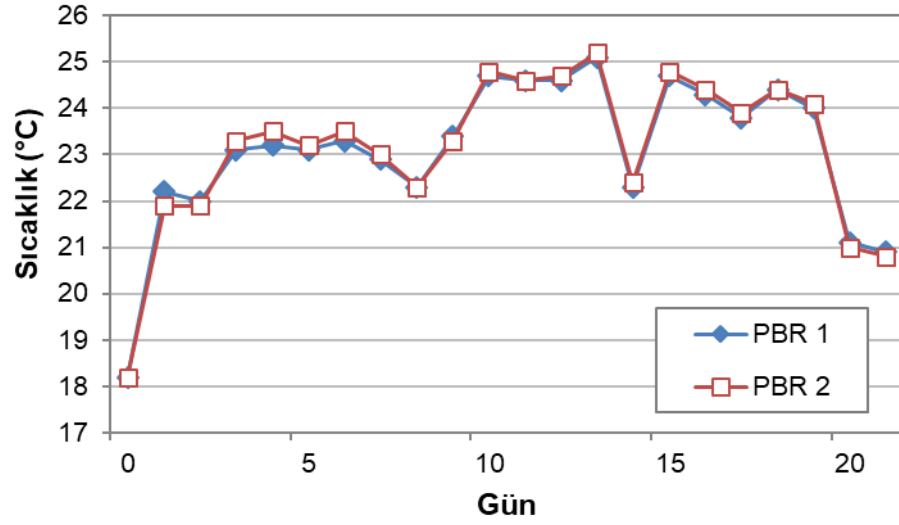


Şekil 4.1. Deney boyunca alg kültür ortamını pH değerinin değişimi (pH dengelemesi yapılmadan önceki değerler)

4.1.2. Sıcaklık

Bir çok mikroalg türünün gelişimi için optimum sıcaklık aralığı 16-27°C'dir. Bu sıcaklık aralığı dışındaki kültür ortamları mikroalglerin inhibasyonuna sebep olmaktadır (Encarnacion vd., 2010). Knutson vd. (2018) çalışmalarında *Scenedesmus dimorphus* alg türünün gelişimi için optimum sıcaklığın 26°C olduğunu belirtmişlerdir. *Chlamydomonas* ve *Chlorella* türleri de 15-35°C sıcaklık aralıklarında gelişim göstermektedirler. Vítová, Bišová, Hlavová, Kawano, Zachleder, Čížková (2011) çalışmalarında *Chlamydomonas reinhardtii* türünün en iyi gelişim gösterdiği sıcaklığı 28°C olarak belirtmişlerdir.

Bir hayvan ahırındaki iç ortam sıcaklıkları hayvan türüne, yaşına, havalandırma sistemine ve iklim koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Dong vd. (2009), hem ilkbahar hem de yaz aylarında bir domuz barınağında iç ortam sıcaklıklarını ölçmüştür. İlkbaharda iç ortam sıcaklığının ortalama 20.7°C±3.4°C, yazın ise 23.6°C ±4.9°C olduğunu bildirmişlerdir. Bu deneyde, domuz barınağındaki iç ortam hava sıcaklığı, 21 günlük deney süresince alg büyümesi için en uygun aralıkta kalan 20-25°C arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Deney süresince kültür ortamının sıcaklık değişimi

4.1.3. Amonyak ve karbondioksit gaz konsantrasyonları

Çalışmada, barınak iç ortam havası vakum pompası ile alg kültür ortamına verilmiştir. Ancak barınak iç ortam havasında bulunan toz ve partiküler maddelerin fotobiyoreaktör içerisindeki hava difüzörlerinin çalışma etkinliğini negatif yönde etkileyebileceği düşünüldüğünden gaz transfer hattı üzerine hava filtresi yerleştirilmiştir. Barınak havasında bulunan toz ve partiküler maddeler hava filtresi sayesinde sisteme dahil edilmediğinden, karbondioksit gazı mikroalgler için tek karbon kaynağı olarak yer almaktadır. Deneme süresi boyunca barınak iç ortam havasındaki amonyak ve karbondioksit konsantrasyonları ölçülmüştür (Çizelge 4.1). Barınak iç ortam havasındaki amonyak gazı konsantrasyonları 5-25.6 ppm ($2.5-12.8 \text{ mg L}^{-1}\text{gün}^{-1}$), karbondioksit gazı konsantrasyonları ise 2000-3890 ppm ($2600-5057 \text{ mg L}^{-1}\text{gün}^{-1}$) aralığında değişiklik göstermiştir.

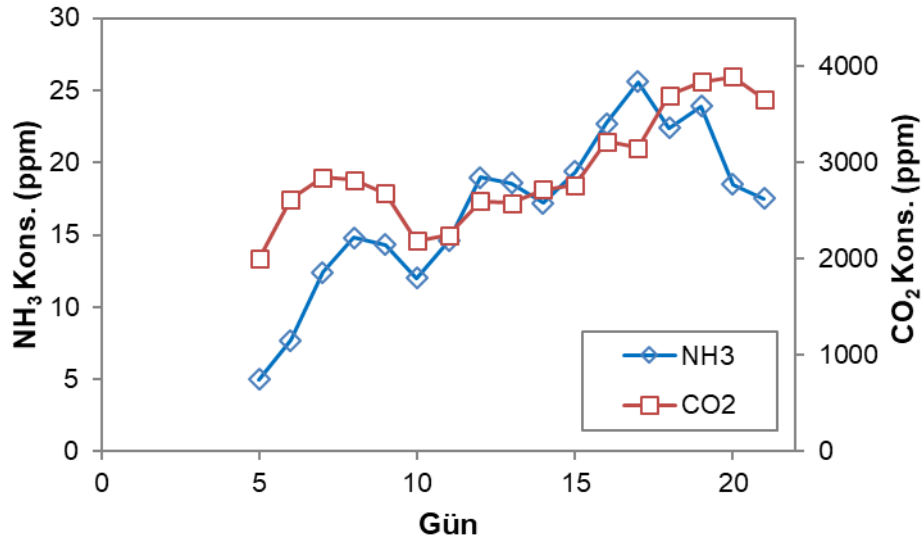
Çizelge 4.1. Domuz barınağı iç ortamındaki karbondioksit ve amonyak gaz konsantrasyonları

Gün	NH ₃		CO ₂		
	Kons. (ppm)	Kons (mg L ⁻¹ d ⁻¹)	Kons. (ppm)	Kons. (mg L ⁻¹ d ⁻¹)	CO ₂ (%)
0	5	2.50	2000	2600	0.2
1	5	2.50	2000	2600	0.2
2	5	2.50	2000	2600	0.2
3	5	2.50	2000	2600	0.2
4	5	2.50	2000	2600	0.2
5	5	2.50	2000	2600	0.2
6	7.7	3.85	2620	3406	0.262
7	12.4	6.20	2850	3705	0.285
8	14.8	7.40	2820	3666	0.282
9	14.3	7.15	2680	3484	0.268
10	12.0	6.00	2190	2847	0.219
11	14.6	7.30	2250	2925	0.225
12	19.0	9.50	2600	3380	0.26
13	18.6	9.30	2580	3354	0.258
14	17.2	8.60	2720	3536	0.272
15	19.4	9.70	2770	3601	0.277
16	22.7	11.35	3220	4186	0.322
17	25.6	12.80	3150	4095	0.315
18	22.4	11.20	3700	4810	0.37
19	23.9	11.95	3840	4992	0.384
20	18.5	9.25	3890	5057	0.389
21	17.5	8.75	3660	4758	0.366

Çalışmada mikroalg biyokütle verimi incelendiğinde, maksimum kuru ağırlık konsantrasyonu (PBR 1 için 0.892 gL⁻¹ ve PBR 2 için 0.884 gL⁻¹) her iki PBR için de barınak iç ortamındaki amonyak ve karbondioksit konsantrasyonlarının sırasıyla 14.6 ve 2250 ppm olduğu 11.günde gerçekleşmiştir.

Deneme süresi boyunca amonyak ve karbondioksit gaz emisyonları doğrudan ölçülmemiştir. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, amonyak ve karbondioksit emisyon oranları barınak tipi, altlık, sıcaklık ve havalandırma oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Aarnink, Keen, Metz, Speelman, Verstegen (1995) bir domuz barınağında (nursery) yürüttükleri çalışmalarında amonyak emisyon oranını 0,7 ila 1,2 mg NH₃ baş⁻¹ gün⁻¹ (canlı hayvan ağırlığı 500 kg) olarak bulmuşlardır. Başka bir

çalışmada Park vd. (2010) sütten kesilmiş domuz ve damızlık domuz barınağında amonyak emisyon değerlerini sırasıyla 0.225 kg baş⁻¹ yıl⁻¹ (0.61 g baş⁻¹ gün⁻¹) ve 0.869 kg baş⁻¹ yıl⁻¹ (2.38 g baş⁻¹ gün⁻¹) olarak bulmuşlardır. Literatürdeki çalışmalara göre domuz barınaklarındaki ortalama emisyon oranı bu çalışmada kullanılmak üzere 0,7 g NH₃ baş⁻¹ gün⁻¹ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3. NH₃ ve CO₂ gaz konsantrasyonlarının değişimi

4.2. Alg Gelişimi

4.2.1. Hücre Konsantrasyonu

Literatürde yapılan çalışmalar, mikroalglerin hücresel gelişimlerinin lag fazı, logaritmik faz, lineer çoğalma fazı, durgun çoğalma fazı ve ölüm fazı olmak üzere 5 farklı fazda gerçekleştiğini göstermektedir (Encarnacion vd., 2010). Mikroalglerin hücre yoğunluğu, kültür ortamında bulunan besin bileşenlerinin tükenmesine bağlı olarak artış ya da azalış göstermektedir. Kültür ortamında bulunan besin maddelerinin tükenmesi ile birlikte besin takviyesi yapılmadığında alg hücrelerinde ölüm gerçekleşmektedir. *Scenedesmus Dimorphus* türü için ise laboratuvar koşullarında yürütülen çalışmalarda 14. günün sonunda ölüm fazına geçtiği gözlenmiştir. Tam ve Wong (1996) yaptıkları çalışmada, *Chlorella* türünün durağan çoğalma fazına 17.günün sonunda geldiğini belirtmiştir. Domuz barınağı iç ortam havası ile yapılan denemede, PBR 2 tankında yapılan günlük

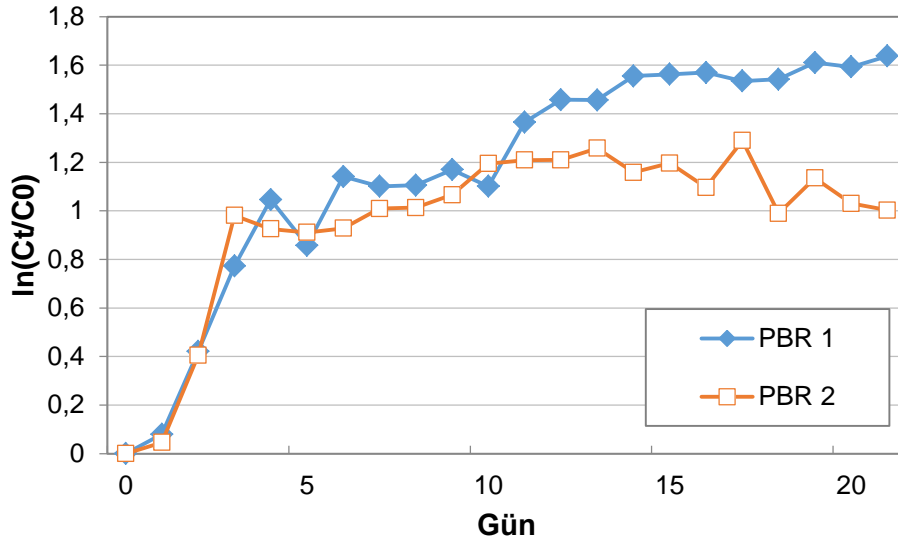
hücre sayımı değerlerine göre hücre popülasyonu 10.günde durağan faza geçerken PBR 1'deki hücre popülasyonu ise yoğun büyüme fazında artışa devam etmiştir. *Scenedesmus Dimorphus* türü ile yapılan 21 günlük deneme süresi boyunca mikroalg hücre gelişimi ölüm fazına geçmemiştir (Şekil 4.4). Bu ise barınak havasında bulunan gazların ve inorganik bileşiklerin alglerin besin ihtiyacını karşıladığı şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca deneme süresi boyunca mikro alg gelişiminin ölüm fazına geçmemesi barınak iç ortam havasında bulunan N₂O, H₂S ve diğer inorganik bileşiklerin mikroalg gelişimini inhibe etmediğini göstermektedir. Benzer sonuçlar Li vd. (2014), Li vd. (2017), Kang & Wen (2015) ve Kang vd. (2014) çalışmalarında da elde edilmiştir. Ayrıca Li vd. (2016) çalışmalarında, NH₃, PM, uçucu organik bileşikler (VOC'ler) ve H₂S gibi hava kirleticilerinin alg büyümesini engellemediğini bildirmişlerdir.

Domuz barınağı iç ortam havası ile yapılan 21 günlük denemede hücre sayısı değerlerine göre, PBR 1'de maksimum hücre sayısı (14,9 x 10⁶ cells mL⁻¹) 4758 mg L⁻¹ gün⁻¹ CO₂ ve 8,75 mg L⁻¹ gün⁻¹ NH₃ konsantrasyonlarının olduğu 21.günde gerçekleşmiştir. PBR 2'deki maksimum hücre konsantrasyonu (12,2 x 10⁶ hücre mL⁻¹) denemenin 17.gününde gerçekleşmiş ve 21.günde 9,2 x 10⁶ hücre mL⁻¹'ye düştüğü görülmüştür. Denemenin ilk 14 gününde PBR 1 ve PBR 2'deki hücre sayılarının istatistiksel olarak farklı olmadığı görülürken 14.günden sonraki hücre sayıları istatistiksel olarak farklı çıkmıştır. Çalışmada, fotobiyoreaktörlere verilen havanın debisi prinç iğne valfli debimetreler ile ayarlanmıştır. Denemenin 14.günüden sonra PBR 2'deki debimetrede muhtemelen NH₃ ve H₂S gazlarından dolayı korozyon olduğu gözlenmiştir. İki fotobiyoreaktördeki hücre sayılarındaki farklılık korozyona bağlı olarak PBR 2'deki hava debisinin bozulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yirmibir günlük deneme süresi boyunca, barınak iç ortam havasındaki karbondioksit gaz konsantrasyonu 2000 ppm (%0,20) ile 3890 ppm (%0,39) aralığında olduğu görülmüştür ki bu konsantrasyon değerleri atmosferde bulunan karbondioksit konsantrasyonundan (400 ppm) yüksektir. Vidyashankar vd. (2014), %0,5 CO₂ konsantrasyonunda *Scenedesmus dimorphus*'un spesifik büyüme hızının ve biyokütle veriminin sırasıyla 0,099 gün⁻¹ ve 1,5 g L⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada,

logaritmik fazdaki maksimum spesifik büyüme oranı, %0,3 CO₂ gaz konsantrasyonunda PBR 1 için 0,28 gün⁻¹ ve PBR 2 için 0,32 gün⁻¹ şeklinde gerçekleşmiştir. Her iki PBR’da elde edilen spesifik büyüme oranları Vidyashankar vd. (2014) tarafından bildirilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Li vd. (2014) çalışmalarında, tavuk gübresinden çıkan kirletici gazlar ile *Scenedesmus dimorphus*'un gelişimini incelemişlerdir. Spesifik büyüme hızı ve ikilenme süresini, havada bulunan 2,43 ppm NH₃ ve 1740 ppm CO₂ konsantrasyonlarının görüldüğü günde sırasıyla 0,59 gün⁻¹ ve 1,17 gün olarak bulmuşlardır.

Kang ve Wen (2015) ve Kang vd. (2014) laboratuvar koşullarında yürüttükleri çalışmalarında farklı amonyak ve karbondioksit gazlarının alg gelişimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Amonyak gazının mikroalg gelişiminde olumlu etki gösterdiği sonucuna varmışlardır. Bir başka çalışmada Li vd. (2017), hayvansal üretimden kaynaklanan kirletici gazların, mikroalglerin yetiştirilmesinde besin kaynağı olarak kullanılmasının mikroalg üretimindeki ekonomik etkisini ve gaz emisyonlarının mitigasyonunu incelemişlerdir. Üç aşamalı yaptıkları çalışmalarının ilk aşamasında depolanmış hayvan gübresinden salınan gazları besin olarak alg kültürüne (*Scenedesmus*) vererek alg gelişimini ve amonyak gazının mitigasyonunu incelemişlerdir. Bu aşamada *Scenedesmus* ve *Desmodesmus* türlerinde sırasıyla %92,7 ve %71 oranında amonyak mitigasyon etkinliği elde etmişlerdir. İkinci aşamasında yine depolanmış hayvan gübresinden çıkan partiküler maddeler alg üretiminde besin kaynağı olarak kullanılmıştır. Üçüncü aşamada ise, alg kültür ortamından besin elementleri ve tüm mineraller elemine edilerek sadece filtrelenmiş kümes çıkış gazı alg kültür ortamına besin kaynağı olarak verilmiş ve 3 farklı alg kültürünün (*Scenedesmus*, *Chlorella*, *Chlamydomonas*) gelişimi incelenmiştir.



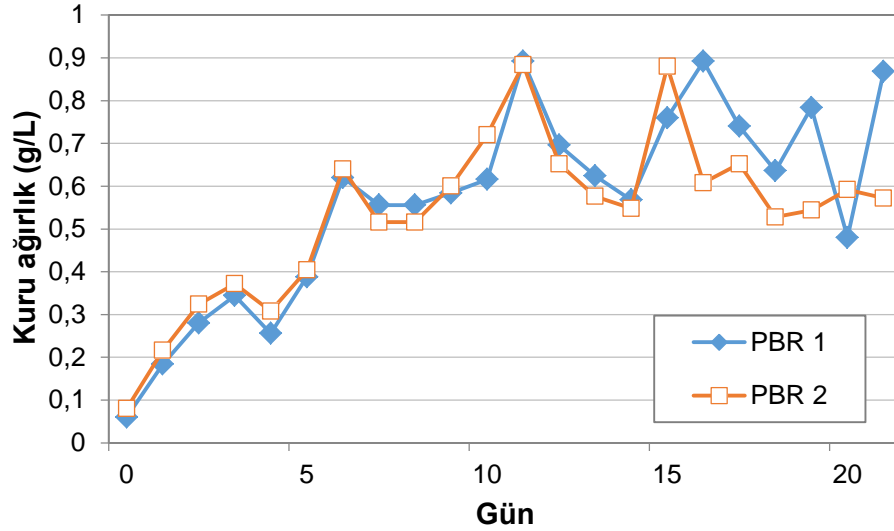
Şekil 4.4. İki PBR'de *S. dimorphus* hücre konsantrasyonları (Veriler ilk gün ki hücre konsantrasyonlarına göre normalize edilmiştir)

4.2.2. Biyokütle verimi

Çalışmada 21 günlük deneme süresi boyunca her iki PBR tankından da 25 mL'lik numuneler alınarak kuru ağırlık tayini yapılmıştır. Kuru ağırlık değerleri her iki tank için denemenin 11. günün de maksimum değerlere (PBR 1'de $0,892 \text{ g L}^{-1}$ e ve PBR 2'de $0,884 \text{ g L}^{-1}$) ulaşmış ve 21.güne kadar $0,6-0,9 \text{ g L}^{-1}$ aralığında değişiklik göstermiştir. Deneme sonunda 21.günde PBR 1 ve PBR 2 tanklarındaki biyokütle konsantrasyonları sırasıyla PBR 1 tankı için $0,868 \text{ g L}^{-1}$ ve PBR 2 tankı için $0,572 \text{ g L}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. 21 günlük deney boyunca biyokütle konsantrasyonu değişimi Şekil 4.5'de verilmiştir.

Li vd. (2014) tavuk gübresinden salınan kirletici gazlar ile *Scenedesmus Dimorphus* türünün gelişimini incelemişler ve deneyin 6.gününde biyokütle konsantrasyonunun $0,2-0,3 \text{ g L}^{-1}$ aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Li ve ark. (2014)'nın 6. günün sonunda elde ettikleri biyokütle konsantrasyonları ile bu çalışmada, 6.günün sonunda elde edilen biyokütle konsantrasyonları (PBR 1 için $0,62 \text{ g L}^{-1}$ ve PBR 2 için $0,64 \text{ g L}^{-1}$) karşılaştırıldığında domuz barınak havasında oldukça fazla biyokütle elde edildiği görülmektedir. Yine başka bir çalışmada Li vd. (2017) çalışmalarında tavuk

gübresinden salınan havadaki patriküler maddelerin mikroalglerde besin kaynağı olarak kullanılması durumunda mikroalg gelişimini incelemiştir. Otuzbir günlük deneyin sonunda maksimum $0,6 \text{ g L}^{-1}$ biyokütle konsantrasyonu elde etmişlerdir.



Şekil 4.5. 21 günlük deney boyunca biyokütle konsantrasyonu değişimi

Çalışmada, maksimum biyokütle konsantrasyonu amonyak ve karbondioksit konsantrasyonlarının $14,6 \text{ ppm}$ ($7,3 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$) ve 2250 ppm ($2925 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$) olduğu 11. günde gerçekleşmiştir. Toplam biyokütle verimi 21. günün sonunda PBR 1’de $0,808 \text{ g L}^{-1}$ elde edilirken PBR 2 ‘de $0,492 \text{ g L}^{-1}$ olarak elde edilmiştir. Karbondioksit konsantrasyonunun alg gelişimi üzerindeki etkisi kültür ortamında kimyasal reaksiyonlardan dolayı karmaşıktır. Ancak karbondioksit konsantrasyonunun artırılması hücre gelişimini olumlu yönde etkilediği literatürde yapılan çalışmalarda görülmektedir. Bhol, Desikan, Santosh, Subburamu, Sanniyasi, Bux (2011) çalışmalarında, *Chlorella vulgaris* türünün farklı karbondioksit konsantrasyonlarında biyokütle verimini incelemiştir. Biyokütle konsantrasyonu açısından *Chlorella vulgaris* türünün %6-15 CO_2 konsantrasyonuna göre % 0.1-1 CO_2 konsantrasyonunda istatistiksel olarak daha yüksek biyokütle verimi elde ettiğini gözlemlemiştir. Kang & Wen (2015) çalışmalarında ise *Scenedesmus* türünün en yüksek biyokütle verimini $0,318 \text{ g L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ olarak $1,18 \text{ g L}^{-1} \text{ gün}^{-1} \text{ CO}_2$ konsantrasyonunda elde etmişlerdir ve artan CO_2

konsantrasyonunda biyokütle veriminin düştüğünü belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise, her iki fotobiyoreaktör ortamına da verilen karbondioksit miktarı (%0,22-0,39) Bhola vd. (2011)'nin belirttiği optimum CO₂ konsantrasonu aralığında kaldığı ve Kang & Wen (2015)'in elde ettiği en yüksek biyokütle verimini elde ettiği CO₂ konsantrasyonundan (2.6-5.1 g L⁻¹ gün⁻¹) ise daha yüksek oranda olduğu görülmektedir.

4.3. Amonyak ve karbondioksit gazı azaltım etkinliği

Çalışmada, barınak iç ortam havasındaki amonyak ve karbondioksit gazlarının azaltım etkinliği mikroalg biyokütlesindeki karbon ve azot oranına göre hesaplanmıştır. Çalışmada, 21 günlük deney sonucunda PBR 1 tankındaki toplam CO₂ ve NH₃ tutulma miktarı sırasıyla 1.33 g CO₂ L⁻¹ ve 77.8 mg NH₃ L⁻¹ ve PBR 2'de ise 0.8 g CO₂ L⁻¹ ve 47.4 mg NH₃ L⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. Deney süresince barınak iç ortam havasından her bir fotobiyoreaktöre transfer edilen CO₂ ve NH₃ miktarları sırasıyla 77.4 g L⁻¹ ve 155.3 mg L⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Fotobiyoreaktör ortamına verilen ve mikroalg hücreleri tarafından tutulan CO₂ ve NH₃ miktarları karşılaştırıldığında, toplam NH₃ ve CO₂ azaltım oranları sırasıyla PBR 1 için %50 ve %1.7 iken PBR 2 için %31 ve %1 şeklinde gerçekleşmiştir. İki fotobiyoreaktördeki NH₃ ve CO₂ azaltım miktarlarının farklılık göstermesi, 21 günlük deney sırasında PBR 1'deki alg biyokütlesi artmaya devam ederken, PBR 2'deki alg kütlesinin 10.günde sabit duruma ulaştığı ve 17.günde ölüm fazına geçmiş olabileceğinden kaynaklanmaktadır. Fotobiyoreaktörlerdeki karbondioksit kullanım miktarları incelendiğinde PBR 1 barınak iç ortam havasındaki karbondioksitin %1,7'sini kullanırken PBR 2 sadece %1'ini kullanmıştır. Karbondioksit azaltım oranlarının düşük olması karbondioksit gazının sudaki çözünürlüğünün amonyak gazına oranla daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Karbondioksit gazının sudaki çözünürlüğü kültür ortamının pH'sı ve katyon iyonlarına bağlıdır. Ayrıca, kültür ortamının pH'sının düşük yada nötr olması durumunda karbondioksit gazının sudaki çözünürlüğü oldukça düşmektedir.

Hayvan barınağı iç ortam havasında, amonyak gazı karbondioksit gazının bağlanması için (suda amonyum oluşumu ile) en önemli katyon kaynağıdır (Kang ve Wen, 2015). Kültür ortamında diğer katyon kaynaklarının düşük olması karbondioksit gazının alg hücreleri tarafından kullanılmasını engellemektedir. Zhu, Chen, Ji, Schwaneberg, Chi

(2022) çalışmalarında, kültür ortamının pH değerinin arttırılmasıyla birlikte daha yüksek karbondioksit emilimi elde etmişlerdir. Zhu vd. (2022), alg kültür ortamının pH değerinin artmasının baca gazında bulunan karbondioksitin kültür ortamına transferini kolaylaştırdığı ve ortamda bikarbonat-karbonat olarak depolandığını belirtmişlerdir.

Mikroalgler, azot kaynağı olarak amonyağı nitrit ya da nitrata göre daha fazla tercih etmektedirler (Hii, Soo, Chuah, Mohd-Azmi, Abol-Munafi, 2011; Maguer, L'Helguen, Madec, Labry, Le Corre, 2007). Amonyağın mikroalg gelişimi üzerine literatürde yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Kang vd., 2014; Kang & Wen 2015; Li vd., 2017). Amonyak, toksik etkisinden dolayı alg hücrelerinde doğrudan birikmez ve fazla amonyak, bir NH_3 bağlanma reaksiyonu yoluyla hücrelerde depolanır (Chen vd., 2011). Karbondioksit ise mikroalglerin fotosentetik aktivitelerinden dolayı en önemli karbon kaynağıdır. Xu vd. (2015) çalışmalarında *Scenedesmus* türünün karbondioksit tutma oranını maksimum $1435.9 \text{ mg L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ olarak bulmuşlardır. Başka bir çalışmada Toledo-Cervantes, Morales, Novelo, Revah, (2013) çalışmalarında *S. Obtusiusculus* türünün karbondioksit tutma oranınının $131-1420 \text{ mg L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ aralığında gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir. Mikroalglerin karbondioksit tutma miktarı pH, hava hızı, ışık yoğunluğu, ışık spektrumu, alg türü, fotobiyoreaktör tank hacmi ve alg türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada maksimum karbondioksit tutma oranı PBR 1'de 21. günde $691.8 \text{ mg L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ olarak elde edilirken PBR 2'de 15. günde $591 \text{ mg L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ olarak elde edilmiştir. Her iki fotobiyoreaktörde de elde edilen ortalama karbondioksit tutma oranları Toledo-Cervantes vd. (2013) çalışmalarında elde ettikleri değerler ile benzerlik göstermektedir.

Mikroalg gelişiminde, hücreler tarafından amonyak arzı ve talebi arasında uyumsuzluk meydana gelebilmektedir. Fotobiyoreaktör ortamında verilen amonyak gazının, hücreler tarafından alınan amonyak miktarından yüksek olması durumunda fazla amonyak gazı sudaki yüksek çözünürlüğünden dolayı kültür ortamında depolanmaktadır. Amonyak gazının fotobiyoreaktörde alg hücreleri tarafından baypas edilmesi yalnızca kültür ortamının doymuş hale geldiği durumda gerçekleşmektedir. Barınak iç ortam havasındaki amonyak gazı miktarının, mikroalg gelişimi için yeterli olmadığı durumda, kültür ortamında depolanan amonyak sayesinde mikroalg gelişimi devam etmektedir.

Deney süresince, kültür ortamında depolanan amonyak tükendiğinde biyokütle veriminde düşüş görülmüştür. Barınak iç ortam havasından kirletici gazların en etkili şekilde fotobiyoreaktör sistemler ile azaltılmasında en önemli yöntem, mikroalglerin azot ihtiyacının barınak iç ortamında bulunan azot miktarı ile eşitlenmesidir. Çalışmada karbondioksit gazının tüketiminin sadece % 1-1,5 aralığında kalmasından dolayı barınak havasındaki karbondioksit gazı konsantrasyonunun alg gelişimi üzerinde sınırlayıcı etkisi olmadığını göstermektedir. Eğer barınak iç ortam havasındaki karbondioksit gazının daha fazla azaltımı amaçlanırsa, ortam havasındaki amonyak gazının arttırılmasına da ihtiyaç duyulmaktadır.

4.4. Ekonomik Analiz

Çalışmada, laboratuvar ölçeğinde yapılan 10 L hacimli fotobiyoreaktör sistem ile barınak iç ortam havasında bulunan amonyak ve karbondioksit gazlarının mitigasyonu incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan fotobiyoreaktör sistemin maliyeti; vakum pompası, difüzörler ve fotobiyoreaktör tank giderleri de hesaba katılarak 726,8 \$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). Barınak iç ortam havasının fotobiyoreaktör sisteme transfer edilmesinde 1/8-hp kapasitesinde bir vakum pompası kullanılmıştır. Fotobiyoreaktör sistemin işletilmesinde sadece ışık sistemi ve vakum pompası tarafından bir enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Deneme süresi boyunca vakum pompası tarafından tüketilen enerjinin maliyeti çalışmanın yürütüldüğü Amerika'nın Güney Dakota eyaletinin elektrik ücretine bağlı olarak günlük ~\$0,027 L⁻¹ iken ışık sisteminin günlük maliyeti ~\$0.024 L⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Mikroalgler için gerekli besinlerin maliyeti ise \$0,27 L⁻¹ gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yukarıda belirtilen, vakum pompası, ışık sistemi, fotobiyoreaktör sistemin inşası ve alglerin besin maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, fotobiyoreaktör sistemde 0,388 g L⁻¹ gün⁻¹ biyokütle eldesi için gerekli maliyet \$0,14 L⁻¹ gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, Fotobiyoreaktör sistem ile 1 g NH₃ ve 1 g CO₂ azaltımı için gerekli olan maliyet sırasıyla \$3,77 and \$0.20 olarak hesaplanmıştır. Bu maliyetler, hayvan barınaklarından salınan gazların azaltılmasına yönelik günümüzde kullanılan sistemlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak fotobiyoreaktör sistemin kapasitesinin arttırılması dolayısıyla biyokütle üretiminin arttırılması durumunda sistemin maliyeti daha düşük seviyelere

gelmektedir. Acién, Fernández, Magán, Molina, (2012) çalışmalarında fotobiyoreaktör üretim kapasitesinin 2,2 kat arttırıldığı durumda alg üretim maliyetinde %82 azalma olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, fotobiyoreaktör sisteminin ölçeğinin büyütülmesi, işletme maliyetini önemli ölçüde azalmaktadır. Elde edilen biyokütlenin ise hayvan yemi, biyoyakıt, gıda maddesi ya da kozmetik gibi farklı sektörlerde değerli bir ürün olarak satılması durumunda sistemden elde edilen ekonomik getirimaliyetin yarattığı olumsuz etkinin giderilmesine katkıda bulunabilir.

Bölüm 4.1.3. 'de literatürdeki çalışmalara göre domuz barınaklarındaki ortalama emisyon oranı bu çalışmada kullanılmak üzere $0.7 \text{ g NH}_3 \text{ baş}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ olarak belirlenmişti. Çalışmanın yürütüldüğü domuz barınağında, barınak iç ortam havasının bulunduğu ortamda 240 baş genç domuz bulunmaktaydı. İkiyüz kırk baş kapasiteli bir barınaktan salınan amonyak emisyon oranı $168 \text{ g NH}_3 \text{ gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Barınak ortamından salınan amonyak gazının tamamının fotobiyoreaktör sistem tarafından kullanılması durumunda $1742 \text{ g L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ kuru alg biyokütlesi üretilecektir. Bunu gerçekleştirmek için, bu çalışmada elde edilen alg üretim verilerine göre fotobiyoreaktör sistemin çalışma hacminin 4491 L olması gerekmektedir. 240 baş kapasiteli bir domuz barınağı iç ortam havasının fotobiyoreaktör sisteme transfer edilmesi için 2500 L dak^{-1} (LPM) kapasiteli bir hava pompasına ihtiyaç duyulacaktır. Hava pompasının günde 3,36 kWh elektrik tüketeceği tahmin edildiğinden bunun günlük 0,40 dolara mal olması beklenmektedir.

Fotobiyoreaktör sistemin ekonomik analizi, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinin optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Barınak iç ortam havasındaki kirletici gazların fotobiyoreaktör sistem içerisine en etkili şekilde transfer edilmesi ve etkili bir aydınlatma sistemi ile biyokütle üretim veriminde artış görülecektir. Fotobiyoreaktör sistemlerin aydınlatılmasında doğal aydınlatmanın kullanılması aydınlatma maliyetlerini de azaltacaktır. Sistem için gerekli olan 2500 L dak^{-1} 'lık hava debisinin barınak havalandırma sistemi ile sağlanması durumu da hava transfer maliyetinin düşmesini sağlayacaktır. Bunun dışında göz önünde bulundurulması gereken diğer maliyet ise barınak havasının fotobiyoreaktör sisteme transferini sağlayacak olan boru hat sistemidir.

Çizelge 4.2. Fotobiyoreaktör Sistemin Ekonomik Analizi

Fotobiyoreaktör Sistemin Ekonomik Analizi	
Yatırım Maliyeti 1- Debimetre_ \$118 2- Vakum pompası (115 VAC- 4.2 Amps - 0.483 kW)_ \$481 3- Hava filtresi_ \$12.98/7 günlük 4- Işıklandırma_ \$19.98 5- 2 adet cool-white Florasan Lamba (40 W)_ \$2.8/adet 6- Akrilik cam malzeme (0.47 m ² /each PBR)_ \$105/m ² 7- Difüzör_ \$13.99	\$726,86
İşletme Maliyeti 1- Besiyeri kimyasalları_ \$0.09 L ⁻¹ gün ⁻¹ 2- Havalandırma enerji tüketimi_ \$0.027 L ⁻¹ gün ⁻¹ 3- Işıklandırma enerji tüketimi_ \$0.024 L ⁻¹ gün ⁻¹	\$0,141 L⁻¹ gün⁻¹

5. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, hayvan barınaklarından salınan kirletici gazların azaltılmasında mikroalglerin bir azaltım yöntemi olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesidir. Çalışmanın uygulanabilirliğini kısıtlayacak en önemli faktörler; barınak iç ortam havasında bulunan gazların alglerde toksik etki yaratıp yaratmayacağı ve alg kültürünün sıcaklık, pH gibi çevresel faktörlerden olumsuz etkilenip etkilenmeyecekleridir.

Çalışma Amerika'da Güney Dakota Devlet Üniversitesi'nin domuz çiftliğinde yürütülmüştür. Çalışmada, laboratuvar şartlarında ekimi yapılan ve 10 L'lik kapasiteye getirilen 2 adet Fotobiyoreaktör sistem bir domuz barınağında entegre edilerek 3 hafta süreyle barınak iç ortam gazı ile alg gelişimi izlenmiştir. Domuz barınağının iç ortam havası, vakum pompası ile çekilerek filtreden geçirildikten sonra alg kültür (*S. Dimorphus* UTEX 1237) ortamına verilmiştir. Ayrıca PBR'a verilen amonyak ve karbondioksit miktarlarının belirlenmesi için de barınak iç ortam havasında bulunan gazların konsantrasyonları da ölçülmüştür. Fotobiyoreaktörlerden 24 saatlik periyotlarla örnekler alınarak hücre sayımı ve kuru ağırlık tayini yapılmıştır. Ayrıca alg kültürünün sıcaklık ve pH'ı da günlük ölçülerek izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Barınak iç ortam havasında; NH₃ konsantrasyonları 7,7 ppm (3,85 mgL⁻¹ gün⁻¹) ile 25,6 ppm (12,8 mgL⁻¹ gün⁻¹), karbondioksit konsantrasyonları 2190 (2.79 gL⁻¹ gün⁻¹) ile 3890 ppm (4,96 g L⁻¹gün⁻¹) arasında değişiklik göstermiştir.

- Alg kültürünün pH'ı 21 günlük süre boyunca minimum 6,8, maksimum 7.1 değerine ulaşmıştır. Barınak gazındaki amonyak gazı kültür ortamını bazik hale getirirken, hava da bulunan organik asit gibi diğer bileşenler de asit hale getirmiştir. Bu durum kültür ortamının pH dengesinin 6,8-7,1 aralığında sabit kalmasını açıklamaktadır.

- 21 günlük deneme süresince alg kültür ortamının sıcaklığı 20-25°C aralığında ölçülmüştür.

- Yapılan çalışmalar, mikroalglerin hücresel gelişimlerinin lag fazı, logaritmik faz, lineer çoğalma fazı, durgun çoğalma fazı ve ölüm fazı olmak üzere 5 farklı fazda gerçekleştiğini göstermektedir (Encarnacion vd., 2010). *Scenedesmus Dimorphus* türü

ise laboratuvar koşullarında 14. günün sonunda ölüm fazına geçmektedir. Domuz barınağı iç ortam havası ile yapılan denemede, *Scenedesmus Dimorphus* 21 günlük deneme süresi boyunca ölüm fazın geçmemiştir. Bunun sebebi ise barınak havasında bulunan gazların ve inorganik bileşenlerin alglerin besin ihtiyacını karşıladığı şeklinde yorumlanmıştır.

•Maksimum hücre konsantrasyonu ($P<0,05$) 17.günün sonunda $12,8 \times 10^6$ hücre mL^{-1} (iki PBR'ın ortalaması) şeklinde gerçekleşmiştir.

•Maksimum biyokütle ($0,889 \pm 0,04 \text{ gL}^{-1}$) ve hücre ağırlığı ($7,85 \pm 0,3 \times 10^{-5} \mu\text{g hücre}^{-1}$) 11.günün sonunda elde edilmiştir.

•Maksimum spesifik hücre büyümesi ve ikilenme süresi ise; $0,47 \text{ gün}^{-1}$ ve 1,47 gün olarak gerçekleşmiştir. Li vd. (2014) tavuk gübresinden salınan kirletici gazlar ile yaptığını çalışmasında, spesifik hücre büyümesini $0,59 \text{ gün}^{-1}$ ve ikilenme süresini 1,17 gün olarak belirtmişlerdir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar *Scenedesmus Dimorphus* alg türünün barınak iç ortam havasında bulunan kirletici gazlar ile büyüebileceğini göstermiştir. Ayrıca, barınak iç ortam havasında bulunan amonyak ve karbondioksit gazları *S. Dimorphus* türünün gelişimi için gerekli olan azot ve karbon kaynağını sağlamıştır. Barınak iç ortamının sıcaklık ve nem gibi çevresel parametlerinin ise fotobiyoreaktör sistemde alg gelişimi için uygun çevresel koşulları sağladığı görülmüştür. Barınak iç ortam havasında bulunan amonyak konsantrasyonlarının yüksek olması durumunda kültür ortamının pH dengesinin etkilenmesi sistemde dikkat edilmesi gereken hususlardan birisidir. Deney süresi boyunca kültür ortamının pH değerleri ise barınak iç ortam havasında bulunan kirleticilerin kültür ortamının pH'ını dengede tuttuğunu göstermektedir.

Fotobiyoreaktör sistemlerin, hayvansal üretimden kaynaklanan sera gazlarının mikroalgler ile azaltılması, hem küresel iklim değişikliğine katkıda bulunacak hem de barınak iç ortamındaki hayvanlar için uygun bir ortam sağlayacaktır. Ayrıca Dünya'da birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin Kyoto Protokolü gereğince sera gazlarını azaltmaya yönelik yasal zorunlulukları bulunmaktadır. ABD ve Avrupa ülkelerinde bu yasal zorunluluklar üreticilere uygulanırken yakın gelecekte ülkemizde de uygulamaya geçeceği düşünülmektedir. Bu yasal zorunluluk için, hayvansal üretim kaynaklı

emisyon azaltım yöntemlerine alternatif bir yöntem olarak mikroalgler kullanılabilir olacaktır.

Çalışmadan elde edilen veriler, hayvan barınaklarından salınan kirletici gazların azaltılması için tasarlanan yeni bir yöntemin (PBR) kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Ülkemiz 1,9 milyon ton tavuk eti üretimi ile dünyada 12. sırada, 1 milyon ton tavuk yumurtası üretimi ile ise 10. sırada yer aldı. Kanatlı üretiminin yoğun olduğu Bursa ili Türkiye'de önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde kanatlı üretiminden kaynaklı kirletici gaz emisyonları sebebiyle koku ve çevre kirliliği problemleri oldukça fazladır. Kümeslerden kaynaklanan kirletici gazlar da, bu çalışmada önerilen PBR sistemi ile azaltılabilir ve aynı zamanda üretilen biyokütle tavuk yemi olarak kullanılabilir. Geliştirilen bu sistemin, Türkiye'de ki tavukçuluk işletmeleri için sürdürülebilir bir sistem olarak kullanılabilme olanağı bulunmaktadır.

Tavuk kümeslerinde altlıkta biriken atık, belirli periyotlarla kümeden temizlenerek depolanmakta ve depolanan gübrenin uzaklaştırılması için işletmeler için ekstra maliyet ve sorun haline gelmektedir. Bu altlık materyalinin içeriğine bakıldığında bitkiler içinde gerekli olan N, P, K gibi besin elementleri ve Cu, Zn ve As gibi iz elementleri içermektedir. Bu materyalin işletmede depolanması durumunda ise, zaman içerisinde ayrılarak metan ve karbondioksit gazlarının salınımına sebep olmaktadır. Bu çalışmada önerilen fotobiyoreaktör sistemde üretilen mikroalglerin gelişimi için gerekli olan N, P, K gibi temel besin maddelerini içeren bu materyaller, kümeslere entegre edilecek fotobiyoreaktör sisteme verilerek alg gelişiminde değerlendirilebilir. Bu sayede işletmeler için sorun haline gelmiş olan atık materyal yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilir olacaktır. Ancak, bu sistemin bu barınaklarda da başarılı bir biçimde uygulanıp uygulanamayacağı, hangi koşullar altında başarılı olabileceğine ilişkin bilimsel verilerin elde edilebilmesi için buna yönelik saha çalışmalarının yapılmasına gereksinim vardır.

KAYNAKLAR

- Aarnink, A. J. A., Keen, A., Metz, J. H. M., Speelman, L., & Verstegen, M. W. A. (1995). Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62(2), 105-116. <https://doi.org/10.1006/jaer.1995.1069>
- Acién, F. G., Fernández, J. M., Magán, J. J., & Molina, E. (2012). Production cost of a real microalgae production plant and strategies to reduce it. *Biotechnology advances*, 30(6), 1344-1353. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.02.005>
- Aguirre-Villegas, H. A., & Larson, R. A. (2017). Evaluating greenhouse gas emissions from dairy manure management practices using survey data and lifecycle tools. *Journal of cleaner production*, 143, 169-179. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.133>
- Ağaçayak, T., & Öztürk, L. (2017). Türkiye’de Tarım Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Stratejiler. *Sabancı Üniversitesi, İstanbul Politikalar Merkezi Stiftung Mercator Girişim Eylül*
- Ahmad Latiffi, N. A., Radin Mohamed, R. M. S., Apandi, N. M., & Tajuddin, R. M. (2017). Experimental assessment on effects of growth rates microalgae *Scenedesmus* sp. in different conditions of pH, temperature, light intensity and photoperiod. In *key engineering materials* (Vol. 744, pp. 546-551). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.744.546>
- Ahmad, I., Abdullah, N., Koji, I., Yuzir, A., & Muhammad, S. E. (2021, April). Evolution of photobioreactors: a review based on microalgal perspective. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1142, No. 1, p. 012004). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1142/1/012004>
- Ali, S. B. M., Hasanuzzaman, M., Rahim, N. A., Mamun, M. A. A., & Obaidellah, U. H. (2021). Analysis of energy consumption and potential energy savings of an institutional building in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 805-820. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.10.010>
- Al-Shatri, A. H. A., Ali, E., Al-Shorgani, N. K. N., & Kalil, M. S. (2014). Growth of *Scenedesmus dimorphus* in different algal media and pH profile due to secreted metabolites. *African Journal of Biotechnology*, 13(16). <https://doi.org/10.5897/AJB2013.13455>
- Amon, B., Amon, T., Boxberger, J., & Alt, C. (2001). Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 60, 103-113. <https://doi.org/10.1023/A:1012649028772>
- Arogo, J., Westerman, P. W., & Heber, A. J. (2003). A review of ammonia emissions from confined swine feeding operations. *Transactions of the ASAE*, 46(3), 805.

- Arogo, J., Westerman, P. W., Heber, A. J., Robarge, W. P., & Classen, J. J. (2006). Ammonia emissions from animal feeding operations.
- Arun, S., Manikandan, N. A., Pakshirajan, K., Pugazhenti, G., & Syiem, M. B. (2017). Cu (II) removal by *Nostoc muscorum* and its effect on biomass growth and nitrate uptake: a photobioreactor study. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *119*, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.022>
- Assunção, J., & Malcata, F. X. (2020). Enclosed “non-conventional” photobioreactors for microalga production: A review. *Algal Research*, *52*, 102107. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102107>
- Bahadar, A., & Khan, M. B. (2013). Progress in energy from microalgae: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *27*, 128-148. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.029>
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Van der Wal, T., Soto, I., ... & Eory, V. (2017). Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability*, *9*(8), 1339. <https://doi.org/10.3390/su9081339>
- Becker, E. W. (1994). *Microalgae: biotechnology and microbiology* (Vol. 10). Cambridge University Press.
- Benner, P., Meier, L., Pfeffer, A., Krüger, K., Oropeza Vargas, J. E., & Weuster-Botz, D. (2022). Lab-scale photobioreactor systems: Principles, applications, and scalability. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, *45*(5), 791-813. <https://doi.org/10.1007/s00449-022-02711-1>
- Berg, W., Brunsch, R., & Pazsiczki, I. (2006). Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *112*(2-3), 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.031>
- Bhola, V., Desikan, R., Santosh, S. K., Subburamu, K., Sanniyasi, E., & Bux, F. (2011). Effects of parameters affecting biomass yield and thermal behaviour of *Chlorella vulgaris*. *Journal of bioscience and bioengineering*, *111*(3), 377-382. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2010.11.006>
- Bildsoe, P., Adamsen, A. P., & Feilberg, A. (2012). Effect of low-dose liquid ozonation on gaseous emissions from pig slurry. *Biosystems engineering*, *113*(1), 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.06.009>
- Bitog, J. P., Lee, I. B., Lee, C. G., Kim, K. S., Hwang, H. S., Hong, S. W., ... & Mostafa, E. (2011). Application of computational fluid dynamics for modeling and designing photobioreactors for microalgae production: A review. *Computers and electronics in agriculture*, *76*(2), 131-147. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.01.015>

- Bordoloi, N., Narzari, R., Sut, D., Saikia, R., Chutia, R. S., & Kataki, R. (2016). Characterization of bio-oil and its sub-fractions from pyrolysis of *Scenedesmus dimorphus*. *Renewable Energy*, 98, 245-253. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.081>
- Brose, G., Hartung, E., & Jungbluth, T. (1998). Influences on and measurements of ammonia and greenhouse gas emissions from dairy houses. In *International Conference on Agricultural Engineering, Oslo (Norway), 24-27 Aug 1998*. Norges Landbrukshoegskole, NLH.
- Casey, K. D., Gates, R. S., Wheeler, E. F., Zajaczkowski, J. S., Topper, P. A., Xin, H., & Liang, Y. (2003, June). Ammonia emissions from broiler houses in Kentucky during winter. In *International Symposium on GASEOUS AND ODOUR EMISSIONS FROM ANIMAL PRODUCTION FACILITIES. Scandic Hotel Bygholm Park Horsens June* (pp. 1-4).
- Chen, B. (2021). Evaluation of biochar as a manure additive for mitigation of gaseous emissions from deep pit swine storage structures (Doctoral dissertation, Iowa State University).
- Chen, C. Y., Yeh, K. L., Aisyah, R., Lee, D. J., & Chang, J. S. (2011). Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: a critical review. *Bioresource technology*, 102(1), 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.159>
- Cheng, W. H., Chou, M. S., & Tung, S. C. (2011). Gaseous ammonia emission from poultry facilities in Taiwan. *Environmental Engineering Science*, 28(4), 283-289. <https://doi.org/10.1089/ees.2010.0205>
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology advances*, 25(3), 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
- Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Chen, C. H., Kuan, T. C., Ong, S. C., & Lin, C. S. (2008). Reduction of CO₂ by a high-density culture of *Chlorella* sp. in a semicontinuous photobioreactor. *Bioresource technology*, 99(9), 3389-3396. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.013>
- Chiumenti, A., da Borso, F., Pezzuolo, A., Sartori, L., & Chiumenti, R. (2018). Ammonia and greenhouse gas emissions from slatted dairy barn floors cleaned by robotic scrapers. *Research in Agricultural Engineering*, 64(1), 26-33. <https://doi.org/10.17221/33/2017-RAE>
- Chng, L. M., Chan, D. J., & Lee, K. T. (2016). Sustainable production of bioethanol using lipid-extracted biomass from *Scenedesmus dimorphus*. *Journal of Cleaner Production*, 130, 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.016>
- Chojnacka, K., & Marquez-Rocha, F. J. (2004). Kinetic and stoichiometric relationships of the energy and carbon metabolism in the culture of microalgae. *Biotechnology*, 3(1), 21-34.

- Crutzen, P. J., Aselmann, I., & Seiler, W. (1986). Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 38(3-4), 271-284. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v38i3-4.15135>
- Deng, X., Gao, K., Addy, M., Chen, P., Li, D., Zhang, R., ... & Ruan, R. (2018). Growing *Chlorella vulgaris* on mixed wastewaters for biodiesel feedstock production and nutrient removal. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93(9), 2748-2757. <https://doi.org/10.1002/jctb.5634>
- Dong, H., Kang, G., Zhu, Z., Tao, X., Chen, Y., Xin, H., & Harmon, J. D. (2009). Ammonia, methane, and carbon dioxide concentrations and emissions of a hoop grower-finisher swine barn. *Transactions of the ASABE*, 52(5), 1741-1747.
- Elcik, H., & Çakmakçı, M. (2017). Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(3), 795-820. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.337627>
- Encarnacion, R. C., Benitez, S. G., Santos, M. G., & Medina, C. S. (2010). Maximization of *Scenedesmus dimorphus* lipid yield for the production of biodiesel. *Polytechnic University of Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico*.
- Faulkner, W. B., & Shaw, B. W. (2008). Review of ammonia emission factors for United States animal agriculture. *Atmospheric Environment*, 42(27), 6567-6574. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.04.021>
- Feilberg, A., & Sommer, S. G. (2013). Ammonia and malodorous gases: sources and abatement technologies. *Animal manure recycling: Treatment and management*, 153-175. <https://doi.org/10.1002/9781118676677.ch9>
- Feng, H., Sun, C., Zhang, C., Chang, H., Zhong, N., Wu, W., ... & Ho, S. H. (2022). Bioconversion of mature landfill leachate into biohydrogen and volatile fatty acids via microalgal photosynthesis together with dark fermentation. *Energy Conversion and Management*, 252, 115035. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.115035>
- Fiedler, A. M., & Müller, H. J. (2011). Emissions of ammonia and methane from a livestock building natural cross ventilation. *Meteorologische Zeitschrift*, 20(1), 59-65. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2011/0490>
- Garnett, T. (2009). Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *Environmental science & policy*, 12(4), 491-503. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.01.006>
- Gastel, J. P. B. F., Verdoes, N., & Voermans, J. A. M. (1995). Processing pig slurry on farm scale to lower the ammonia emission and to reduce the volume of the slurry. In *Proc. 7th International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes* (pp. 599-608).

- Gerber, P. J., Henderson, B., & Makkar, H. P. (2013). *Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: a review of technical options for non-CO2 emissions* (No. 177). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Goswami, R. D., & Kalita, M. C. (2011). *Scenedesmus dimorphus* and *Scenedesmus quadricauda*: two potent indigenous microalgae strains for biomass production and CO₂ mitigation—A study on their growth behavior and lipid productivity under different concentration of urea as nitrogen source. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 2(4), 2-4.
- Gralapp, A. K., Powers, W. J., & Bundy, D. S. (2001). Comparison of olfactometry, gas chromatography, and electronic nose technology for measurement of indoor air from swine facilities. *Transactions of the ASAE*, 44(5), 1283. <https://doi.org/10.13031/2013.6433>
- Grima, E. M., Belarbi, E. H., Fernández, F. A., Medina, A. R., & Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology advances*, 20(7-8), 491-515. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(02\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(02)00050-2)
- Gris, B., Morosinotto, T., Giacometti, G. M., Bertucco, A., & Sforza, E. (2014). Cultivation of *Scenedesmus obliquus* in photobioreactors: effects of light intensities and light–dark cycles on growth, productivity, and biochemical composition. *Applied biochemistry and biotechnology*, 172, 2377-2389. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0679-z>
- Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., & Williams, A. G. (2019). Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, 9(1), 69-76. <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>
- Guo, L., Zhao, B., Jia, Y., He, F., & Chen, W. (2022). Mitigation strategies of air pollutants for mechanical ventilated livestock and poultry housing—A review. *Atmosphere*, 13(3), 452. <https://doi.org/10.3390/atmos13030452>
- Hagendijk, A. J. (2015). *Design of an optimal photobioreactor* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- Heber, A. J., Ni, J. Q., Lim, T. T., Diehl, C. A., Sutton, A. L., Duggirala, R. K., ... & Adamchuk, V. I. (2000). Effect of a manure additive on ammonia emission from swine finishing buildings. *Transactions of the ASAE*, 43(6), 1895-1902. <https://doi.org/10.13031/2013.3094>
- Hendriks, J., Berckmans, D., & Vinckier, C. (1998). Field tests of bio-additives to reduce ammonia emission from and ammonia concentration in pig houses. *ASHRAE transactions*, 104, 1699.
- Hii, Y. S., Soo, C. L., Chuah, T. S., Mohd-Azmi, A., & Abol-Munafi, A. B. (2011). Uptake by *Nannochloropsis* sp. *J. Sustain. Sci. Manag*, 6, 60-68.

- Hinz, T., & Linke, S. (1998). A comprehensive experimental study of aerial pollutants in and emissions from livestock buildings. Part 1: Methods. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(1), 111-118. <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0282>
- Hodaifa, G., Martínez, M. E., & Sánchez, S. (2009). Influence of pH on the culture of *Scenedesmus obliquus* in olive-mill wastewater. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 14, 854-860. <https://doi.org/10.1007/s12257-009-0119-7>
- Hristov, A. N., Hanigan, M., Cole, A., Todd, R., McAllister, T. A., Ndegwa, P. M., & Rotz, A. (2011). Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. *Canadian journal of animal science*, 91(1), 1-35. <https://doi.org/10.4141/CJAS10034>
- Huang, G., Chen, F., Wei, D., Zhang, X., & Chen, G. (2010). Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Applied energy*, 87(1), 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.016>
- Huang, Q., Jiang, F., Wang, L., & Yang, C. (2017). Design of photobioreactors for mass cultivation of photosynthetic organisms. *Engineering* 3 (3): 318–329. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.020>
- Iluz, D., & Abu-Ghosh, S. (2016). A novel photobioreactor creating fluctuating light from solar energy for a higher light-to-biomass conversion efficiency. *Energy Conversion and Management*, 126, 767-773. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.045>
- Ji, C., Wang, J., Li, R., & Liu, T. (2017). Modeling of carbon dioxide mass transfer behavior in attached cultivation photobioreactor using the analysis of the pH profiles. *Bioprocess and biosystems engineering*, 40, 1079-1090. <https://doi.org/10.1007/s00449-017-1770-6>
- Jiang, Y., Zhang, W., Wang, J., Chen, Y., Shen, S., & Liu, T. (2013). Utilization of simulated flue gas for cultivation of *Scenedesmus dimorphus*. *Bioresource technology*, 128, 359-364. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.119>
- Jungbluth, T., Hartung, E., & Brose, G. (2001). Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 60, 133-145. <https://doi.org/10.1023/A:1012621627268>
- Junying, Z. H. U., Junfeng, R. O. N. G., & Baoning, Z. O. N. G. (2013). Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel. *Chinese Journal of Catalysis*, 34(1), 80-100. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(11\)60497-X](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(11)60497-X)
- Kaewpintong, K., Shotipruk, A., Powtongsook, S., & Pavasant, P. (2007). Photoautotrophic high-density cultivation of vegetative cells of *Haematococcus pluvialis* in airlift bioreactor. *Bioresource Technology*, 98(2), 288-295. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.011>

- Kang, J. (2012). *Mitigation of ammonia gas from animal house using microalgae* (Doctoral dissertation, Iowa State University).
- Kang, J., & Wen, Z. (2015). Use of microalgae for mitigating ammonia and CO₂ emissions from animal production operations—Evaluation of gas removal efficiency and algal biomass composition. *Algal Research*, *11*, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2015.06.020>
- Kang, J., Wang, T., Xin, H., & Wen, Z. (2014). A laboratory study of microalgae-based ammonia gas mitigation with potential application for improving air quality in animal production operations. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *64*(3), 330-339. <https://doi.org/10.1080/10962247.2013.859185>
- Katuwal, S. (2017). *Designing and development of a photobioreactor for optimizing the growth of micro algae and studying its growth parameters*. South Dakota State University.
- Keffer, J. E., & Kleinheinz, G. T. (2002). Use of *Chlorella vulgaris* for CO₂ mitigation in a photobioreactor. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, *29*, 275-280. <https://doi.org/10.1038/sj.jim.7000313>
- Kılıç, G. C. (2017). *Integrated carbon dioxide mitigation and nutrient removal from municipal and industrial wastewater using microalgal systems* (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Kim, J., Lingaraju, B. P., Rheume, R., Lee, J. Y., & Siddiqui, K. F. (2010). Removal of ammonia from wastewater effluent by *Chlorella vulgaris*. *Tsinghua science and technology*, *15*(4), 391-396. [https://doi.org/10.1016/S1007-0214\(10\)70078-X](https://doi.org/10.1016/S1007-0214(10)70078-X)
- Kim, Z. H., Park, H., Hong, S. J., Lim, S. M., & Lee, C. G. (2016). Development of a floating photobioreactor with internal partitions for efficient utilization of ocean wave into improved mass transfer and algal culture mixing. *Bioprocess and biosystems engineering*, *39*, 713-723. <https://doi.org/10.1007/s00449-016-1552-6>
- Kinsman, R., Sauer, F. D., Jackson, H. A., & Wolynetz, M. S. (1995). Methane and carbon dioxide emissions from dairy cows in full lactation monitored over a six-month period. *Journal of Dairy Science*, *78*(12), 2760-2766. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76907-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76907-7)
- Knutson, C. M., McLaughlin, E. M., & Barney, B. M. (2018). Effect of temperature control on green algae grown under continuous culture. *Algal research*, *35*, 301-308. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.08.020>
- Koerkamp, P. G., Metz, J. H. M., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., ... & Wathes, C. M. (1998). Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *70*(1), 79-95. <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0275>

- Kommareddy, A. R., Anderson, G. A., Gent, S. P., & Bari, G. S. (2013). The impact of air flow rate on photobioreactor sparger/diffuser bubble size (s) and distribution. In *2013 Kansas City, Missouri, July 21-July 24, 2013* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/aim.20131620764>
- Kumar, A., Singh, E., Mishra, R., Lo, S. L., & Kumar, S. (2022). A green approach towards sorption of CO₂ on waste derived biochar. *Environmental Research*, *214*, 113954. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113954>
- Külling, D. R., Menzi, H., Kröber, T. F., Neftel, A., Sutter, F., Lischer, P., & Kreuzer, M. (2001). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content. *The Journal of Agricultural Science*, *137*(2), 235-250. <https://doi.org/10.1017/S0021859601001186>
- Lee, C., Hristov, A. N., Dell, C. J., Feyereisen, G. W., Kaye, J., & Beegle, D. (2012). Effect of dietary protein concentration on ammonia and greenhouse gas emitting potential of dairy manure. *Journal of dairy science*, *95*(4), 1930-1941. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4141>
- Lee, M., Li, P., Koziel, J. A., Ahn, H., Wi, J., Chen, B., ... & Jenks, W. S. (2020). Pilot-scale testing of UV-A light treatment for mitigation of NH₃, H₂S, GHGs, VOCs, odor, and O₃ inside the poultry barn. *Frontiers in Chemistry*, *8*, 613. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00613>
- Leytem, A. B. (2017). PRODUCTION, MANAGEMENT AND THE ENVIRONMENT SYMPOSIUM: Impacts of livestock production on environmental reactive nitrogen. *Journal of Animal Science*, *95*(5), 2233-2235. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1498>
- Li, Q. F., Liu, Y., Liao, W., & Powers, W. (2014). Microalgae Cultivation from Animal Production Exhaust Air: Mitigate Air Emissions and Recovery Nutrients. In *2014 Montreal, Quebec Canada July 13-July 16, 2014* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/aim.20141904843>
- Li, Q. F., Liu, Y., Liao, W., & Powers, W. (2017). Microalgal Cultivation Using Animal Production Exhaust Air: Technical and Economic Feasibility. *CLEAN-Soil, Air, Water*, *45*(4), 1500309. <https://doi.org/10.1002/clen.201500309>
- Li, Q., Powers, W., Rozeboom, D., Liu, Y., & Liao, W. (2016). An integrated Water Curtain-Microalgal Culture system (WCMC) to mitigate air emissions and recover nutrients from animal feeding operations. *Algal research*, *18*, 166-174. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.06.014>
- Li, W., Li, Q. F., Powers, W., Karcher, D., Angel, R., & Applegate, T. J. (2014). Effects of distillers dried grains with solubles and mineral sources on gaseous emissions. *Journal of Applied Poultry Research*, *23*(1), 41-50. <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00802>

- Liu, D., Feilberg, A., Adamsen, A. P., & Jonassen, K. E. (2011). The effect of slurry treatment including ozonation on odorant reduction measured by in-situ PTR-MS. *Atmospheric Environment*, 45(23), 3786-3793. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.028>
- Luo, J. C. A. M., De Klein, C. A. M., Ledgard, S. F., & Saggar, S. (2010). Management options to reduce nitrous oxide emissions from intensively grazed pastures: a review. *Agriculture, ecosystems & environment*, 136(3-4), 282-291. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.12.003>
- Maguer, J. F., L'Helguen, S., Madec, C., Labry, C., & Le Corre, P. (2007). Nitrogen Uptake And Assimilation Kinetics In *Alexandrium Minutum* (Dinophyceae): Effect Of N-Limited Growth Rate On Nitrate And Ammonium Interactions 1. *Journal of Phycology*, 43(2), 295-303. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2007.00334.x>
- Mahfouz, G. N. (2014). Mineral Uptake Rates and Yield Coefficients of the Green Microalgae *Scenedesmus Dimorphus*.
- Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(1), 217-232. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>
- Maurer, D. L., Koziel, J. A., Bruning, K., & Parker, D. B. (2017). Farm-scale testing of soybean peroxidase and calcium peroxide for surficial swine manure treatment and mitigation of odorous VOCs, ammonia and hydrogen sulfide emissions. *Atmospheric Environment*, 166, 467-478. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.07.048>
- McPherson, W. (1915). *First course in chemistry*. Ginn.
- Meiirkhanuly, Z., Koziel, J. A., Chen, B., Białowiec, A., Lee, M., Wi, J., ... & Bakshi, S. (2020). Mitigation of gaseous emissions from swine manure with the surficial application of biochars. *Atmosphere*, 11(11), 1179. <https://doi.org/10.3390/atmos11111179>
- Mekhilef, S., Saidur, R., & Kamalisarvestani, M. (2012). Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(5), 2920-2925. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.012>
- Melse, R. W., & Ogink, N. W. M. (2005). Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. *Transactions of the ASAE*, 48(6), 2303-2313. <https://doi.org/10.13031/2013.20094>
- Mihina, Š., Sauter, M., Palkovičová, Z., Karandušovská, I., & Brouček, J. (2012). Concentration of harmful gases in poultry and pig houses. *Animal Science Papers and Reports*, 30(4), 395-406.

- Mostafa, E., Selders, A., Gates, R. S., & Buescher, W. (2020). Pig barns ammonia and greenhouse gas emission mitigation by slurry aeration and acid scrubber. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 9444-9453. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07613-x>
- Nagarajan, D., Lee, D. J., Chen, C. Y., & Chang, J. S. (2020). Resource recovery from wastewaters using microalgae-based approaches: A circular bioeconomy perspective. *Bioresource technology*, 302, 122817. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122817>
- National Research Council. (2002). *The scientific basis for estimating air emissions from animal feeding operations: Interim report*. National Academies Press.
- Negoro, M., Shioji, N., Miyamoto, K., & Micira, Y. (1991). Growth of microalgae in high CO₂ gas and effects of SO_x and NO_x. *Applied biochemistry and biotechnology*, 28, 877-886. <https://doi.org/10.1007/BF02922657>
- Ngwabie, N. M., Jeppsson, K. H., Nimmermark, S., Swensson, C., & Gustafsson, G. (2009). Multi-location measurements of greenhouse gases and emission rates of methane and ammonia from a naturally-ventilated barn for dairy cows. *Biosystems engineering*, 103(1), 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.02.004>
- Ni, J. Q., Chai, L., Chen, L., Bogan, B. W., Wang, K., Cortus, E. L., ... & Diehl, C. A. (2012). Characteristics of ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide, and particulate matter concentrations in high-rise and manure-belt layer hen houses. *Atmospheric Environment*, 57, 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.023>
- Ni, J. Q., Robarge, W. P., Xiao, C., & Heber, A. J. (2012). Volatile organic compounds at swine facilities: A critical review. *Chemosphere*, 89(7), 769-788. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.04.061>
- Ogbonna, J. C., Soejima, T., & Tanaka, H. (1999). An integrated solar and artificial light system for internal illumination of photobioreactors. In *Progress in Industrial Microbiology* (Vol. 35, pp. 289-297). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-6352\(99\)80121-0](https://doi.org/10.1016/S0079-6352(99)80121-0)
- Park, J., Jin, H. F., Lim, B. R., Park, K. Y., & Lee, K. (2010). Ammonia removal from anaerobic digestion effluent of livestock waste using green alga *Scenedesmus* sp. *Bioresource technology*, 101(22), 8649-8657. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.142>
- Perera, M. S. A., & Sampath, K. H. S. M. (2020). Modelling of free and adsorbed CO₂-induced mechanical property alterations in coal. *International Journal of Coal Geology*, 217, 103348. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103348>
- Peter, A. P., Khoo, K. S., Chew, K. W., Ling, T. C., Ho, S. H., Chang, J. S., & Show, P. L. (2021). Microalgae for biofuels, wastewater treatment and environmental

- monitoring. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 2891-2904. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01219-6>
- Posten, C. (2009). Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae. *Engineering in Life Sciences*, 9(3), 165-177. <https://doi.org/10.1002/elsc.200900003>
- Powell, J. M., & Broderick, G. A. (2011). Transdisciplinary soil science research: Impacts of dairy nutrition on manure chemistry and the environment. *Soil Science Society of America Journal*, 75(6), 2071-2078. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0226>
- Ranjbar, R., Inoue, R., Katsuda, T., Yamaji, H., & Katoh, S. (2008). High efficiency production of astaxanthin in an airlift photobioreactor. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 106(2), 204-207. <https://doi.org/10.1263/jbb.106.204>
- Rashid, N., Rehman, M. S. U., Sadiq, M., Mahmood, T., & Han, J. I. (2014). Current status, issues and developments in microalgae derived biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 760-778. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.104>
- Recharla, N., Kim, K., Park, J., Jeong, J., Jeong, Y., Lee, H., ... & Park, S. (2017). Effects of amino acid composition in pig diet on odorous compounds and microbial characteristics of swine excreta. *Journal of Animal Science and Technology*, 59(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40781-017-0153-5>
- Redwine, J. S., Lacey, R. E., Mukhtar, S., & Carey, J. B. (2002). Concentration and emissions of ammonia and particulate matter in tunnel-ventilated broiler houses under summer conditions in Texas. *Transactions of the ASAE*, 45(4), 1101. <https://doi.org/10.13031/2013.9943>
- Renuka, N., Sood, A., Ratha, S. K., Prasanna, R., & Ahluwalia, A. S. (2013). Nutrient sequestration, biomass production by microalgae and phytoremediation of sewage water. *International journal of phytoremediation*, 15(8), 789-800. <https://doi.org/10.1080/15226514.2012.736436>
- Richmond, A., Boussiba, S., Vonshak, A., & Kopel, R. (1993). A new tubular reactor for mass production of microalgae outdoors. *Journal of Applied Phycology*, 5, 327-332. <https://doi.org/10.1007/BF02186235>
- Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate risk management*, 16, 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Rotz, C. A. (2018). Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *Journal of dairy science*, 101(7), 6675-6690. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272>
- Rubio, F. C., Fernández, F. A., Pérez, J. S., Camacho, F. G., & Grima, E. M. (1999). Prediction of dissolved oxygen and carbon dioxide concentration profiles in

- tubular photobioreactors for microalgal culture. *Biotechnology and bioengineering*, 62(1), 71-86. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0290\(19990105\)62:1<71::AID-BIT9>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(19990105)62:1<71::AID-BIT9>3.0.CO;2-T)
- Saeed, M., Arain, M. A., Naveed, M., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Bhutto, Z. A., ... & Chao, S. (2018). Yucca schidigera can mitigate ammonia emissions from manure and promote poultry health and production. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 35027-35033. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3546-1>
- Schiefler, I. (2013). *Greenhouse gas and ammonia emissions from dairy barns* (Doctoral dissertation, Universitäts-und Landesbibliothek Bonn).
- Shen, Y., Yuan, W., Pei, Z. J., Wu, Q., & Mao, E. (2009). Microalgae mass production methods. *Transactions of the ASABE*, 52(4), 1275-1287. <https://doi.org/10.13031/2013.27771>
- Sirohi, R., Pandey, A. K., Ranganathan, P., Singh, S., Udayan, A., Awasthi, M. K., ... & Sim, S. J. (2022). Design and applications of photobioreactors-A review. *Bioresource technology*, 126858. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126858>
- Slegers, P. M., Wijffels, R. H., Van Straten, G., & Van Boxtel, A. J. B. (2011). Design scenarios for flat panel photobioreactors. *Applied energy*, 88(10), 3342-3353. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.037>
- Slegers, P. M., Van Beveren, P. J. M., Wijffels, R. H., Van Straten, G., & Van Boxtel, A. J. B. (2013). Scenario analysis of large scale algae production in tubular photobioreactors. *Applied energy*, 105, 395-406. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.12.068>
- Snell, H. G. J., Seipelt, F., & Van den Weghe, H. F. A. (2003). Ventilation rates and gaseous emissions from naturally ventilated dairy houses. *Biosystems Engineering*, 86(1), 67-73. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00113-2](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00113-2)
- Soydemir, G. (2016). Atıksu Ortamında Yetiştirilen Mikroalgelerin Yağının Karakterizasyonu ve Değerlendirilmesi. *Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilim. Ens. D. Tezi*, 142.
- Spinhirne, J. P., & Koziel, J. A. (2003). Generation And Calibration Of Standard Gas Mixtures Or Volatile Fatty Acids Using Permeation Tubes And Solid-Phase Microextraction. *Transactions of the ASAE*, 46(6), 1639. <https://doi.org/10.13031/2013.15634>
- Şahin, Y., & Akyurt, İ. (2010). Planktonlar ve Fotobiyoreaktörler. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 83-92.
- Tam, N. F. Y., & Wong, Y. (1996). Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella vulgaris* and nitrogen removal from media. *Bioresource technology*, 57(1), 45-50. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00045-4](https://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00045-4)

- Todd, R. W., Cole, N. A., Clark, R. N., Flesch, T. K., Harper, L. A., & Baek, B. H. (2008). Ammonia emissions from a beef cattle feedyard on the southern High Plains. *Atmospheric Environment*, 42(28), 6797-6805. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.013>
- Toledo-Cervantes, A., Morales, M., Novelo, E., & Revah, S. (2013). Carbon dioxide fixation and lipid storage by *Scenedesmus obtusiusculus*. *Bioresource Technology*, 130, 652-658. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.081>
- Tymczyna, L., Chmielowiec-Korzeniowska, A., Drabik, A., & Raczynska, J. (2010). Removal of volatile organic compounds by biofiltration of air exhausted from fattening facility. *Przemysl Chemiczny*, 89(4), 567-572.
- Uduman, N., Qi, Y., Danquah, M. K., Forde, G. M., & Hoadley, A. (2010). Dewatering of microalgal cultures: a major bottleneck to algae-based fuels. *Journal of renewable and sustainable energy*, 2(1), 012701. <https://doi.org/10.1063/1.3294480>
- Ugwu, C., Ogbonna, J., & Tanaka, H. (2002). Improvement of mass transfer characteristics and productivities of inclined tubular photobioreactors by installation of internal static mixers. *Applied microbiology and biotechnology*, 58, 600-607. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-0940-9>
- Van der Heyden, C., Demeyer, P., & Volcke, E. I. (2015). Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives. *Biosystems Engineering*, 134, 74-93. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.04.002>
- Vasumathi, K. K., Premalatha, M., & Subramanian, P. (2012). Parameters influencing the design of photobioreactor for the growth of microalgae. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5443-5450. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.013>
- Vidyashankar, S., VenuGopal, K. S., Chauhan, V. S., Muthukumar, S. P., & Sarada, R. (2015). Characterisation of defatted *Scenedesmus dimorphus* algal biomass as animal feed. *Journal of Applied Phycology*, 27, 1871-1879. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0498-9>
- Vítová, M., Bišová, K., Hlavová, M., Kawano, S., Zachleder, V., & Čížková, M. (2011). *Chlamydomonas reinhardtii*: duration of its cell cycle and phases at growth rates affected by temperature. *Planta*, 234, 599-608. <https://doi.org/10.1007/s00425-011-1427-7>
- Wang, B., Lan, C. Q., & Horsman, M. (2012). Closed photobioreactors for production of microalgal biomasses. *Biotechnology advances*, 30(4), 904-912. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.01.019>
- Wang, L., Wang, Y., Chen, P., & Ruan, R. (2010). Semi-continuous cultivation of *Chlorella vulgaris* for treating undigested and digested dairy manures. *Applied*

biochemistry and biotechnology, 162, 2324-2332. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8866-7>

- Wathes, C. M., Holden, M. R., Sneath, R. W., White, R. P., & Phillips, V. R. (1997). Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *British poultry science*, 38(1), 14-28. <https://doi.org/10.1080/00071669708417936>
- Welter, C., Schwenk, J., Kanani, B., Van Blargan, J., & Belovich, J. M. (2013). Minimal medium for optimal growth and lipid production of the microalgae *Scenedesmus dimorphus*. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 32(4), 937-945. <https://doi.org/10.1002/ep.11835>
- Woertz, I., Feffer, A., Lundquist, T., & Nelson, Y. (2009). Algae grown on dairy and municipal wastewater for simultaneous nutrient removal and lipid production for biofuel feedstock. *Journal of Environmental Engineering*, 135(11), 1115-1122.
- Xin, L., Hong-Ying, H., & Yu-Ping, Z. (2011). Growth and lipid accumulation properties of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp. under different cultivation temperature. *Bioresource technology*, 102(3), 3098-3102. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.055>
- Xu, H., Miao, X., & Wu, Q. (2006). High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters. *Journal of biotechnology*, 126(4), 499-507. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2006.05.002>
- Xu, X., Shen, Y., & Chen, J. (2015). Cultivation of *Scenedesmus dimorphus* for C/N/P removal and lipid production. *Electronic Journal of Biotechnology*, 18(1), 46-50. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2014.12.003>
- Yen, H. W., Ho, S. H., Chen, C. Y., & Chang, J. S. (2015). CO₂, NO_x and SO_x removal from flue gas via microalgae cultivation: A critical review. *Biotechnology journal*, 10(6), 829-839. <https://doi.org/10.1002/biot.201400707>
- Zhang, B., & Chen, G. Q. (2014). Methane emissions in China 2007. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 886-902. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.033>
- Zhang, L., Hou, S., Wang, T., Liu, S., Gao, X., Wang, C., & Wang, G. (2022). Recent Advances in Application of Graphitic Carbon Nitride-Based Catalysts for Photocatalytic Nitrogen Fixation. *Small*, 18(28), 2202252. <https://doi.org/10.1002/sml.202202252>
- Zhang, S., Cai, L., Koziel, J. A., Hoff, S. J., Schmidt, D. R., Clanton, C. J., ... & Heber, A. J. (2010). Field air sampling and simultaneous chemical and sensory analysis of livestock odorants with sorbent tubes and GC-MS/olfactometry. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 146(2), 427-432. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.11.028>

- Zhang, T. (2013). Dynamics of fluid and light intensity in mechanically stirred photobioreactor. *Journal of biotechnology*, 168(1), 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2013.07.007>
- Zhang, Y., Sun, Q., Zhou, J., Masunaga, S., & Ma, F. (2015). Reduction in toxicity of wastewater from three wastewater treatment plants to alga (*Scenedesmus obliquus*) in northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 119, 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.034>
- Zhao, L. Y., Brugger, M. F., Manuzon, R. B., Arnold, G., & Imerman, E. (2007). Variations in air quality of new Ohio dairy facilities with natural ventilation systems. *Applied engineering in agriculture*, 23(3), 339-346. <https://doi.org/10.13031/2013.22684>
- Zhou, W., Lu, Q., Han, P., & Li, J. (2020). Microalgae cultivation and photobioreactor design. In *Microalgae cultivation for biofuels production* (pp. 31-50). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817536-1.00003-5>
- Zhu, C., Chen, S., Ji, Y., Schwaneberg, U., & Chi, Z. (2022). Progress toward a bicarbonate-based microalgae production system. *Trends in Biotechnology*, 40(2), 180-193. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.06.005>

EK 1

ÖZGEÇMİŞ

SEYİT UĞUZ

ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

ZİRAAT FAKÜLTESİ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

İş Telefonu : +90 224 294 1617 Dahili: 41617

E-posta : seyit@uludag.edu.tr

Web : <https://avesis.uludag.edu.tr/seyit>



Öğrenim Bilgisi

Doktora 2017-2023	BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ Tez adı: Hayvan Barınaklarının Hava Kalitesi ve Yalıtımında Mikroalg Uygulaması Tez Danışmanı: Prof. Dr. ERCAN ŞİMŞEK
Yüksek Lisans 2014-2017	BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ Tez adı: Küçük Ölçekli Süt Sığırı İşletmelerinin Toplu Büyük İşletmeler Biçiminde Modellenmesine Yönelik Bir Araştırma Tez Danışmanı: Prof. Dr. ERCAN ŞİMŞEK
Yüksek Lisans 2011-2016	SELÇUK ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ (YL) (TEZLİ) Tez adı: Tarihi Yığma Bir Binanın Deprem Güvenlik Analizi : Tarihi Konya-Gazi Lisesi (Darü'l Muallim) Örneği Tez Danışmanı: Prof. Dr. MAHMUD SAMİ DÖNDÜREN
Lisans 2006-2011	SELÇUK ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Yabancı Dil

İNGİLİZCE 86,25 (YÖKDİL)

Yurtdışı Deneyimi

VISITING SCHOLAR 2019-2020	SOUTH DAKOTA STATE UNIVERSITY, UNITED STATES AGRICULTURAL AND BIOSYSTEMS ENGINEERING Tez adı: Hayvan Barınaklarının Hava Kalitesi ve Yalıtımında Mikroalg Uygulaması Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gary Anderson
MOBILITY TRAINING 2015 (1 hafta)	UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND LIFE SCIENCES, POLAND FACULTY OF AGRICULTURE AND BIOTECHNOLOGY Tez adı: Küçük Ölçekli Süt Sığırı İşletmelerinin Toplu Büyük İşletmeler Biçiminde Modellenmesine Yönelik Bir Araştırma Tez Danışmanı: Prof. Dr. ERCAN ŞİMŞEK
INTERNSHIP 2009 (3 Ay)	WEISENBURGER BAU GmbH Rastatt/Germany

Projelerde Yaptığı Görevler

ARAŞTIRMACI	TUBİTAK 1001 PROJESİ Tavukçuluk İşletmelerinden Salınan Kirlenici Gazların Fotobiyoreaktör Sistemi ile Azaltılması 15.02.2021-Devam Ediyor
BURSİYER	TUBİTAK 1001 PROJESİ (AVRUPA BİRLİĞİ) (ULUSLARARASI) Koyun Ağılları Atmosferinde Amonyak (NH ₃), Metan (CH ₄), Hidrojen Sülfür (H ₂ S) ve Karbondioksit (CO ₂) Konsantrasyonlarının Belirlenmesi Çevresel Emisyon ve Yayılım Modellerinin Geliştirilmesi ve Olası Hayvan Refahı Üzerine Etkileri 13/02/2013 - 24/02/2016 (ULUSLARARASI)

SCI, SCI- Expanded İndekslerine Giren Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1	Growth of Scenedesmus dimorphus in swine wastewater with versus without solid-liquid separation pretreatment Augustina Osabutey, Noor Haleem, Seyit Uguz, Kyungnan Min, Ryan Samuel, Karlee Albert, Gary Anderson, Xufei Yang Bioresource Technology
3	Cultivation of Scenedesmus dimorphus with air contaminants from a pig confinement

building

UGUZ S., Anderson G., Yang X., Simsek E., Osabutey A.

Journal of Environmental Management, 2022

Air Quality Measurements In Four Sheep Barns Part II: Pollutant Gas Emissions

Kılıc İ., Şimsek E., Yaslioglu E., Heber A., UĞUZ S.

Environmental Science And Pollution Research, 2021

- 4 Spatial And Temporal Variations Of Temperature Humidity Index (Thi) For Laying Hens In The Marmara Region, Turkey

Yaslioglu E., Ilhan H., Simsek E., UGUZ S.

Fresenius Environmental Bulletin, 2018

- 5 Soil Pollution By Trace Metals Derived From Animal Feed And Manure In The Bursa Region Of Turkey

Kilic I., UGUZ S., Asik B. B.

Toxicological And Environmental Chemistry, 2014

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- 1 **UGUZ S.**, Onuk A., Simsek E. (2018). Assessment of Water Usage and Consumption of Livestock Enterprises in Bursa Region. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 290-294.
-
- 2 **UGUZ S.**, Simsek E. (2017). Re-Modelling Of Small-Scale Dairy Cattle Farm As Large-Scale Collective Farm. Akademia Journal of Engineering and Applied Sciences, 215-226.
-
- 3 **UGUZ S.**, Simsek E. (2017). Küçük Ölçekli Süt Sığırı İşletmelerinin Toplu Büyük İşletmelere Dönüştürülmesine Yönelik Yapılan Çalışmalar. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6, 146-155.
-

Editör Kurulu

- 1 International Journal of Food Science and Agriculture (Alan endeksleri), Dergi, Editör, Hill Publishing Group, 14.11.2017
-

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1 Simsek E., **UGUZ S.** 2018. Süt Sığırı Yetiştiriciliği İşletmelerinde Yıllık Su İhtiyacının Belirlenmesi ve Örnek Bir İşletme İçin Su Tesisatının Düzenlenmesi. International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, 2647-2652. (Tam Metin Bildiri)
-
- 2 Simsek E., **UGUZ S.**, Yaslioglu E. 2018. Türkiye'deki Hayvansal Üretim Küresel İklim Değişimine Olan Etkisinin Değerlendirilmesi. International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, 2653-2658. (Tam Metin Bildiri)
-
- 3 Onuk A., **UGUZ S.**, Simsek E. 2018. Canlı Hayvanların Taşınmasında Karşılaşılan Sorunların
-

-
- Değerlendirilmesi. 1st International, 14th National Congress on Agricultural Structures and Irrigation, 339-347. (Tam Metin Bildiri)
-
- 4 **UGUZ S.**, ONUK A., Simsek E. 2018. Assessment of Water Usage and Consumption of Livestock Enterprises in Bursa Region. 1st International, 14th National Congress on Agricultural Structures and Irrigation, 663 (Özet Bildiri)
-
- 5 ONUK A., **UGUZ S.**, Simsek E. 2018. Küçükbaş Hayvan Yetiştiriciliğinde İşletme Su Gereksiniminin Belirlenmesi. Uluslararası su ve Çevre Kongresi, 1, 903-910. (Tam Metin Bildiri)
-
- 6 **UGUZ S.**, Simsek E. 2017. Re-Modelling of Small-Scale Dairy Cattle Farm As Large-Scale Collective Farm. 3th International Congress of Agriculture and Environment (Özet Bildiri)
-
- 7 Simsek E., Yaslioglu E., Kilic İ, **UGUZ S.** 2017. A study to determine the annual effect of greenhouse gases originating from animal production in Turkey. 3rd International Agriculture Congress (14-18 August) (Özet Bildiri)
-
- 8 Simsek E., **UGUZ S.**, Ölmez B. 2017. Design of a Rural Tourism Enterprise for the Rural Development in Bursa Region and Assessment of the Implemented Applications. 1th International Rural Tourism And Development Congress (Özet Bildiri)
-
- 9 **UGUZ S.**, Keskin B., Şimşek E. 2016. Determination of Current Location of Animal Barns and Establishment of A Database By GIS Study Case for Akçalar Village in Bursa. 7th International Conference on Biosystems Engineering (Özet Bildiri/Poster)
-
- 10 **UGUZ S.**, Şimşek E., Yaslıoğlu E. 2015. Bursa İli Nilüfer Bölgesindeki Geleneksel Koyun Ağıllarının Yapısal Sorunları ve Çözüm Önerileri. Odryses'ten Nilüfer'e Uluslararası Nilüfer Sempozyumu (Tam Metin Bildiri)
-
- 11 Kılıç İ., **UGUZ S.**, Yaslıoğlu E., Şimşek E. 2015. Ammonia concentrations in four Turkish sheep barns inwinter season. 26th International Scientific-Expert Conference Of Agriculture And Food Industry (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
-

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1 Şimşek E., **UĞUZ S.** 2016. Bursa Bölgesi Süt Sığırı İşletmelerinde Barınak Koşullarının Hayvan Refahına Etkisinin Belirlenmesi. 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
-
- 2 **UĞUZ S.**, Şimşek E., Yaslıoğlu E. 2015. Bursa Bölgesi İklim Koşullarının Koyunculuk İşletme Yapıları Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi. 1. Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
-
- 3 **UĞUZ S.**, Şimşek E., Dağ B. 2015. Koyun Ağıllarında Çatı Elemanlarının Dış Yükler Altındaki Davranışının Modellenmesi ve Analizi. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
-
- 4 Onuk A., Şimşek E., **UĞUZ S.** 2015. Ağıl Taban Düzenlemesinin Hayvan Refahı ve Verimliliği Üzerine Etkisi. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi (Özet Bildiri/Poster)
-
- 5 Şimşek E., **UĞUZ S.**, Kılıç İ., Yaslıoğlu E. 2016. Süt Sığırı Ahırlarının Hayvan Refahı ve Verimliliği Üzerine Etkisinin Belirlenmesi. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
-