

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BIYOREAKTÖRDE *Borodinelopsis texensis*' den AZOT VE FOSFOR
GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Esra EBİNÇ
DANIŞMAN: Doç. Dr. Melih ONAY

VAN-2022

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BIYOREAKTÖRDE *Borodinelopsis texensis*' den AZOT VE FOSFOR
GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Esra EBİNÇ

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Melih ONAY danışmanlığında, Esra EBİNÇ tarafından sunulan “Biyoreaktörde Borodinellopsis Texensis’ den Azot Ve Fosfor Gideriminin Araştırılması” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’ nin ilgili hükümleri gereğince/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Zehra ŞAPÇI AYAS

İmza:

Üye: Doç. Dr. Edip AVŞAR

İmza:

Üye: Doç. Dr. Melih ONAY

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun/...../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Esra EBİNÇ

ÖZET

BİYOREAKTÖRDE *Borodinellopsis texensis*'den AZOT VE FOSFOR GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

EBİNÇ, Esra
Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Melih ONAY
Ocak 2022, 61 sayfa

Mikroalgler fotosentetik mikroorganizmalardır ve atıksuyun arıtımı için kullanılabilirler. Bu çalışmada, *Borodinellopsis texensis*'den azot ve fosfor giderimi araştırıldı. Bunun için, mikroalgler Bold Basal Besiyeri (BBM) içerisinde kabarcıklı kolon fotobiyoreaktör ile mavi ışık altında büyütüldü. Mikroalgler nitrat, nitrit ve amonyum gibi farklı azot kaynakları (3, 6 ve 9 mM) ve iki fosfat kaynağında (0,65 ve 1,3 mM) büyütüldü. *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunlukları (OD), biyokütle konsantrasyonları ve azot ve fosfat giderimleri araştırıldı. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek optik yoğunluk 9 mM nitrat konsantrasyonunda 0,19 iken en düşük değer ise 9 mM amonyum konsantrasyonunda 0,11 olarak ölçüldü. Fosfat limitasyonu altında (0,65 mM), optik yoğunluk değeri önemli derecede azaldı ve 0,08 OD değerine ulaştı. Buna ek olarak, maksimum biyokütle konsantrasyonu 9 mM nitrat konsantrasyonunda 389 mg/l olarak bulundu. Minimum biyokütle konsantrasyonu ise 9 mM amonyum konsantrasyonunda 222 mg/l idi. Ayrıca *Borodinellopsis texensis*'den azot ve fosfat giderimi üzerinde çalıştık. En yüksek azot giderimi 3 mM nitrat konsantrasyonunda %77 olarak bulundu. En düşük azot giderimi ise 9 mM amonyum konsantrasyonunda %67 idi. Bu sonuçların aksine, mikroalglerden fosfat giderimi benzer sonuçlar gösterdi. Azot ve fosfat kaynağı değiştiğinde fosfat giderimi neredeyse sabit kaldı. Maksimum fosfat giderimi 3 mM nitrat ve 6mM amonyum konsantrasyonlarında %61 olarak bulundu. Sonuç olarak, *Borodinellopsis texensis* laboratuvar ölçeğinde atık suyun arıtılması için kullanılabilir ve bu durum geniş ölçekli reaktörlerde atık suyun arıtılması ile ilgili çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyar.

Anahtar kelimeler: Amonyum, Atıksuyun arıtımı, *Borodinellopsis texensis*, Nitrat, Nitrit



ABSTRACT

INVESTIGATION OF NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL FROM *Borodinellopsis texensis* AT BIOREACTOR

EBİNÇ, Esra

M. Sc. Thesis, Environmental Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof.Dr. Melih ONAY

January 2022, 61 pages

Microalgae are photosynthetic microorganisms and they can be used for the treatment of wastewater. In this study, we carried out *Borodinellopsis texensis* for its nitrogen and phosphorous removal. For this aim, microalgae were grown in Bold Basal Medium in bubble-column photobioreactor under blue color. Microalage were grown in different concentrations (3, 6 and 9 mM) of various nitrogen sources such as nitrate, nitrite and ammonium and two phosphate concentrations (0.65 and 1.3 mM). Optical densities, biomass concentrations and nitrogen and phosphate removal percentages of *Borodinellopsis texensis* were investigated. According to results, the highest optical density was 0.19 at 9 mM nitrate concentration and the lowest was 0.11 at 9 mM ammonium concentration. Under phosphate limitation (0.65 mM), optical density values significantly decreased and reached 0.08 OD value. In addition, the maximum biomass concentration was 389 mg/l at 9 mM nitrate concentration and the minimum concentration was 222 mg/l at 9 mM ammonium concentration. Also, we studied nitrogen and phosphate removal from *Borodinellopsis texensis*. The highest nitrogen removal was 77% at 3 mM nitrate concentration. The lowest phosphate removal was 67% at 9 mM ammonium concentration. Contrarily, phosphate removal of microalgae had similar results. Phosphate removal percentage remained nearly stable when nitrogen sources and their concentrations changed. The maximum phosphate removal was 61 % at 3 mM nitrate and 6 mM ammonium concentrations. In conclusion, *Borodinellopsis texensis* can be used for the treatment of wastewater at lab scale studies and it needs further studies including large scale reactors for the treatment of wastewater.

Keywords: Ammonium, The treatment of wastewater, *Borodinellopsis texensis*, Nitrate, Nitrite.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, bana bu imkânı tanıyan akademik bilginin yanı sıra hayat dair engin bilgi ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan ve hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyip yolumu aydınlatan çok değerli danışmanım sayın Doç. Dr. Melih ONAY' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda düzeltmeleriyle yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Zehra ŞAPCI AYAS ve Doç. Dr. Edip AVŞAR' a, teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayata atıldığım ilk günden itibaren, gelişim sürecime çok önemli katkı sağlayan, ihtiyaç duyduğumda tavsiyeleri ile varlığını her zaman hissettiren ve laboratuvar çalışmalarım süresince deney düzeneklerimin kurulmasında bana yol gösteren Arş. Gör. Dr. Erdinç ALADAĞ' a ve Said Nur GAZİOĞLU' na teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmam esnasında benimle birlikte olup cesaret veren, bana inanıp maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, asla beni yalnız bırakmayan hayattaki en değerli varlığım ailem; annem, kardeşlerim, kızlarım ve mezuniyetimi göremeden vefat eden babama teşekkürü bir borç bilirim.

2022

Esra EBİNÇ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	7
2.1. Enerji Kavramı	7
2.2. Türkiye’ de Enerji	7
2.3. Enerji Kaynakları	8
2.3.1. Yenilenebilir enerji kaynakları	8
2.3.1.1. Güneş enerjisi	10
2.3.1.2. Rüzgâr enerjisi	10
2.3.1.3. Hidroelektrik enerjisi	11
2.3.1.4. Jeotermik enerjisi	12
2.3.1.5. Hidrojen enerjisi	13
2.3.1.6. Dalga enerjisi	13
2.3.1.7. Biyokütle enerjisi	14
2.4. Biyoyakıtlar	15
2.5. Mikroalgler	16
2.5.1. Mikroalglerin tanımlanması ve önemleri	16
2.5.2. Mikroalg üretiminde etkili olan faktörler	18
2.5.2.1. Işık yoğunluğu	18
2.5.2.2. Sıcaklık	19
2.5.2.3. Besin maddesi	19
2.5.2.4. pH	20
2.5.2.5. Karıştırma	20
2.6. Mikroalg Yetiştirilmesi İçin Kullanılan Sistemler	20
2.6.1. Açık havuzlar	22
2.6.2. Kapalı sistemler (fotobiyoreaktörler)	23

	Sayfa
2.7. Mikroalglerde Azot ve Fosfor Giderimi	25
2.7.1. Azot giderim	25
2.7.2. Fosfor giderimi.....	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Materyal.....	31
3.2. Mikroalglerin Büyütülme Şartları.....	32
3.3. BBM Besiyerinin Hazırlanması.....	32
3.4. Mikroalglerin Büyümlerinin Takip Edilmesi.....	33
3.5. Mikroalglerin Hasatlanması.....	33
3.6. Biyokütlenin Hesaplanması	33
3.7. Azot ve Fosfat Gideriminin Hesaplanması.....	33
4. BULGULAR.....	35
4.1. Farklı Nitrat Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi.....	35
4.2. Farklı Nitrit Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi	37
4.3. Farklı Amonyum Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi	39
4.4. Fosfat Limitasyonu ve Farklı Nitrat Konsantrasyonunda Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi.....	41
4.5. Fosfat Limitasyonu ve Farklı Nitrit Konsantrasyonunda Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi	43
4.6. Fosfat Limitasyonu Ve Farklı Amonyum Konsantrasyonunda Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi.....	45
4.7. Borodinelopsis texensis' in Farklı Azot ve Fosfat Konsantrasyonlarında Biyokütlesinin Hesaplanması	47
5. SONUÇ.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZ GEÇMİŞ.....	61

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Basal Bold besiyerin bileşimleri (Barsanti ve Gualtieri, 2006).....	32
Çizelge 4.1. Farklı azot kaynağında büyütülen mikroalgler için biyokütle miktarları... 48	
Çizelge 4.2.Farklı azot kaynağında büyütülen mikroalgler için azot ve fosfat giderimleri	50



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kasım 2020 yılına ait kaynaklara göre elektrik enerjisi kurulu gücünün değişimi, Kasım, 2020 (TEİAŞ, 2020).	8
Şekil 2.2. 2017 Yılı Hidroelektrik Toplam Kurulu Gücü (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).	12
Şekil 2.3. Biyoyakıtların şematik olarak sınıflandırılması (Adıgüzel, 2011).	16
Şekil 2.4. Kahverengi, mavi-yeşil, kırmızı ve yeşil Algler.	17
Şekil 2.5. Mikroalg üretim sistemleri (Elçik ve Çakmakçı, 2017).	22
Şekil 2.6. Mikroalg üretiminde açık kültür sistemleri (Gezici, 2012).	23
Şekil 2.7. Fotobiyoreaktörlerin dış mekan tasarımları (Geici, 2012).	25
Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan kabarcıklı kolon fotobiyoreaktör (Gazioğlu, 2020).	31
Şekil 4.1. 3 mM nitrat ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	35
Şekil 4.2. 6 mM nitrat ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	36
Şekil 4.3. 9 mM nitrat ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	36
Şekil 4.4. 3 mM nitrit ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	37
Şekil 4.5. 6 mM nitrit ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	38
Şekil 4.6. 9 mM nitrit ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	38
Şekil 4.7. 3 mM amonyum ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi... ..	39
Şekil 4.8. 6 mM amonyum ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi... ..	40
Şekil 4.9. 9 mM amonyum ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi... ..	40

Şekil**Sayfa**

Şekil 4.10. 3 mM nitrat ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	41
Şekil 4.11. 6 mM nitrat ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	42
Şekil 4.12. 9 mM nitrat ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	42
Şekil 4.13. 3 mM nitrit ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	43
Şekil 4.14. 6 mM nitrit ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	44
Şekil 4.15. 9 mM nitrit ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	44
Şekil 4.16. 3 mM amonyum ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	45
Şekil 4.17. 6 mM amonyum ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	46
Şekil 4.18. 9 mM amonyum ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.	46

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Ca

Kalsiyum

E

Enerji

g

Gram

L

Litre

M

Kütle

Mg

Magnezyum

mg

Miligram

mL

Mililitre

mM

Milimolar

mm

Milimetre

N

Azot

nm

Nanometre

O

Oksijen

P

Fosfat

pH

Bir Çözeltinin Asitlik veya Bazlık Derecesini

Tarif Eden Ölçü

Zn

Çinko

°C

Sıcaklık (Santigrat)

%

Yüzdellik

Kısaltmalar

BBM

CCALA

IHA

KOİ

LED

OD

rcf

rpm

TOK

Açıklamalar

Bold Basal Medium

Culture Collection of Autotrophic Organisms

Uluslararası Hidroelektrik Ajansı

Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Light Emitting Diod

Optik Yoğunluk

Rölatif santrifugal

Revolutions per Minute

Toplam Organik Karbon

1. GİRİŞ

Enerji kavramı genellikle çalışma yeteneği olarak tanımlanır ve her türlü hareketin arkasındaki güç olarak kabul edilir. Enerji; katı, sıvı ve gaz halindeki kaynaklardan birçok şekilde gelmektedir (Dresselhaus ve Thomas, 2001). Enerji, günlük hayatımızda sıkça kullandığımız, bazıları görünür, bazıları görünmez bir şeydir. Bu insan hayatında çok önemlidir ve sadece insanlar için değil doğadaki tüm canlılar için gerekli bir özelliktir. Enerji, sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel bileşenlerinden biridir. Nüfus, kentleşme, sanayileşme, teknolojik gelişme ve refah düzeyi arttıkça enerji tüketimi sürekli artmaktadır. Bu da enerji kaynak çeşitlerinin araştırılmasını ve tespitini ön plana çıkarmaktadır.

Fosil yakıtlarında rezervinin ömrünün kısaldığı, nüfusun hızlı şekilde artması ve teknolojik olarak gelişimin yaşanması ile birlikte fosil yakıt kullanımında meydana gelen artış ve buna bağlı olarak çevresel anlamda etkiler de dikkate alındıklarında dünyanın tamamında yenilenebilir enerjinin kullanımına yoğun ilginin gün geçtikçe daha da arttığı bilinmektedir (Gülüm ve ark., 2015, Genç, 2011).

Yenilenebilir enerji, elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan atığın çevreye zarar vermemesi anlamına gelmektedir. Bugüne kadar enerji üretmek için kullanılan kaynaklar insan sağlığına ve çevre bilgisine zararlı olduğu için çevreye ve insana zarar vermeyen, çevreye atıldığında kendini yenileyen enerji kaynaklara yönelim olmaktadır. Enerji üretiminde çevreye zararlı kaynakların kullanımı devam etsede, bu kaynakların yerini almak üzere çalışılan diğer kaynaklar alternatif enerji kaynakları olarak anılmaktadır. Son zamanlarda dünya çapındaki yeşil enerji akışlarındaki artışla birlikte yeni yeşil enerji kaynakları arayışları oluşmaktadır.

Küresel enerji kaynaklarımız her yıl %4-5 oranında büyümektedir. Öte yandan, bu talebi karşılamak için fosil yakıt rezervleri çok daha hızlı tükenmektedir. Mevcut enerji durumu göz önüne alındığında, en iyimser tahmin bile 2030 yılına kadar petrol rezervlerinin ciddi şekilde tükeneceği ve mevcut kömürün faydalı ömrü yaklaşık 100-120 yıl olacağı bundan dolayı talebi karşılayamayacağı yönünde düşünceler artmaktadır.

Enerji kaynaklarından yenilenebilir nitelikte olanları dalga, rüzgar, güneş, hidroelektrik ve biyokütle olarak biçimlendirmek mümkündür (Amponsah ve ark., 2014; Singh ve ark., 2014).

Güneş enerjisi teknolojisinin kullanımı, kullanım kolaylığı, yakıtsız, hızlı kurulum, uzun yıllar sorunsuz çalışması ve temiz enerji kaynağı nedeniyle sürekli artmaktadır. Güneş enerjisi teknolojisinin en yaygın kullanılan çeşidi güneş enerjisinden düşük sıcaklıklar elde etmek için en yaygın olarak kullanılan sistem, "güneş kollektörü" adı verilen bir teknolojidir. Bu teknoloji ısıtma ve sıcak su temini için kullanılır (Adıyaman, 2012).

Rüzgâr enerjisi uzun yıllardır kullanılmaktadır. MÖ 200'de, Çin'de suyu pompalamak ve sıradan yel değirmenlerini döndürmek için kullanıldı. 1894'te Danimarka rüzgâr enerjisi üreten ilk ülke oldu. Yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, 1990'larda çevre bilincinin yolunu açtı. En önemli yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan rüzgâr enerjisinin düşük çevresel etkisi, hızlı gelişmesinin en önemli nedenlerinden biridir. Elektrik üretimi sırasında çevreye salınan karbon miktarı çok düşüktür, bu nedenle çevre kirliliği oluşturmaz ve küresel iklim değişikliğini olumsuz etkilemez. Fakat rüzgâr enerjisinde pazar büyüdükçe maliyet de artmaktadır (Adıyaman, 2012).

Hidroelektrik, potansiyel su enerjisini hidroelektrik kullanarak kinetik enerjiye dönüştürmek için kullanılan bir enerji türüdür. Dikey mesafeden su kütlesinin azaltılması sonucunda açığa çıkan enerji, türbinin dönmesini ve jeneratörler için elektrik üretmesini sağlar ve temiz, yenilenebilirlik açısından önemli bir enerji türüdür.

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde yüksek sıcaklıklarda su, gaz buharı veya sıcak kuru kayada bulunan yer kabuğunda depolanan ısı enerjisidir. Yeraltındaki gözenekli kaya kütlelerini besleyen kar, yağmur, deniz ve magmanın oluşturduğu rezervuarlar, tekrarlayan koşullar devam ettiği sürece yenilenebilir özelliklerini korur. Kısa süreli atmosfer koşullarından etkilenmezler. Yeraltı suyu elektrik üretmek ve evleri ısıtmak için kullanılır. Antik çağlarda çanak, çömlek, tekstil ve ev ısıtması yapmak için kullanılmıştır (Başar, 2011).

Hidrojen enerjisi yalnızca doğa koşullarında değil aynı zamanda fosil yakıtlar, su, oksijen, karbon ve diğer elementlerde de bulunur. Hidrojeni ayırmak için enerji olarak kullanılabilir, ancak bu izolasyon maliyetli bir işlemdir. Bu şartlar altında

hidrojen enerjisinin maliyeti diğer yakıtlara göre daha yüksektir ve enerjinin yaygınlaşması hidrojen üretim maliyetini azaltacak teknolojinin gelişmesine bağlıdır (Keskin, 2011).

Dalga enerjisi ise, rüzgârın deniz ve deniz yüzeyinden hareket etmesi meydana gelen dalgaların hareket etmesinden oluşan enerjidir. Dalgalar rüzgâr sürtünmesiyle meydana gelmekte ve su kütlelerinin yüzeyinde aşağı, yukarı şekilde rasgele hareketler oluşturmaktadır. Zengin okyanus kumsalları ve kıyı enerji santralleri dalga enerjisi üretir (Adıyaman, 2012).

Bitkiler güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürür. Bu dönüşümle üretilen enerjiye biyokütle enerjisi denir (Karabulut, 2000). Biyokütle enerjisi dünya çapında ısıtma, yakıt ve elektrik için kullanılmaktadır. Biyokütle, fosil yakıtlardan kaynaklanan kanserojen veya kükürt içermez. Bu nedenle, çevreye verilen zarar minimumdur (Yıldırım, 2003).

Son zamanlarda, yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle enerjisine olan ilgide önemli bir artış olmuştur (Boz, 2015; Christenson ve Sims, 2011). Bitkisel ve hayvansal kaynaklı tüm organik maddeler, hidrokarbonların ana bileşenleri olarak biyoyakıt olarak kullanılabilir. Kömür ve doğal gaz gibi yakıtların aksine, petrol türevleri sürdürülebilir bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyoyakıt gelişimi devam eden canlı organizmalardan üretilen bir enerji türüdür (Yaşar, 2009). Biyoyakıtlar, evsel ve endüstriyel atıklar, organik maddeler, atıklar, bitkisel ve hayvansal artıklar, orman ürünleri ve tarımsal atıklardan biyokimyasal ya da termokimyasal olarak elde edilebilir.

Biyoyakıtlar, Faz 1, Faz 2 ve Faz 3 olarak ifade edilen ham maddelerden çıkarılır (Rashid ve ark., 2014; Farooq ve ark., 2015). Pirinç, kepek, susam, ayçiçeği, kolza tohumu 1. faz hammaddeler, gıda atıkları ve hayvansal atıklar 2. faz hammaddelerdir. 3. faz hammaddeler ise mikroorganizmalardan oluşmaktadır (Rashid ve ark., 2014). Hâlihazırda, yağlı tohumlardan ve atık yağlardan elde edilen biyoyakıtlar, mevcut yakıt ihtiyaçlarını karşılamazken, algler önemli bir yakıt kaynağı olarak yakıt üretiminde gelecek vadeden bir unsur oluşturmaktadır (Christenson ve Sims, 2011; Chisti, 2007).

Algler basit mikroorganizmalardır, yapısındaki klorofil aracılığıyla inorganik maddeleri absorbe etmek için ışığı kullanan fotosentetik organizmalardır. İnorganik maddelerden organik madde üretirler (Pragya ve ark., 2013; Boz, 2015).

Dünyanın fotosentetik yapıda olan en eski mikroorganizmaları alglerdir. Hücrelerinin büyüklüklerine göre temel olarak iki gruba ayrılırlar: mikro algler ve makro algler. Algleri etkileyen en önemli parametrelerin listesi ışık yoğunluğu, sıcaklık, besin maddeleri, karışıma performansı ve pH' ı içerebilir. Optimal üretim için bu parametreler optimal seviyede olmalıdır. Bu öğeler yalnızca verim ve fotosentezi değil, ayrıca hem hücre işlevini hem de hücre yapısını etkilemektedir.

Algler sadece balık ve larva yetiştirmek için değil, aynı zamanda insan gıdası, mineral kaynağı, hayvan yemi, atıksu arıtımı, alkol, ilaç, kâğıt, boya, tekstil, deri ve kozmetik sanayinde hammadde olarak yaygın kullanılmaktadır. Bu nedenle alg üretim kültürü ile ilgili araştırmalar tüm hızıyla devam etmektedir. Algler, gezegenimizde CO₂/O₂'ye fotosentez yoluyla dönüştüren biyolojik bir üretici olarak bilinir. Ayrıca, su sistemlerinin birincil üreticileridir ve su sistemlerindeki en önemli ekolojik gruplardan biri olarak kabul edilirler. Mikroalg biyoteknolojisi ile ilgili son çalışmalar, tarım, gıda, yem, ilaç, kozmetik ve diyet ürünlerinin kullanımını genişletmeye odaklanmıştır. Algler bu alanlardaki katkılarından dolayı; biyoteknolojik olarak yosun üretimi önem kazanmıştır. (Gezici, 2012).

Azot; alg büyümesi, üremesi ve diğer fizyolojik fonksiyonlar için temel unsurlardan biridir (Zhu ve ark., 2013). Algler nitrojeni nitrat, nitrit, amonyum ve üre şeklinde kullanır (Rashid ve ark., 2014). Algler tarafından kullanılan nitrojen formu türden türe değişir, ancak çoğu nitrojen kaynağı olarak amonyağı tercih eder (Rashid ve ark., 2014). Algler genellikle amonyak>üre>nitrit>nitrat sırasına göre kullanılmaktadır (Zhu ve ark., 2013).

Fosfor, alglerin önemli bir bileşenidir (Ruiz-Martinez ve ark., 2014). Fosfolipidler, nükleik asitler veya nükleotidler gibi kök hücre bileşenlerinde bulunur (Ruiz-Martinez ve ark., 2014). Farklı fosfor formları, alglerdeki metabolik mekanizmaları değiştirir (Zhu ve ark., 2013). Örneğin, ortofosfat mikro algler tarafından kolayca emilir ve mikro alglerin büyümesine önemli ölçüde katkıda bulunur (Zhu ve ark., 2013). Fosfor, alglerin lipid üretimini etkiler. Yapılan çalışmalar fosfor kısıtlamasının mikroorganizmaların lipid üretimini artırdığını göstermiştir (Courchesne ve ark., 2009; Singh ve ark., 2015). Liang ve ark. (2013), *Chlorella sp.* düşük fosfor konsantrasyonları, alglerde lipid içeriğini ve lipid üretimini artırdığını tespit etmiştir.

Bu alışma, mikro alg türlerinden biri olan *Borodinelopsis texensis*' den biyoreaktör yardımıyla azot ve fosfor giderimi araştırılarak biyokütle, pigment ve kinetik parametreler incelenmiştir.



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

2.1. Enerji Kavramı

Enerji sözcüğü ilke kez Yunan dilinde kullanılmış ve dilimize ise energiea kelimesinden türetilerek gelmiştir. 1807'de Thomas Young, enerji terimini ilk kez bugünkü anlamıyla kullandı. Gustav-Gaspard Coriolis 1829'da hareket enerjisi; 1853'te William Rankin, potansiyel enerjiyi mevcut haliyle tanımlanmıştır.

Enerji; çoğunlukla iş yapabilme kabiliyeti şeklinde tanımlanmakta olup, her çeşit hareketin arkasındaki kuvvet olarak kabul edilmektedir. Enerji, çeşitli formlarda kendini gösterebilir ve çok farklı kaynaklardan katı, sıvı ve gaz formunda elde edilebilmektedir (Dresselhaus ve Thomas, 2001).

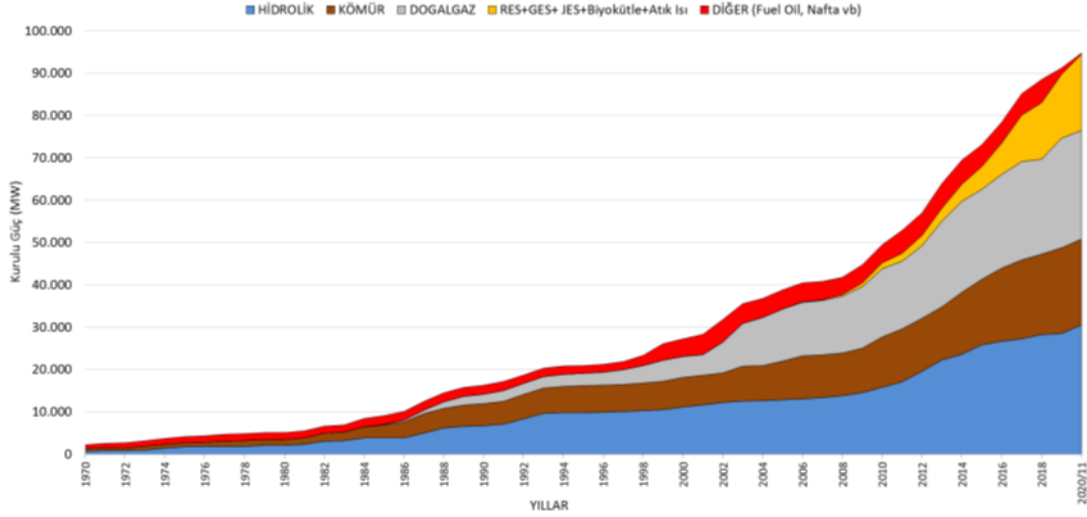
Enerji, sosyal kalkınmanın ve ekonomik kalkınmanın temel bileşenlerinden biridir. Nüfus, kentleşme, sanayileşme, teknolojik gelişme ve refah düzeyi arttıkça enerji tüketimi sürekli artmaktadır. Öte yandan fosil yakıtların ve kömürün 200 yıl, petrolün ise yarım asır kadar sonra tükenmiş olacağı ele alındığında, bunların ikamesi olarak alternatif enerji kaynaklarını ele almanın ne denli önemli olduğu anlaşılabilir. Bu durum, enerjinin daha mümbit koşullarda kullanılmasını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını gerektirmektedir (Akkoyunlu, 2006).

2.2. Türkiye' de Enerji

Ülkemizde enerji kaynaklarının tüketim sıralamasına bakıldığında ilk sıraları petrol alırken yenilenebilir enerji ise sonlarda yer almaktadır. Türkiye' nin enerji ihtiyacının büyük kısmı dışarıdan karşılanmakta ve gelecekte nüfus artışına ve teknolojinin gelişmesi ve buna bağlı olarak sanayileşmenin artması ile enerji talebinin daha fazla artabileceği öngörülmektedir. Bu öngörüye bakılarak enerji ihtiyacını temin etme ve kullanma noktasında ithalatı azaltma fikri ve alternatif enerji kaynakları arayışına gidilmiştir.

Ülkemizde Karadeniz ve Akdeniz'de yapılan sondaj çalışmalarının sonucunda yüksek miktarda petrol ve doğal gaz bulunduğu tespit edilmiş önümüzdeki birkaç yıl içerisinde kullanıma uygun hale getirileceği açıklanmıştır. Bu tür fosil kökenli yakıtların

ömürleri çok uzun olmadığından yenilenebilir enerji her zaman güçlü bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Şekil 2.1’de ülkemizde Kasım 2020 yılına ait kaynaklara göre elektrik enerjisi kurulu gücünün değişimi verilmiştir (TEİAŞ, 2020).



Şekil 2.1. Kasım 2020 yılına ait kaynaklara göre elektrik enerjisi kurulu gücünün değişimi, Kasım, 2020 (TEİAŞ, 2020).

2.3. Enerji Kaynakları

Günümüzde yaygın olarak kullanılan sınıflandırma, kullanım ömrü sona ermiş enerji kaynaklarını kullanımlarına ve yenilenebilir özelliklerine göre sınıflandırmaktır. Bu sınıflandırmaya göre yenilenebilir enerji kaynakları, doğal döngü boyunca değişmeden kalan, kullanılan ancak azalmayan ve tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Yenilenemez enerji kaynakları fosil ve birincil kaynaklar olarak ikiye ayrılır. Doğal gaz, petrol ve kömür fosil bazında yenilenemez enerji kaynakları olarak kabul edilirken, uranyum ve toryumda yenilenemeyen enerji kaynakları olarak kabul edilir. Su, jeotermal, rüzgâr, güneş, biyokütle, dalga akımları ve hidrojen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Koç ve Şenel, 2013; Şenel, 2012).

2.3.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji, enerji üretimi sırasında ortaya çıkan atığın çevreye herhangi bir zarar vermemesi anlamına gelmektedir. Bugüne kadar enerji üretmek için kullanılan

kaynaklar insan sağlığına ve çevreye oldukça zararlı olduğu görülmüstür. Bu nedenle çevreye ve insanlara zarar vermeyen, çevreye atık olarak salındığında kendini yenileyebilen enerji kaynakları arayışı önem kazanmaktadır. Enerji üretiminde çevreye zararlı kaynakların kullanımını devam ederken, bu kaynakların yerini alması için çalışılan diğer kaynaklar alternatif enerji kaynakları olarak anılmaktadır.

Yakın zamana kadar geleneksel enerji kaynaklarının (petrol, kömür, doğalgaz, su vb.) tükenmez olduğu düşünülüyordu. Ancak, 1974'te Roma'da bir grup uzman toplandı ve küresel bir enerji kıtlığı öngördü. Bu teoriye göre, insanlar yeni enerji kaynakları sağlamanın ve yeterli enerjiye sahip olmanın yollarını geliştirmeye başladılar.

Dünyamızın enerji kaynakları her yıl ortalama %4-5 oranında büyüyor. Öte yandan, bu talebi karşılamak için fosil yakıt rezervleri çok hızlı tükenmektedir. Mevcut enerji durumu göz önüne alındığında, en iyimser tahminler bile, 2030 yılına kadar petrol rezervlerinin ciddi şekilde tükeneceğini ve talebi karşılayamayacağını gösteriyor. Mevcut rezervler için kömürün ömrünün yaklaşık 100-120 yıl olduğu tahmin edilmektedir.

Enerji tüketiminin yüzde 95-96'sının fosil yakıtlardan geldiği tahmin edilmektedir. Fosil yakıtlar tükenme seviyesine gelince insanlar yeni yakıt arayışlarına girdi. Fosil yakıtlardan büyük miktarlarda kullanılan petrol bile bir gün tükenecek. Bir yanda elektrik üretimi için temel malzeme sıkıntısı, diğer yanda enerjiye olan talebin artması, insanları aşırı zorluklarla karşı karşıya bırakıyor. Genel bir kural olarak, yakıtın sonu olacaktır. Bu, petrolde olduğu gibi hem kömür hem de uranyum için düşünülebilir.

Dünyada yenilenemeyen kaynaklarla başlayan enerji üretimi günümüzde evre kirliliği ve sürekli enerji ihtiyacını karşılayamama, ayrıca fosil yakıtların tükenmesi gibi çeşitli nedenlerle toplumları yeni enerji kaynakları arayışına sokmuştur. Yenilenebilir enerjinin avantajları anlaşıldığıa dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik politikalar ön plana çıkmıştır. Yenilenebilir enerji için devletler çeşitli teşvik politikaları, yatırımlar yapmış ve evre kanununda düzenlemeye girmiştir.

Günümüzde yaşanan tüm gelişmelerde dünyanın enerji ihtiyacı artmakta ve enerjiye olan talep arttığıa bu ihtiyaçları karşılamak için kullanılan fosil kaynaklar hızlı tükenmektedir. Fosil yakıtların etkileri küresel ısınmaya, iklim değişikliğine ve

buzulların erimesine neden oluyor. Tüm bu sorunlar nedeniyle çevre dostu, temiz ve sürdürülebilir yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanırken, çevresel zararları fosil yakıtlara kıyasla neredeyse yok denecek kadar azdır, bu nedenle yeşil enerji olarak adlandırılır.

2.3.1.1. Güneş enerjisi

Yenilenebilir olan enerjinin en yaygın olanı ve kolay olanı güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden ısı ve elektrik üretmek için çeşitli şekillerde ve malzemelerde kullanılır. Güneş enerjisi teknolojisine yapılan ilk yatırımın maliyeti, önceki yıllardaki ucuz petrol ve doğal gazla karşılaştırılmayacak kadar yüksektir.

1970'lerin petrol krizi ve enerji sorunları, enerji sürdürülebilirliğinin önemini vurgularken, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmış ve araştırmalar yoğunlaşmıştır.

Güneş enerjisi teknolojisinin kullanımı, kullanım kolaylığı, yakıtsız, hızlı kurulum, uzun yıllar sorunsuz çalışması ve temiz enerji kaynağı nedeniyle sürekli artmaktadır.

Günümüzde güneş enerjisi, evleri ve işyerlerini ısıtma ve soğutma, yemek pişirme, sıcak su temini, tarım ürünlerinin kurutulması ve sera ısıtması dahil olmak üzere hemen hemen tüm endüstrilerde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi aynı zamanda ulaşım ve endüstride de kullanılmaktadır; Güneş sobalarında, güneş fırınlarında, deniz suyunda, güneş panellerinde, güneş havuzlarında, güneş pompalarında, alarm sistemlerinde, elektrik üretiminde, tuz üretiminde ve kontrollü su üretiminde kullanılmaktadır.

2.3.1.2. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr, yüksek ve alçak basınç arasında hareket eden bir hava akımı olup, hava devamlı olarak basıncın yüksek olduğu bölgeden alçak olduğu bölgeye doğru hareket eder. Yüksek ve alçak olan alanlar arasındaki basınç durumu ne denli değişirse ve fark ne denli büyürse hava akış hızının da o denli artması beklenir. Rüzgâr enerjisi

yenilenebilir enerji kaynakları aracında çevre dostu, ticari olarak uygulanabilir özelliktedir ve en gelişmiş olanı oluşturmaktadır.

Yerel bir kaynak olduğu için dış kaynaklara bağımlı değildir. Rüzgâr çiftlikleri diğer alanlara müdahale etmediğinden, alan tarım ve hayvancılık gibi çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Rüzgâr enerjisi kullanmanın dezavantajları şu şekilde sınıflandırılabilir: Rüzgârın ne zaman eseceği net değildir, bu nedenle istediğiniz enerjiyi herhangi bir zamanda elde etmek zordur. Bu, arz-talep dengesizliğine yol açabilir. Görsel kirliliğe neden olmanın yanı sıra, rüzgâr çiftlikleri radyo ve televizyon alıcıları, gürültü, radar paraziti ve kuş ölümleri üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir. Radar ekranındaki bir uçağa benziyor gibi görünüyor ve alarm zilleri bir tehdit oluşturuyor çünkü uçak yakında fark edilmeyebilir. Üretilen elektriğin taşınması sorunludur çünkü hatlar türbin kurulu parçalarının ulusal iletim hatlarını toplamak yerine dağıtmak üzere tasarlandıkları için zayıftır (Bayra, 1999).

2.3.1.3. Hidroelektrik enerjisi

Hidroelektrik, enerji olarak bilinen enerji türü dikey mesafeden su kütlesinin hareketi sonucunda açığa çıkan enerji, türbinin dönmesini ve jeneratörler için elektrik üretmesini sağlar.

Enerji santralleri, nehirlerin içme, kullanma ve sanayi suyu sağlamasını engelleyen barajlar ve göller üzerine kuruludur (Adıyaman, 2012).

Uluslararası Hidroelektrik Ajansı (IHA) 2017 Hidroelektrik Performans Raporu; Dünyanın hidroelektrik sektöründe kurulu gücü geçen yıl 31.500 megawatt artarak 1.246.000 megawatt' a yükseldi. Gelişmiş ülkelerde artan hidroelektrik kapasitesi, artan güvenilir ve sürdürülebilir elektrik talebi ve gelişmiş çevre bilinci, çevre dostu kaynakların tercih edilmesinde etkili olmuştur (Şekil 2.2).



Şekil 2.3. 2017 Yılı Hidroelektrik Toplam Kurulu Gücü (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

2.3.1.4. Jeotermik enerjisi

Jeotermal enerji, yerkürenin çeşitli derinliklerinde şiddetli sıcaklıklarda su, gaz buharı veya sıcak kuru kayada bulunan yer kabuğunda depolanan termal enerjidir. Yeraltındaki gözenekli kaya kütlelerini besleyen kar, yağmur, deniz ve magmanın oluşturduğu rezervuarlar, yeniden püskürtme koşulları devam ettiği sürece yenilenebilir özelliklerini korur.

Ülkemiz topraklarında jeotermal kaynaklara çok büyük bir kısmında rastlanmaktadır. Bölgesel olarak ise en yoğun Ege ve Güney Marmara'da jeotermal enerji potansiyeli olduğu görülmektedir. Türkiye jeotermal enerji bakımından oldukça zengin bir ülkedir.

Seraları ve binaları ısıtmak, gıda kurutmak, kâğıt ve tekstil ürünleri üretmek, ahşap, deri ve soğutmada kimyasallar üretmek için kullanılır. Jeotermal kaynaklar dünyanın birçok ülkesinde kullanılabilir. Jeotermal enerji kullanımı, fosil yakıtların kullanımının azaltılması ve seraların etkileri ve kullanımlarından kaynaklanan asit yağmurları gibi çevresel sorunların önlenmesi için önemlidir. Çevreye zarar vermemek için jeotermal enerji uygun şekilde kullanılmalıdır (Başar, 2011).

2.3.1.5. Hidrojen enerjisi

Hidrojen sadece doğada değil, aynı zamanda fosil yakıtlar, su, oksijen, karbon ve diğer elementlerde de bulunur. Ancak hidrojeni açığa çıkarıp enerji elde etmek oldukça maliyetli bir işlemdir.

Fazla elektriğin hidrojen olarak depolanması bir alternatif olabilir, ancak depolanan enerjinin yaygın kullanımı yakıt hücresi teknolojisinin gelişimine bağlı olacaktır. Fosil yakıtların kullanımının çevreye olumsuz etkisi olacağı ve bir tüketim kaynağı olacağı için, hidrojen enerjisi gelecekte en iyi seçenek olacaktır. Hidrojen enerjisinin maliyeti diğer yakıtlardan daha pahalıdır ve enerjinin yaygın olarak kullanımı, hidrojen üretiminin maliyetini düşürebilmek teknolojisinin geliştirilmesine bağlıdır (Keskin, 2011).

2.3.1.6. Dalga enerjisi

Dalga enerjisi, rüzgârın denizde ve deniz yüzeyinde hareket etmesiyle oluşan dalgaların hareketinden elde edilen enerjidir. Dalga enerjisi açısından, su türbinleri dalgaları döndürerek elektrik üretir. Dalga enerjisi tükenmez, çevreye zarar vermeyen bir enerji kaynağıdır. Elektrik üretimi mümkün olduğu için pillerin şarj edilmesi, hidrojen üretimi gibi depolama işlemleri yapılarak bu enerjinin sürekli olarak kullanılması mümkündür (Adıyaman, 2012).

Dalga enerjisinin avantajlarını maddeler halinde belirtecek olursak;

- Dünya ile ay arasında yerçekimi olduğu sürece, rüzgâr estiği sürece dalgalar gelgit enerjisi kaynağı olur.
- Yakıt maliyeti yoktur ve uzun ömürlüdürler. Yatırımın ilk maliyeti düşünülür ise, başka önemli bir maliyet yoktur.
- Deniz üzerine kuruludur, tarım yapılan alanlara zarar vermemektedir

Olumsuz etkisi ise yatırım maliyeti diğer kaynaklara göre daha yüksektir (Adıyaman, 2012).

2.3.1.7. Biyokütle enerjisi

Bitkiler güneş enerjisini kullanarak fotosentez yoluyla ürettikleri kimyasal enerjiye biyokütle enerjisi denir (Karabulut, 2000). Biyokütle, bitki ve hayvanlardan elde edilen bir yakıttır. Biyokütle enerjisi iki başlık altında ele alınmaktadır. Bunlardan ilki olan klasik biyokütle enerjisi, yakıt olarak kullanılmak için ormanlardan çıkarılmakta ve hayvan ve bitki artıklarının ormanlardan toplanmasına dayanmaktadır. Bu enerji, doğrudan yakma teknikleri ile elde edilen enerjidir ve diğer enerji kaynaklarının nadir olduğu yerlerde ileri seviyelerde kullanılabilir. Bu tür biyokütle genellikle yemek pişirmek ve ısıtmak için kullanılmaktadır. Modern biyokütle kaynakları ise kereste, orman endüstrisi atıkları, hayvan ve belediye atıkları ve enerji ormancılığıdır. Modern biyokütle kaynakları piyasa işlemleri ile belirlenmekte ve üretim, ulaşım ve ticarete kullanılmaktadır (Akgül, 2003).

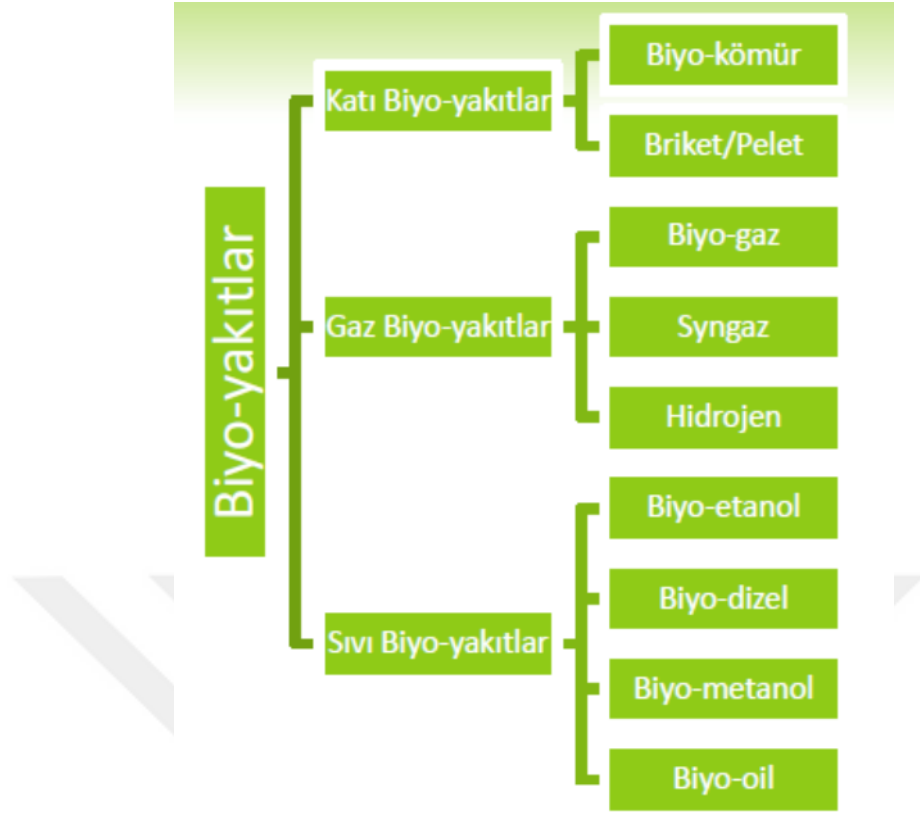
Biyokütle, sosyo-ekonomik kalkınmayı sağlamak, çevre dostu olmak, elektrik üretmek ve otomotiv yakıtı kaynağı olmak için her yerde yetiştirilebilen izlemsel bir enerji kaynağıdır. Biyokütle doğrudan yakılır veya enerji teknolojisinde kullanılır ve birtakım işlemler sonucunda yakıtın kalitesi iyileştirilir ve diğer biyoyakıtlar elde edilir. Biyokütle üretimi, ulusal kaynakları değerlendirebilir ve enerji ithalatını azaltabilir (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004). Gelişimini tamamlamış veya gelişmekte olan devletlerde biyokütle enerji tüketimi hızla artmaktadır. Avusturya, biyokütle tüketimini son 15 yılda dört katına çıkardı ve birincil enerjisinin yüzde 13'ünü odundan sağladı. Danimarka, 1994'ten beri elektriğinin %7'sini biyokütle ile sağlıyor. Biyokütle enerjisinin payı Finlandiya'nın enerji tüketiminde %19'dur. Çin'de neredeyse 5.000.0000 birey senede 1,2 milyar m³ biyogaz kullanıyor, daha fazla yemek pişiriyor ve evlerini aydınlatıyor. Hindistan' da biyokütle enerjisi şeker kamışından elde edilir. Şu anda Hindistan'da farklı kapasitelerde 1 milyondan çok biyogaz tesisi vardır (Akgül, 2003). Bugün Türkiye tarımsal atıklara fazla önem vermiyor. Bu atıkların yüksek nakliye ve işçilik maliyetleri, enerji kaynağı olarak değerlendirilmelerini zorlaştırmaktadır. Modern biyokütle enerjisinin Türkiye' de tanıtılması çevre kirliliği ve ülke ekonomisi için çok yararlıdır. Ülkelerin birçoğu tarım ürünleri dışında ekosistemlere uygun enerji elde etmektedir (Yıldırım, 2003). Hidroelektrikten sonra Amerika Birleşik Devletlerinde ki en büyük ikinci yenilenebilir enerji kaynağı biyokütle

enerjisidir. Enerji gereksiniminin %3'ünü bu enerji sağlar. Küresel açıdan bu enerji tüketiminin payı yaklaşık %14'tür. Yakın tarihlerdeki verilere göre ise etanol İsveç, Avusturya, Meksika, Kore ve Fransa yakıt olarak kullanılmaktadır. İsveç enerjisinin yüzde 16'sını biyokütleden alıyor. Tüm enerji kaynakları arasında Avusturya'da biyokütle kaynakların %13'ünü oluşturmaktadır (Chengel, 2003). Brezilya'da şeker kamışından elde edilen etil alkol, otomobillerde kullanılan yakıtın yüzde 50' sini sağlıyor. Ülkede yaklaşık beş milyon araba 1989 yılından bu yana şeker pancarı ve diğer organik ürünlerden üretilen saf biyoetanolü tercih ederken, arabaların birçoğu etil alkol ve benzin karışımı kullanmaktadır. 1996 yılına kadar Brezilya hükümeti yirmi yıl boyunca çeşitli miktarlarda etil alkol üretimini desteklemiştir (Akgül, 2003; Yıldırım, 2003; Parfit, 2005). Güneş enerjisi gibi toprak da biyokütle enerjisinde sınırlayıcı bir faktördür. Dünyadaki tüm arabalar biyoyakıtlarla çalışırsa, tarım için kullanılan arazi miktarının iki katına çıkacağı düşünülmektedir (Parfit, 2005). Yalnızca temiz bir enerji kaynağı olması ile değil aynı zamanda toprağı erozyondan koruyarak çölleşmeyi de önleyen biyokütle enerjisine tarım dışı araziler de dahil edilebilmektedir (Kadioğlu, 2005).

2.4. Biyoyakıtlar

Biyoyakıtlar son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Kömür ve doğal gaz gibi yakıtların aksine, petrol türevleri sürdürülebilir bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyoyakıt gelişimi devam eden canlı organizmalardan ve atıklarından üretilen bir enerji türüdür (Yaşar, 2009). Biyoyakıtlar, evsel ve endüstriyel atıklar, organik maddeler, atıklar, bitkisel ve hayvansal artıklar, orman ürünleri ve tarımsal atıklardan biyokimyasal ya da termokimyasal olarak elde edilebilir.

Biyoyakıtlar sıvı, gaz ya da katı olabilir. Katı biyoyakıtlar arasında briketler, peletler, biyo kömür bulunur. Gazlı biyoyakıtlar; Sentez gazı, biyogaz ve biyohidrojen den oluşur. Sıvı biyoyakıtlar arasında biyodizel, biyoetanol, biyometanol, biyo dizel ve biyo yağ bulunur. Biyoyakıtların şematik olarak sınıflandırılması Şekil 2.3'de gösterilmektedir (Adıgüzel, 2011).



Şekil 2.4. Biyoyakıtların şematik olarak sınıflandırılması (Adıgüzel, 2011).

Biyoyakıt hammaddeleri 1. 2. 3. nesil olarak üç grup halinde incelenebilir. 1. nesil; arpa, mısır, yer fıstığı, soya gibi bitkisel ürünler, 2. nesil; hayvansal ve evsel atıklar ve 3. nesil için ise mikroorganizmalar mikroalgler tarafından üretilen biyokütle olmak üzere sıralanabilir (Rashid ve ark., 2014).

2.5. Mikroalgler

2.5.1. Mikroalglerin tanımlanması ve önemleri

Dünyanın fotosentetik yapıda olan en eski mikroorganizmaları alglerdir. Hücrelerinin büyüklüklerine göre temel olarak iki gruba ayrılırlar: Mikro algler ve makro algler. Genel olarak sınıflandırmaları renklerine göre yapılmaktadır:

- Kahverengi algler- Phaeophyceae
- Mavi yeşil algler- Cyanophyceae

- Kırmızı renkli algler- Rhodophyceae
- Yeşil renkli algler- Chlorophyceae

Yeşil algler, 8.000 tür ile en popüler ve en büyük alglerden biridir. Chlorella tek bir hücreden oluşur ve ticarete yaygın olarak kullanılır ve bu gruba aittir. Koloniler kurarak yaşarlar. Boyutlar 3 ila 10 mikron ila 70 cm arasında değişebilir. Yeşil, kırmızı, mavi-yeşil, kahverengi algler Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Kahverengi, mavi-yeşil, kırmızı ve yeşil algler.

Algler, ökaryotik (çok hücreli) ya da prokaryotik (tek hücreli) olabilen ve klorofil içeren basit organizmalardır. Algler soylarını devam ettirebilmek için üremeye ihtiyaç duymaktadırlar. Alglerin üç çeşit üreme yöntemi vardır, en yaygın kullandıkları yöntem vejetatif üreme yöntemidir. Tatlı su ve deniz kaynakları gibi çok sayıdaki çevresel ortamdan elde edilebilen ve enerjiye dönüştürülen inorganik karbonun ana üreticileridir. Yüksek büyüme oranları (iki katına çıkma süresi = 24 saat) ve yüksek yağ içeriği ile yaklaşık 40.000 tür tanımlanabilir. Algler için en yaygın stokiyometrik formül $C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P$ ' dir ve optimum büyümeyi sağlamak için bu elementlerin ortamda belirli oranlarda bulunması gerekir. Alg yetiştiriciliği için karbon kaynakları (karbondioksit, bikarbonat vb.), azot kaynakları (üre, nitrit, azot gazı vb.), kükürt kaynakları (sülfatlar gibi) ve fosfor kaynakları (hidrojen fosfat, fosfat vb.) inorganik tuzlar (Örn. K, Ca, Mg vb.) iz elementlere (Fe, Zn, Mn, Pb vb.), vitaminlere (B, C, E

vb.) ihtiyaç duyar (Richmond, 2004; Song ve ark., 2011; Kiepper, 2013; Gökpinar ve ark., 2013; Brennan ve Owende, 2010; Christenson ve Sims, 2011; Elçik ve Çakmakçı, 2017).

2.5.2. Mikroalg üretiminde etkili olan faktörler

Mikroglar çevreleriyle yakından ilişkilidir. Algleri etkileyen en önemli parametreler listesine ışık, sıcaklık, besin maddeleri, karıştırma performansı ve pH dâhil edilebilir. Optimal üretim için bu parametreler optimal seviyede olmalıdır. Bu özellikler sadece fotosentezi ve verimliliği değil, aynı zamanda hücre fonksiyonunu ve hücre yapısını da etkiler.

2.5.2.1. Işık yoğunluğu

Alg hücrelerinin miktarı, proteini, yağı ve karbonhidrat içeriği ve kalitesi büyüme koşullarına sıcaklık, ışık, yoğunluk farklıdır. Kapalı ve açık mikroalg kültürlerinin büyümesini etkileyen önemli faktörler arasında ışık yoğunluğu ve ışık kaynakları yer almaktadır (Renaud ve ark., 2002; Converti ve ark., 2009). Işık faktörü fotosentezde önemli bir rol oynar. Aydınlatma tasarımının aydınlık-karanlık döngüsü tasarımı üzerine yoğunlaştırılmıştır. Algler genellikle ışığı 400-700 nm dalga boyunda kullanarak fotosentez yapar. Algler tarafından absorbe edilen dalga boyları türden türe değişiklik gösterir (Masojidek ve ark., 2004; Kim ve ark., 2013). Alglerin büyümesinden en iyi sonucu alabilmek için ışık kullanımının verimliliğinin her koşulda optimum seviyede tutulması gerekir. Düşük ışık yoğunluğunda algler daha yavaş büyür. Fotosentez aktivitesi, ışığın eşğine kadar olan yoğunluğu ile artar. Işık şiddeti eşğin üzerine çıktığında hücre kloroplastındaki ışık reseptörüne zarar verir ve fotoinhibisyon adı verilen olay gerçekleşir ve fotosentez hızını düşürür (Gross, 2013; Lee, 1999; Ren, 2014). Mikroalg üretimini ve yağ/lipid oranlarını artırmak için farklı aydınlatma stratejilerine sahip farklı biyoreaktör modelleri geliştirilmiştir (Chen ve ark., 2011). Fotobiyoreaktörün verimini artırmak ve yüksek düzeyde biyolojik kütle üretebilmek için karanlık/ışık döngüsü modelinde iyi bir aydınlatma modeli (spesifik ışık şiddeti) kullanılmalıdır (Ren, 2014; Al-Qasbi ve ark., 2012). Işık modu; karıştırma, hücre

pigmentasyonu, hücre yoğunluğu, boyut, reaktör tasarımı ve ışık yoğunluğu gibi çok sayıda etmeden etkilenmektedir (Eriksen, 2008). Dış fotoreaktörler de ışık rejimini etkiler. Coğrafi konum, hava koşulları ve saat dilimi (açık/koyu) önemlidir (Eriksen, 2008).

2.5.2.2. Sıcaklık

Mikroorganizmalarda olduğu gibi, optimum sıcaklığa ulaşılan kadar alglerin büyüme hızı önemli ölçüde artar. Optimum sıcaklığın üzerindeki sıcaklıktaki bir artış, büyüme oranını azaltır. Bu etken, özellikle sınırlı güneş radyasyonu ve sıcaklık kontrolü olan alanlarda önemlidir. Bu doğrultuda alg türlerinin çevre şartlarına uygun seçilmesi gerekmektedir (Gross, 2013). Bazı çalışmalarda yüksek büyüme sıcaklıkları protein içeriğinde azalmaya, lipid ve karbonhidrat içeriğinde artışa neden olurken, bazı çalışmalarda yüksek büyüme protein içeriğinde artışa ve karbonhidrat ve lipid içeriğinde azalmaya neden olmaktadır (Gross, 2013). Bu görünüşte çelişkili fark, sıcaklığın türlere bağlı olarak alglerin kimyasal bileşimi üzerindeki etkisiyle açıklanabilir.

2.5.2.3. Besin maddesi

Yosun yetiştirmek ve hasat etmek çok fazla enerji ve para gerektirir. Özellikle alg biyoyakıtlarının elde edilmesi için halihazırda kullanılan yetiştirme ve işleme metotları sürdürülebilir ve verimli değildir. Biyokütle üretimi nedeniyle alg kullanımında; uygun besin açısından zengin bir büyüme ortamı gereklidir. Mevcut yöntemler, büyük miktarlarda besin kullanımını gerektirir. Bu durumda, gerekli miktarda besin sağlamanın artan maliyetinin bir sonucu olarak çevresel fayda sorunu ortaya çıkmaktadır. Yosunları çoğaltmak için genellikle ışığa (enerji), bir karbon kaynağına (ototrofik metabolik CO₂), su gibi bir büyüme ortamına ve fosfor ve azot gibi besinlere gereksinim duyar. Alg türlerinden bazıları organik atıklar olan endüstriyel ve evsel atık suları karbon kaynağı olarak kullanılabilir (Blair ve ark., 2014). Çoğu kültürde gerekli olan makro besinler olan azot fosfora 16N/1P oranında olmalıdır. Alg kültürünü geliştirmede ihtiyaç duyulan besin materyallerinin optimize edilmesi, yakıt üretimindeki maliyetleri azaltarak ekonomik faydalar sağlar (Gross, 2013; Blair ve ark., 2014).

2.5.2.4. pH

Fotototrofik büyüme sırasında, algler oksijen (O₂) üretmek için karbon dioksit (CO₂) kullanır. Kapalı bir sistemde yüksek O₂ konsantrasyonlarına ulaşıldığında, algler bu durumu olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle ortamdaki yüksek O₂ seviyeleri, sisteme CO₂ ilavesi ile dengelenir. Yüksek O₂/CO₂ oranı, alglerin büyümesini ve üremesini olumsuz etkiler. CO₂, kültür sistemlerinde pH'ın kontrolünde önemli bir faktördür (Gross, 2013; Kliphuis ve ark., 2011).

Alglerin optimum verim sağlayacağı pH değeri 7 ila 9 arasındadır. pH tamponlama işlemi için genellikle karbondioksit, bikarbonat, karbonat kullanılmaktadır.

2.5.2.5. Karıştırma

Karıştırma performansı, alg kültürünün büyümesine önemli ölçüde katkıda bulunur. Yoğun karıştırma, alg hücrelerini askıya alır, spesifik olarak fotobiyoreaktörlerde O₂ birikmesini engellemek için sıvı-gaz kütle aktarımını iyileştirir, besinlerin dağıtımını eşit yapar ve termal tabakalaşmayı yok eder. Fakat yosun hücrelerine hasar verebileceğinden aşırı karıştırmadan kaçınılmalıdır. Karıştırma sonucunda ortaya çıkan diğer bir etki de karanlık bölgedeki alg hücrelerinin aydınlatma sırasında parlak bölgeye hareket etmesidir (Huang ve ark., 2014). Reaktördeki homojen farklılıklar ve karıştırma özellikleri nedeniyle algler belirli bir zaman/karanlık döngüsüne girer ve ışığın süresi biraz değişir. Bu aydınlık/karanlık döngüleri, üretkenliği ve biyokütle çıktısını belirler (Barbosa ve ark., 2003).

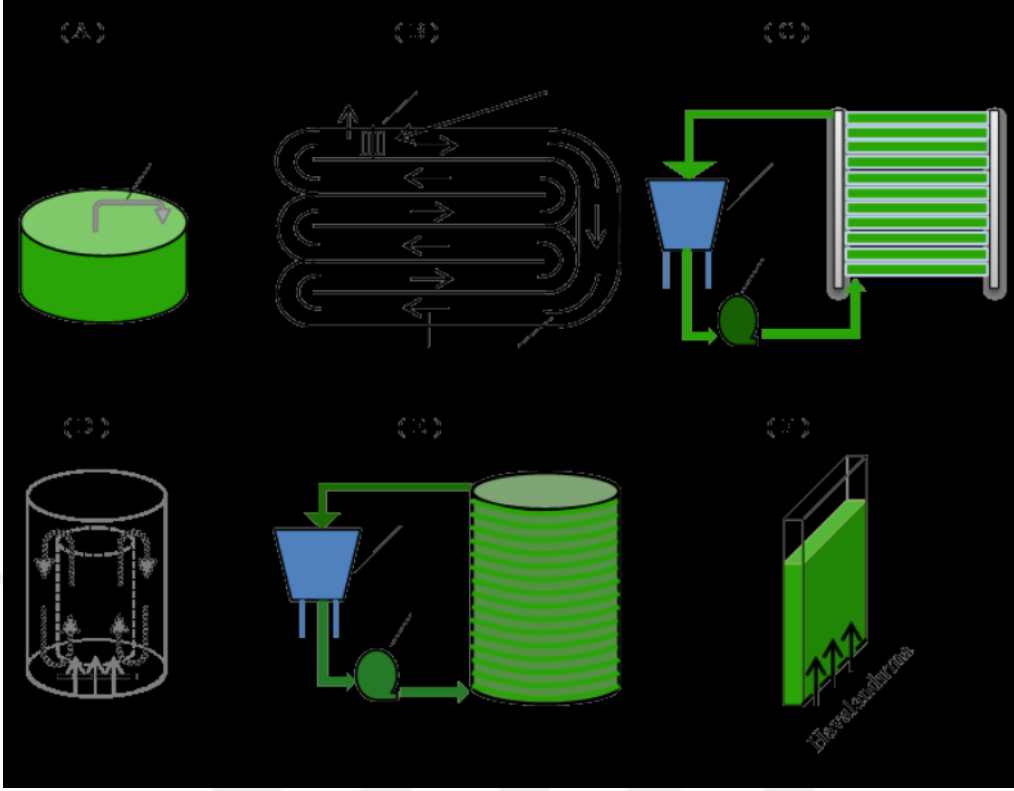
2.6. Mikroalg Yetiştirilmesi İçin Kullanılan Sistemler

Algler, sucul ortamlarda yetişen ve çok ya da bir hücreli olabilen, ototrofik ve/veya heterotrofik fotosentetik basit organizmalardır. Ökaryotik ya da prokaryotik yapılarıdaki mikroorganizmalar basit çok hücreli ya da bir hücreli yapılarından dolayı hızla çoğalır ve olumsuz koşullarda da hayatta kalır (Uigu, 2002).

Algerin elli binden fazla çeşidi olduğu düşünülmüştür. Bunlardan yalnız yaklaşık otuz bin tür tespit edilmiştir. Algler birçok bileşen içerir: Lipidler (%4-55),

karbonhidratlar (%6-57) ve proteinler (%10-63). Bazı alglerin (kuru ağırlıkça) %70'den fazla lipid içerdiği bildirilmiştir. Alglerin kimyasal bileşimi genellikle türlere ve kültürel koşullara bağlı olarak değişir (Sing ve ark., 2011).

Heterotrofik algler, karanlıkta bir karbon kaynağı olarak organik karbon kullanır. Miksotrofik algler, karbon kaynağı olarak organik ve inorganik karbonu kullanan ototrofik ve heterotrofik bir besin kombinasyonunu temsil eder. Laktoz, sakaroz, fruktoz, mannoz, galaktoz, miksotrofik ve heterotrofik büyüme için organik karbon kaynakları şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hücre üretmek için organik karbondan üretilen enerji kullanılırken, ışık enerjisinden dönüşümle elde edilen kimyasal enerji depolanır (Mata ve ark., 2010). Alglerin büyüdüğü habitatlar farklıdır. Alg yetiştirme sistemleri, kapalı fotobiyoreaktörler ya da açık havuzlar olarak ele alınabilir (Chen ve ark., 2011; Wolkers ve ark., 2011). Açık havuzlar düşük maliyeti ve basitliği nedeniyle daha çok kullanılmaktadır. Fakat açık sistemlerde verimin düşmesi ve büyümenin istenmeyen oranda olması gibi faktörler alg yetiştiriciliği için dezavantaj oluşturmaktadır (Gross, 2013). Alg büyümesi için gereken kimyasal ve fiziksel etkenler kapalı fotobiyoreaktörlerde izlenebilir. Buna ek olarak kapalı sistem istenmeyen oluşumları önleme, stabil kültür koşulları oluşturma, hidrodinamik, sıcaklığı sabit tutma ve ışık yayılımının verimliliğini düzenleme gibi avantajlara sahiptir. Algler açık havada, havuzlarda, tanklarda ve havuzlarda yetiştirilebilir. Kapalı üretimi gibi küçük ölçekli sistemlerde; büyük torba sistemleri, boru şeklindeki fotobiyoreaktörler ve düz plaka fotobiyoreaktörler gibi büyük ölçekli sistemlerde yetişir (Nwoba ve ark., 2016; Dębowski ve ark., 2012). Tipik mikroalg üretim sistemlerinin şematik sistemleri Şekil 2.5'de gösterilmiştir (Elçik ve Çakmakçı, 2017).



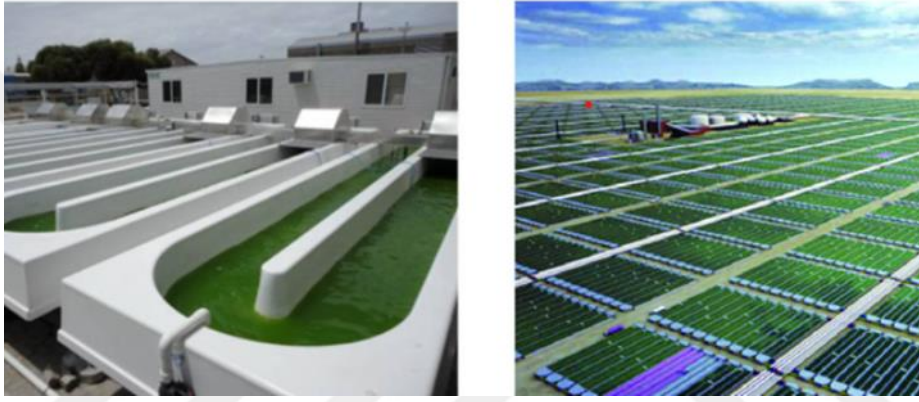
Şekil 2.6. Mikroalg üretim sistemleri A) Dairesel karıştırmalı havuz B) Yarış pisti tipi havuz C) Yatay tübüler fotobiyoreaktör D) Hava kaldırmalı reaktör E) Sarmal tübüler fotobiyoreaktör F) Düz plaka fotobiyoreaktör (Elçik ve Çakmakçı, 2017).

2.6.1. Açık havuzlar

Algler fototrofik büyüme sergilerken güneş enerjisi soğurur ve su ve hava besinlerinden CO_2 'i emer. Alg performansını etkileyen önemli faktörler arasında reaktör seçimi bulunmaktadır. Açık havuzlar, üretim faaliyetleri için kullanılır ve düşük yatırım maliyetleri ve sermaye nedeniyle geniş bir alan gerektirir. Mevsimsel ve günlük dalgalanmalar sebebiyle sıcaklık kontrolü zor olmaktadır. Zayıf ışık, sıcaklık dalgalanmaları, çözülmüş O_2 konsantrasyonu ve pH'nın etkisi gibi faktörler alg büyümesini kısıtlayabilir. Verimsiz biyokütle (0.1-1.5 g / l), operasyonel dezavantajlar ve istenmeyen elementlerin oluşumu sistem kontrolünü zorlaştırır. Açık havuzlar çeşitli şekillerde kullanılabilir. Bu alg havuzları, büyük dairesel ya da sığ havuzlardır. Merkezi shaftın çevresinde dönüş yapan dairesel gölet, en eski alg tankıdır. Daha büyük mikserler yapmak zor olduğu için bu sistemler 10.000 m²'lik bir alanı kaplayacak şekilde tasarlanmıştır. Yosun havuzları, yosun üretmenin en yaygın yoludur.

Bu sistemler 0,2-0,5 m aralıklarla kapalı döngüler ve oval döner kanallar şeklinde tasarlanır ve tekdüzeliği sağlamak için tekerleklerle karıştırılır. Alg havuzları beton, cam veya membrandan yapılabilir. Şekil 2.6'da mikroalg üretiminde kullanılan açık kültür sistemi gösterilmiştir (Gezici, 2012).

Açık sistemlerde yetişen en yaygın algler *Spirulina* ve *Chlorella*' dır. Açık bir sistemde mikroalg yetiştiriciliği düşünülürken mikrobiyal biyoloji, arazi maliyetleri, yerel iklim şartları, sistemdeki besinler, su ve nihai ürünler gibi birçok parametrenin dikkate alınması gerekir (Costa ve Morais, 2014).



Şekil 2.7. Mikroalg üretiminde açık kültür sistemleri (Gezici, 2012).

2.6.2. Kapalı sistemler (fotobiyoreaktörler)

Alglerin kapalı kültür sisteminde yetiştirilmesi açık sisteme göre bazı avantajları vardır. Böyle bir sistem, güneş ışığının geniş bir yüzeye dağılmasına izin verir. Bu biçimde hücre yoğunluğunun artışı aydınlatmanın verimli kullanımı ile mümkün olur (Van der Hulst, 2012). Kapalı sistem kullanılmaktan kaçınılmasının en önemli nedeni yüksek yatırım maliyetidir. Fotobiyoreaktörler, biyokütlenin verimini artırır, kirliliği azaltır, güneş ışığından daha iyi faydalanır, alg yetiştiriciliği sırasında çevre koşullarını açık sistemlere göre kontrol eder, daha az yer gereksinimi, düşük su ve karbondioksit kayıpları ile hemen hemen tüm mikroalglerin yetiştirilmesine olanak sağlar. (Naz ve Gökçek, 2004). Kapalı sistemlerde yaygın olarak boru şeklindeki ve plaka şeklindeki fotobiyoreaktörler kullanılmaktadır. Torba şeklindeki biyoreaktörler de bulunmaktadır. Fotobiyoreaktörler oluşturmak için bazı plastik olan şeffaf kap ya da plastikler kullanılır. Yıllarca yapılan çalışmalar sonucunda, düz plaka, dikey ve tüp kolon

fotobiyoreaktörleri gibi verimi yüksek fotobiyoreaktörlerle sonuçlandığı bilinmektedir (Kükdamar ve Tokuç, 2015). Düz panel fotobiyoreaktörler, yüksek ısı iletkenliği, düşük enerji tüketimi, verimli karıştırma, genişletilmesi kolay, nakliye kolaylığı ve yatırım maliyetinin düşüklüğü nedeniyle diğer sistemlere göre avantajlara sahiptir (Yang ve ark., 2016). İki tip düz plaka fotobiyoreaktör de mevcuttur (Pulz, 1994). Alg üretimi için yatay plakalar, yüksek stabilite sağladığı ve alglerin büyümesini kolaylaştırdığı için tercih edilmektedir (Su ve ark., 2010). Tüp fotobiyoreaktörleri diğer açık sistemlerle karşılaştırırken; yüksek yatırım maliyetine rağmen, kültürel koşulların daha iyi kontrolünü sağlar, kirliliği azaltır ve dış ortamda büyüyen algler için yüksek kullanım verimliliği sağlar (San Pedro ve ark., 2014; De Andrade ve ark., 2016). Bu sistemler, düz yatay şeffaf boruların bir sıra halinde yerleştirilmesi ve dikey sistemin dikey olarak yerleştirilmesiyle oluşturulan yatay sistemlere ayrılmaktadır. Borular genellikle 0,1 m çapında cam veya plastikten yapılır (Slegers ve ark., 2012). Dikey tüp şeklindeki fotobiyoreaktörler, daha iyi karıştırma verimliliği ve daha uzun CO₂ tutma süresi nedeniyle mikroototrofik fotototrofik büyüme için daha uygundur (Chen ve ark., 2016). Fotobiyoreaktörler için birçok seçenek arasında dikey köpük kolonlu fotobiyoreaktörler basit tasarım, kolay kullanım ve enerji tasarrufu avantajlarına sahiptir. Ayrıca, alg yetiştirmek için kullanılan bu tür fotobiyoreaktörler de ekonomik olarak uygundur. Alg yetiştirmek için kullanılan dikey kolonlu fotobiyoreaktörler, sınırlı ışık kullanımı dezavantajına sahiptir. Dikey kolonlu fotobiyoreaktörlerde karakteristik olarak gaz transfer hacmi katsayısı oldukça yüksektir. Bu sebeple alttan gelen bir gaz baloncuğu oluşur. Bunlar yalnızca CO₂'nin verimli şekilde harcanmasına değil, ayrıca optimum O₂ uzaklaştırılmasına da izin verir (Seo ve ark., 2012; Fernandes ve ark., 2014). Plastik torba tipi fotobiyoreaktörler, düşük maliyetleri nedeniyle son yıllarda ticari alg üretmek için kullanılmaktadır. Bu tip torba, hücre verimliliğini artırmak için havalandırılır. Araştırmacıların çoğu bunu tercih etse de, çok sayıda dezavantajı da bulunmaktadır. Işık kısıtlaması ve yerçekimi kaynaklı torbalardan kaynaklanan kayıplar yaygındır. İkincisi, yetersiz karıştırma bazı bölgelerde hücre büyümesini engelleyebilir. Uzun vadede ekonomik değildir ve poşetler bozulduğu için bozulan plastik poşetleri atmak da bir problemdir (Huang ve ark., 2014). Mikroalg üretiminde kullanılan dış mekân fotobiyoreaktör tasarımı Şekil 2.7'de gösterilmiştir (Gezici, 2012).



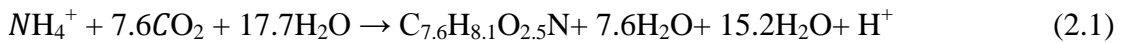
Şekil 2.8. Fotobiyoreaktörlerin dış mekân tasarımları (Geici, 2012).

2.7. Mikroalglerde Azot ve Fosfor Giderimi

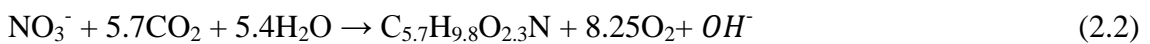
2.7.1. Azot giderim

Azot, mikroalg büyümesi, üremesi ve diğer fizyolojik fonksiyonlar için gerekli olan elementlerden biridir (Zhu ve ark., 2013). Algler nitrojeni nitrat, nitrit, amonyum ve üre şeklinde kullanır (Rashid ve ark., 2014). Algler tarafından kullanılan nitrojen formu türden türe değişir, ancak çoğu nitrojen kaynağı olarak amonyağı tercih eder (Rashid ve ark., 2014). Algler genellikle amonyak>üre>nitrit>nitrat sırasına göre kullanılır. (Zhu ve ark. 2013).

Azot tüketimi mikrobiyal kültürlerin pH'ını değiştirir. Mikroorganizmalar amonyum kullandığında H^+ iyonları açığa çıkar ve pH düşer. Bu reaksiyon aşağıda verilmiştir.



Amonyağın aşırı kullanımı pH'ı (<6) düşürür ve bazı alglerin büyümesini durdurur. Yoğun nitrat kullanıldığında pH artar. Ayrıca bir mol nitrat kullanımı sonucunda bir mol hidroksil açığa çıkar (Rashid ve ark., 2014; Song ve ark., 2011). Bu reaksiyon aşağıda verilmiştir.



Mikroalgal gelişim ve ortamın pH'ı ile nitrat kullanımı arasındaki ilişki doğrusaldır. Aşırı nitrat alımı, yosun büyümesini etkileyebilecek olan pH'ın 10'un üzerine çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle, nitrojen kaynağı olarak amonyak ve nitrat kullanıldığında pH ayarlaması yapılması gerekir. Azotun yetersiz olması, mikroalglerin kimyasal stresinde bir faktördür (Pancha ve ark., 2014). Çok sayıda çalışma, alglerin nitrojen kısıtlı büyüme koşulları altında daha fazla lipid biriktirebildiğini bildirmiştir (Courchesne ve ark., 2009; Gao ve ark., 2013). Radakovitz ve ark. (2010) alglerin nitrojen kısıtlı koşullarda büyüme hızını yavaşlattığını ve vücutta lipid biriktirmeye başladığını bildirmiştir. Zhila ve ark. (2005) nitrojen eksikliğinin mikroalglerin yapısındaki lipidlerin türünü değiştirdiğini bildirmiştir. Guo ve ark. (2014) azot eksikliğinin alg lipid üretimi üzerindeki etkilerinin alg türlerine bağlı olarak değişebileceğini bildirmiştir. Schenk ve ark. (2008) alg türlerinin birçoğunun normal koşullar altında kuru ağırlığının yaklaşık %10-30'unun yağ olduğunu ve kısıtlı azot olduğu durumlarda yağ üretiminin 2-3 kat artabileceğini bildirmiştir. Breuer ve ark. (2012) *Scenedesmus obliquus*, *Neochloris oleoabundans*, *Chlorella zofingiensis*, *C. vulgaris*' in azot kısıtlı yetiştirme koşulları altında kuru ağırlık lipidlerinin %35'inden fazlasını biriktirdiği bildirilmiştir.

2.7.2. Fosfor giderimi

Fosfor, alglerin önemli bir bileşenidir (Ruiz-Martinez ve ark., 2014). Fosfolipidler, nükleik asitler veya nükleotitler gibi kök hücre bileşenlerinde bulunur (Ruiz-Martinez ve ark., 2014). Ayrıca fosfor, mikroalg metabolizması ve hücre gelişimi için gereken bir besindir (Razzak ve ark., 2013). Enerji transferi, hücre sinyalizasyonu, solunum ve fotosentez gibi hücre metabolik süreçlerde önemli bir rol oynar (Singh ve ark., 2015). Fosforun farklı formları, alglerdeki metabolik mekanizmaları değiştirir (Zhu ve ark., 2013). Örneğin, ortofosfat mikro algler tarafından kolayca emilir ve mikro alglerin büyümesine önemli ölçüde katkıda bulunur (Zhu ve ark., 2013). Fosfor, alglerin lipid üretimini etkiler. Çalışmalar fosfor kısıtlamasının mikrobiyal lipid üretimini arttırdığını göstermiştir (Courchesne ve ark., 2009; Singh ve ark., 2015). Liang ve ark. (2013) *Chlorella sp.* Küçük fosfor konsantrasyonları, alglerde lipid içeriğinin ve lipid üretiminin arttığını belirlemiştir.

Fosfor, özellikle sucul bitkilerin büyümesini sınırlamada önemli bir faktördür. Suda bitki büyümesini hızlandıran bu elementin en önemli konsantrasyonları çözülmüş fosfor 0.01 mg/l ve toplam fosfor 0.02 mg/l'dir. Bununla birlikte, fosfor emisyonları standardı, su ortamının özelliklerine bağlı olarak bölgeden bölgeye değişebilir. Kentsel atıksu arıtma yönetmeliklerine göre su sirkülasyonu düşük kırılmalı bir rezervuara giren toplam fosforun en az yüzde 80' inin uzaklaştırılması gerekmektedir (Drizo ve ark., 2006).

Bir arıtma tesisinden doğal olarak uzaklaştırılan fosfor miktarı genellikle atık suyun doğasını etkiler. Örneğin, kırsal, kentsel ve tarımsal atık sular aktif faaliyetler sırasında büyük miktarlarda fosfor içerebilir (Drizo ve ark., 2006).

En uygun fosforlayıcı adsorbanın seçimi, fiziksel ve kimyasal özelliklerine, fosfor absorpsiyon ve absorpsiyon kapasitesine, maliyetine ve tedarik kolaylığına (yerel bulunabilirlik) bağlıdır. Soğurucu aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Ek olarak, rejenerasyondan sonra yüksek seviyede sorpsiyon özelliklerini koruyabilmelidir. Emici maddeler, doğal malzemelerden veya yapay yöntemlerle yapılabilir. Bazı endüstriyel atıklar veya yan ürünler emici olarak uygun olabilir. Atık sudan fosforu uzaklaştırmak için ekonomik, ucuz ve satın alınması kolay malzemeler kullanmaya devam eden deneyler yapılmaya devam edilmektedir (Drizo ve ark., 2006).

Gazioğlu (2020) tarafından yapılan çalışmada *Borodinellopsis texensis*'den biyokütle üretmek amaçlanmıştır. Bu üretim için tasarımı yapılan 1L'lik kabarcıklı fotobiyoreaktörde Bold Basal Besiyeri (BBM) içerisinde çeşitli dalga boylarında (beyaz, mor, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı) *Borodinellopsis texensis* büyütülmüştür. Daha sonra biyokütle miktarı, kullanılan toplam azot ve toplam fosfor miktarı bulunmuştur. Yapılan deney sonucunda en iyi sonuç mavi ışık dalga boyunda görülmüştür. Bu sonuçlara göre en yüksek biyokütle 283.88 mg/l maksimum azot giderim potansiyeli %76.25, maksimum toplam fosfor miktarı %61.50 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak *Borodinellopsis texensis* kabarcıklı kolon fotobiyoreaktörde mavi ışık altında büyütülerek maksimum düzeyde biyokütle elde edilmiş olup toplam azot ve toplam fosfor giderimi de elde edilmiştir.

Kutluk ve Kapucu (2020) yaptıkları çalışmada atıksu ortamlarında *Chlorella variabilis* mikroalg büyümesi, yağ üretkenliği ve nütrient asimilasyonu araştırmıştır. Kullanılan atıksu mikroalg aşılması yapılmadan önce atıksu 4000 rpm oranında santrifüjlenmiş ve farklı miktarlarda (%0-40) musluk suyu ile seyreltilmiştir. Seyreltilen atıksular *Chlorella variabilis* mikroalgi ile aşılınmış, bir ay boyunca 27 °C sıcaklık ve 200 rpm çalkalama hızına sahip olan inkübatörde, inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucunda elde edilen lipit içeriği (%21) lipit üretkenliği (6×10^{-3} g/L.d), olarak belirlenmiştir. Ayrıca mikroalg lipidlerinin oleik asit ve linolenik asit içeriği bakımından zengin olduğuna ulaşılmıştır. Mikroalglerin varlığında Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve toplam fosfor giderimi sırasıyla, %60 ve %77 değerinde olmuştur. Deney sonuçlarına göre, atık suyun mikroalglerin varlığında arıtımı ilerideki çalışmalar ve uygulamalar için umut verici olduğu görülmüştür.

Özçelik (2020) tarafından yapılan çalışmada *Chlorella ve Scenedesmus* türlerinden 10 farklı mikroalg süt çiftliğinden alınan tarımsal atıksuda bulunan nütrientleri giderme verimleri test edilerek en başarılı mikroalg türü tespit edilmiştir. Tespit edilen mikroalg türü koagüle edilmiş, filtrelenmiş ve 1/4 oranında seyreltilmiş atıksu ile beslenen plastik fotobiyoreaktörlerde büyütülmüş tür. Deney sonucunda toplam fosfor, toplam azot ve kimyasal oksijen ihtiyacı parametreleri için sırasıyla %59.4, %64.2 ve %95.7 oranında verim elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda; minimum maliyetli mikroalg katkılı tarımsal atıksu arıtma uygulamalarının yapılması açısından, hayvancılık üretimi ve su kültürü tesisleri için biyo-yem ürünleri üretmek açısından uygun olduğu görülmüştür.

Yılmaz ve Budak (2018) çalışmalarında *Chlorella vulgaris*' in endüstriyel atıksulardaki nütrient giderimini ve biyoyakıt verimliliğini analiz etmeyi amaçlamıştır. *Chlorella vulgaris* için besi yeri olarak kullanılan atıksu, Adana' da bir süt fabrikasından sağlanmıştır. *Chlorella vulgaris* ile endüstriyel atıksularda nütrient giderimi ve biyodizel üretim verimini araştırdıkları 10 günlük deney sürecinde *Chlorella vulgaris*' in atıksudaki toplam azot konsantrasyonunu 55.00 mg/l'den 2.60 mg/l'ye düşürdüğü %95.27 oranında toplam azot giderim verimi sağlanmıştır. Toplam fosfor konsantrasyonu ise 0.90 mg/l'ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Deney çalışmasının sonunda ulaşılan verim ise %92.68 olarak gözlemlenmiştir. *Chlorella*

vulgaris verimli bir şekilde çoğalıp atıksu içerisindeki nütrientleri asimile ederek ileri atık su arıtımı gerçekleştirme ve biyoyakıt olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Çanakçı (2015) tarafından yürütülen tez çalışmasında *Chlorella vulgaris* mikroalginin atıksularda nütrient giderme verimi ve gelişiminin öğrenilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada mikroalgler 12 saat 12000 lüks ışık yoğunluğunda sterilize edilmiş havalandırma koşulları ile anaerobik membran biyoreaktöre yerleştirilmiş tir. 37°C ve 18 günlük sürede sürekli yapılan deneyler sonucunda anaerobik membran biyoreaktör çıkış suları analiz edilmiş ve sonuç olarak; amonyum, toplam fosfor, toplam azot ve toplam organik karbon (TOK)'nu sırasıyla %7.58–55.89, %1.80–19.44, %14.35–31.38 ve %96.35–98.78 oranında giderilebilmiştir. Daha sonra aynı koşullar altında membran fotobiyoreaktöre yerleştirilen mikroalgler için 25°C ve 18 günlük sürekli sürede yapılan deneyler sonucunda; amonyum, toplam fosfor, toplam azot ve toplam organik karbon (TOK)' un sırasıyla, %27.88–67.52, %0.45–24.74, %23.29–88.29 ve %6.08-51.93 giderilebilmiştir.

İlhan (2015) tarafından yapılan çalışmada *Chlorella emersonii* ve *Botryococcus braunii*' in biyodizel üretimi için mümkün olan gelişme ve aşamaları analiz etmeyi amaçlamıştır. 25 °C sıcaklıkta 13 günlük periyotlar halinde deneyler yapılmıştır. Yapılan 13 günlük sürekli deneyler sonucunda sentetik atık sular için *C.emersonii* ve *B. braunii*' nin lipit içeriği ve biyomas kuru ağırlığı sırasıyla, %36-52, %24-36 olduğu saptanmıştır. Ayrıca *B.braunii*' nin toplam fosfor, amonyum azotu ve toplam organik karbonu sırasıyla %74-99 %81-97 ve %67-84 uzaklaştırıldığı ve *C. emersonii* için amonyum azotu, toplam fosfor ve toplam organik karbonun sırasıyla %82-94, %81-96 ve %74-83 giderilebileceği saptanmıştır.

Elde edilen bulgulara göre *B. braunii* ve *C. emersonii* biyodizel üretimi için önemli miktarlarda lipit içerdiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda atık sulardan yüksek miktarda nütrient uzaklaştırma yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara bakılarak *B. braunii* ve *C. emersonii* türlerdeki mikroalglerin atık suların üçüncül ve biyodizel üretimi için kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Shelknanloymılan (2013) tarafından yürütülen tez çalışmasında *Chloralla vulgaris* Beijernick saf kültürü kullanılmış ve mikro pipetler aracılığıyla tür izolasyonu yapılmıştır. Her örnekleme için üçer tane 50 mg/l numune alınmıştır. Sentetik atıksu ve kentsel atık su üzerinde yapılan 30 günlük çalışmalar sonucunda; sentetik atık sudaki

28.2 mg/l olan toplam azot (NO_3^- - N) konsantrasyonu %37'lik düşüş ile 22.4 mg/l olmuştur. Aynı zamanda 1.821 mg/l için yaklaşık %62'lik harcama işlevselliği son fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) konsantrasyonu ile 0.739 mg/l ye kadar gerilemiştir. Kentsel atık su için otuz günlük deney sürecinde ortaya çıkan fosfat giderimi günlük ortalama 0.1 mg/l güne karşılık gelmektedir. Aynı şekilde azot giderimi ise fosfat gideriminden daha hızlı gerçekleşmiş ve günlük giderim yaklaşık 0,35 mg/l güne karşılık gelmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada 1 L çalışma hacmine sahip kabarcıklı kolon fotobiyoreaktör kullanılmıştır. Fotobiyoreaktörde malzeme olarak akrilik kullanılmıştır. Daha önceki çalışmanın devamı olarak mavi ışık altında mikroalgler büyütülmüştür (Gazioğlu, 2020). Bu çalışmada kullanılan reaktör sistemi Şekil 3.1’de verildi.

Mikroalg olarak *Borodinellopsis texensis* kullanılmıştır. *Borodinellopsis texensis* Çekya da Culture Collection of Autotrophic Organisms (CCALA) tarafından elde edilmiştir ve *Borodinellopsis texensis* 892 olarak isimlendirildi.



Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan kabarcıklı kolon fotobiyoreaktör (Gazioğlu, 2020).

3.2. Mikroalglerin Büyütülme Şartları

Mikroalgler RGB LED ışıklar ile kaplı bir sistem tarafından aydınlatılmıştır. Aydınlatmada mavi ışık kullanılmıştır. Mikroalgler BBM (Bold' s Basal Medium) içerisinde büyütülmüştür. Aydınlık: karanlık oranı 16:8 olarak uygulanmıştır. Sıcaklık 24 ± 1 °C ve $100 \mu\text{mol foton/m}^2 \cdot \text{s}$ ışık şiddeti olarak belirlenmiştir.

3.3. BBM Besiyerinin Hazırlanması

BBM sıvı besiyeri olacak şekilde hazırlanarak 250 mL'lik flaskler içerisinde 200 mL besiyeri içeriğinde büyütüldükten sonra reaktör sisteminin içerisine alındı. BBM içerisinde bulunan kimyasalların içeriği aşağıda Çizelge 3.1 içerisinde verildi.

Çizelge 3.1. Basal Bold besiyerin bileşimleri (Barsanti ve Gualtieri, 2006).

REAKTİF	g/L	REAKTİF	g/L
(1) NaNO ₃	25,00 g	H ₂ SO ₄	1,0 mL
(2) MgSO ₄ • 7H ₂ O	7,50 g	(9) Bor stok çözeltisi	
(3) NaCl	2,50 g	H ₃ BO ₃	11,42 g
(4) K ₂ HPO ₄	7,50 g	(10) Mikroelement stok çözeltisi	
(5) KH ₂ PO ₄	17,50 g	ZnSO ₄ • 7H ₂ O	8,82 g
(6) CaCl ₂ • 2H ₂ O	2,50 g	MnCl ₂ • 4H ₂ O	1,44 g
(7) Alkali EDTA stok çözeltisi		MoO ₃	0,71 g
EDTA	50 g	CuSO ₄ • 5H ₂ O	1,57 g
KOH	31 g	Co(NO ₃) ₂ • 6H ₂ O	0,49 g
(8) Asitlendirilmiş demir stok çözeltisi		NH ₄ Cl	--
FeSO ₄ • 7H ₂ O	4,98 g	Na ₂ CO	--

3.4. Mikroalglerin Büyümlerinin Takip Edilmesi

Mikroalgler her gün düzenli bir şekilde optik yoğunluk (OD) 680 nm de durağan faza gelene kadar ölçümleri yapıldı.

3.5. Mikroalglerin Hasatlanması

Mikroalgler duraklama fazına geldiğinde reaktörden alınarak 2000 rcf 6 dakika santrifüj işlemine tabi tutuldular. Hasatlanan mikroalgler kurutma fırınında bir gece kurutuldu.

3.6. Biyokütlenin Hesaplanması

Kurutulan mikroalgler hassas terazide kuru ağırlıkları tartılarak hesaplandı.

3.7. Azot ve Fosfat Gideriminin Hesaplanması

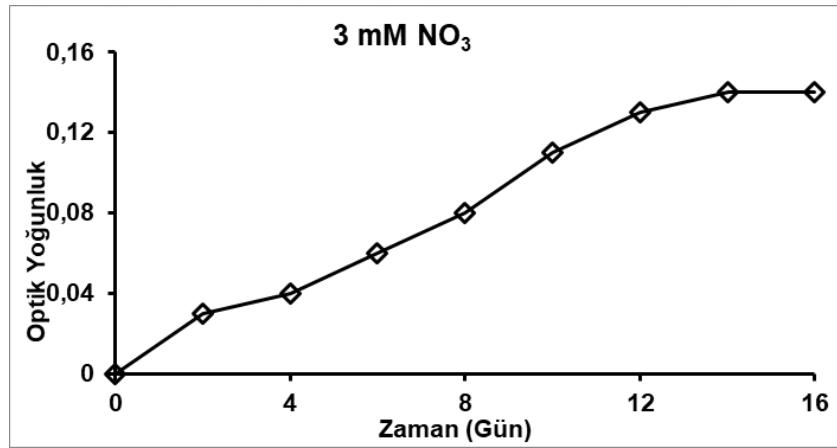
BBM içerisinde nitrat kaynağı olarak NaNO_3 , amonyak kaynağı olarak NH_4Cl ve nitrit kaynağı olarak da NaNO_2 kullanıldı. Nitrat 405 nm de 4-aminobenzensülfonamid ve brusin aracılığıyla, Nitrit 540 nm de 4-aminobenzensülfonamid ve N-1- naftiletilediamin dihidroklorür aracılığı ile Abe ve ark. (2002) 'ye göre spektrofotometrik olarak ölçüldü. Fosfat ise 700 nm de Abe ve ark. (2002)'de belirtildiği gibi spektrofotometrik olarak ölçüldü. Bu çalışmada nitrat, nitrit ve amonyum 3, 6 ve 9 mM olarak kullanıldı. Fosfat miktarda 1,3 mM ve limitasyon çalışmalarında 0,65mM olarak belirlendi.

4. BULGULAR

Borodinellopsis texensis' den günlük düzenli olarak ölçümler alındı. Ortam besiyeri olan BBM de Nitrat kullanıldığında etkisini araştırmak için 3, 6 ve 9 mM konsantrasyonlarda üç ayrı nitratı inceledik. Buna ek olarak amonyumu ve nitritide azot kaynağı olarak kullandığımızda bunların konsantrasyonunu 3,6 ve 9 mM olarak belirledik. Fosfat kaynağı ise 1.3 mM ve 0.65 mM olarak iki ayrı konsantrasyonda incelenerek etkisine bakıldı.

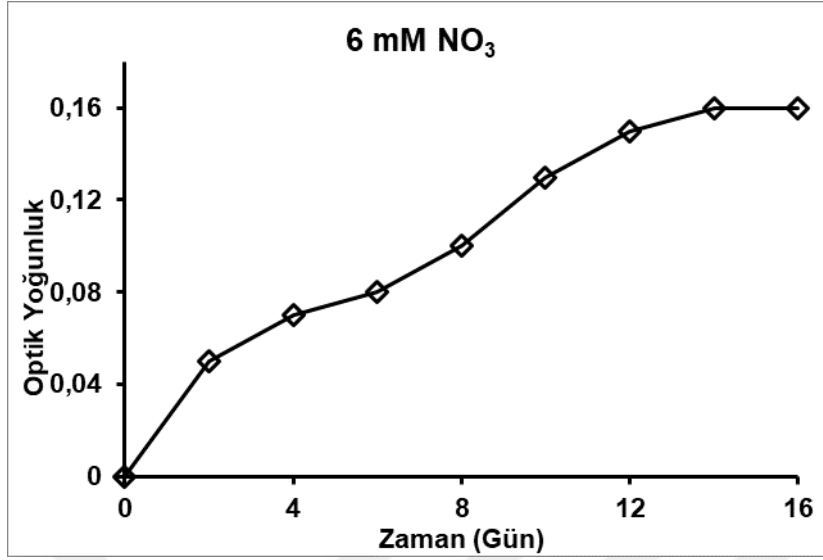
4.1. Farklı Nitrat Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi

Nitrat 3 mM ve fosfat 1.3 mM olduğunda optik yoğunluk sekiz günün sonunda 0,08 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 16. gün sonunda 0,14 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrat 3 mM ve fosfat 1,3 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.1 içerisinde verildi.



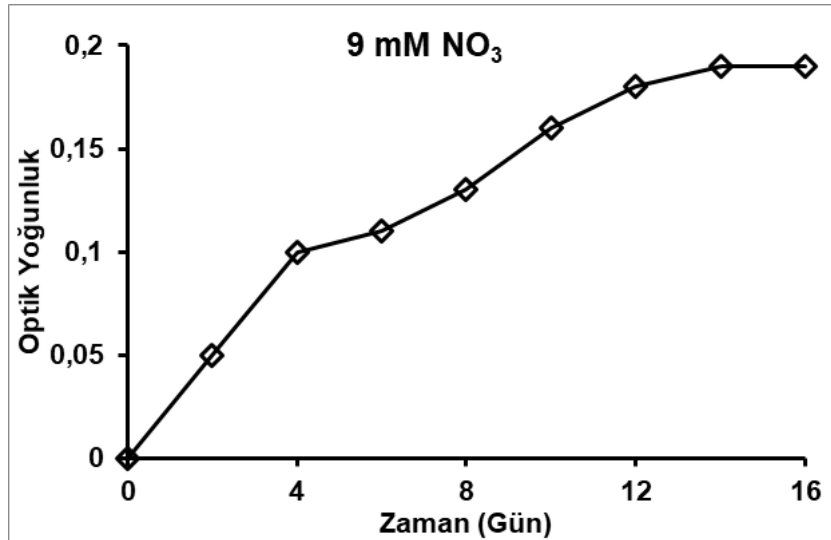
Şekil 4.1. 3 mM nitrat ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Nitrat 6 mM ve fosfat 1.3 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*' in optik yoğunluk değeri sekiz günün sonunda 0,1 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 16. gün sonunda 0,16 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrat 6 mM ve fosfat 1,3 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.2 içerisinde verildi.



Şekil 4.2. 6 mM nitrat ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

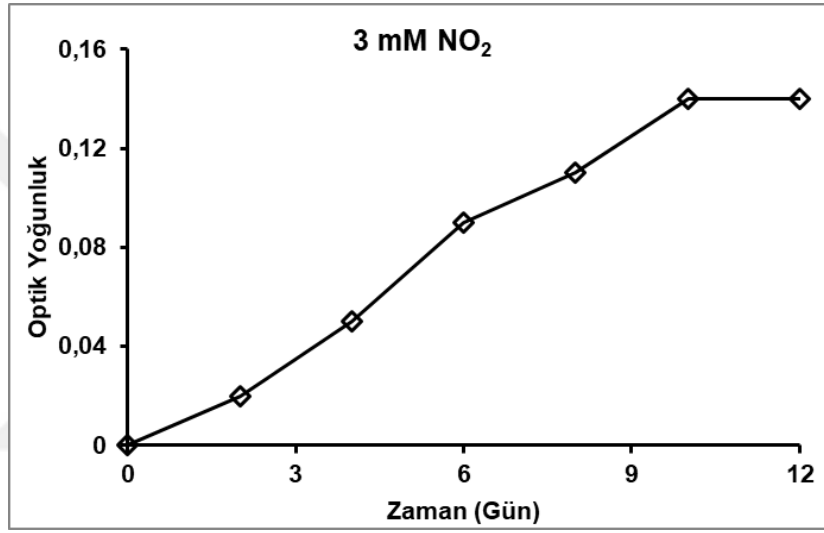
Nitrat 9 mM ve fosfat 1,3 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*' in optik yoğunluk değeri sekiz günün sonunda 0,13 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 16. gün sonunda 0,19 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrat 9 mM ve fosfat 1,3 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.3 içerisinde verildi.



Şekil 4.3. 9 mM nitrat ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

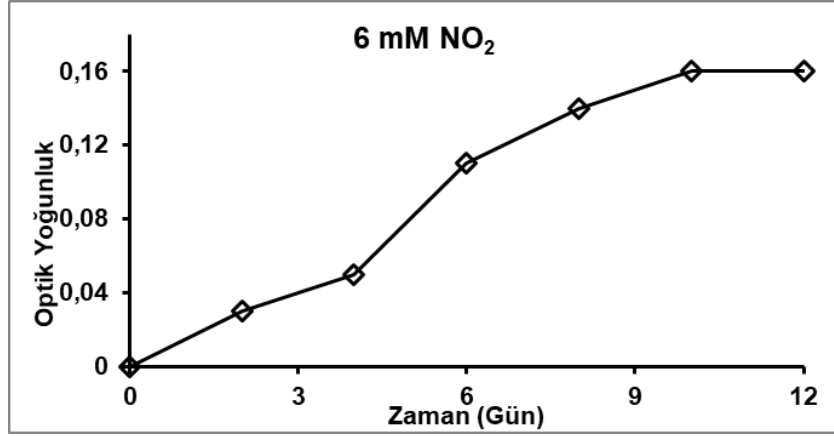
4.2. Farklı Nitrit Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi

Diğer bir azot kaynağı olan nitrit 3,6 ve 9 mM konsantrasyonlarda kullanılarak *Borodinellopsis texensis*' in büyümesine etkisi incelendi. Nitrit 3 mM ve fosfat 1.3 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*' in optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0,09 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 12. gün sonunda 0,14 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrit 3 mM ve fosfat 1,3 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.4 içerisinde verildi.



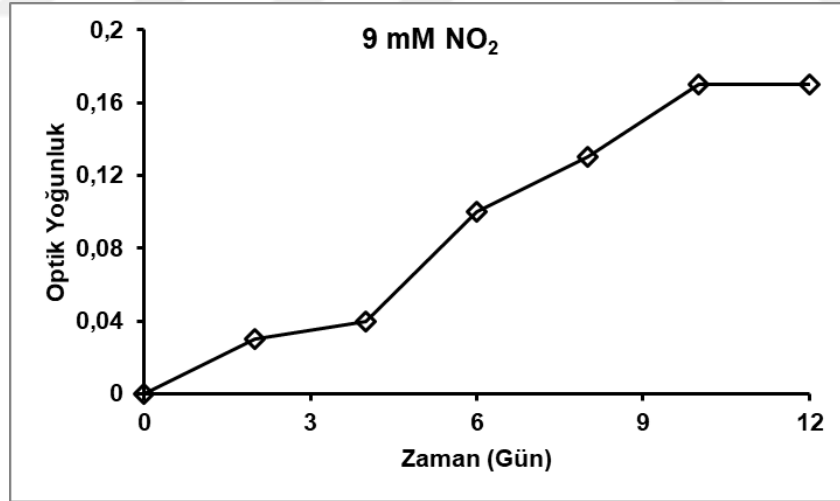
Şekil 4.4. 3 mM nitrit ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Nitrit 6 mM ve fosfat 1.3 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0,11 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 12. gün sonunda 0,16 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrit 6 mM ve fosfat 1,3 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.5 içerisinde verildi.



Şekil 4.5. 6 mM nitrit ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Son olarak 9 mM nitrit ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi değerlendirildi. Nitrit 9 mM ve fosfat 1.3 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*' in optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0,1 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 12. gün sonunda 0,17 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrit 6 mM ve fosfat 1,3 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.6 içerisinde verildi.

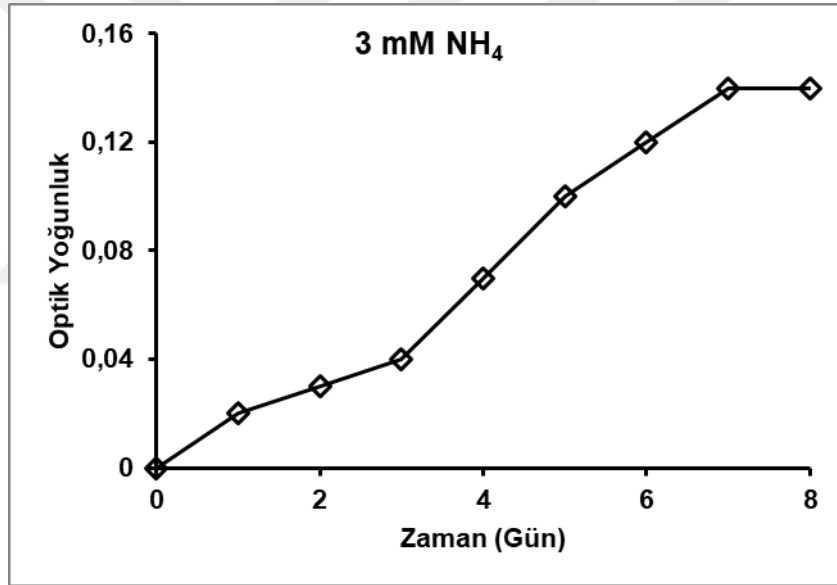


Şekil 4.6. 9 mM nitrit ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

4.3. Farklı Amonyum Konsantrasyonlarında Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi

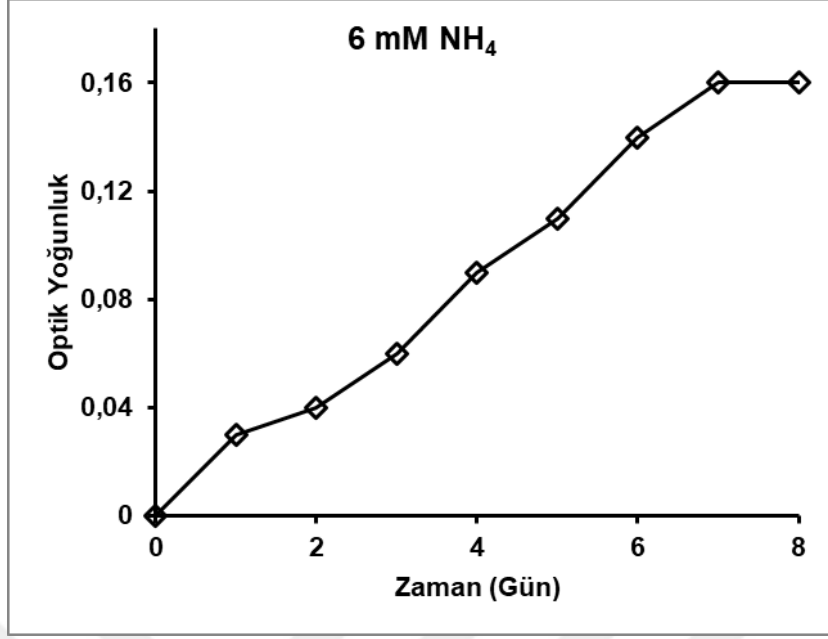
Son olarak diğer bir azot kaynağı olan amonyumun *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisine olan etkisi incelendi.

3 mM amonyum ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki *Borodinellopsis texensis*' in büyüme eğrisi değerlendirildi. Amonyum 3 mM ve fosfat 1.3 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri dört günün sonunda 0,07 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 8. gün sonunda 0,14 değeri ile durağan faza ulaştı. Amonyum 3 mM ve fosfat 1,3 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.7 içerisinde verildi.



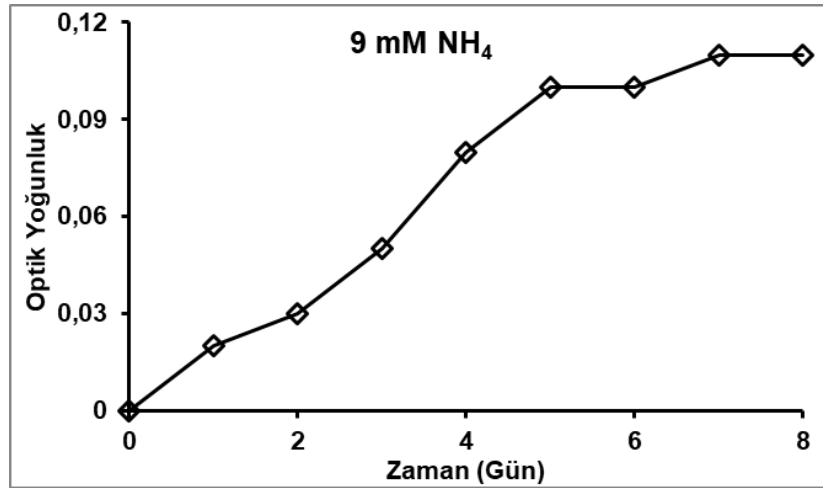
Şekil 4.7. 3 mM amonyum ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Amonyum 6 mM ve fosfat 1.3 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*' in optik yoğunluk değeri dört günün sonunda 0,09 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 8. gün sonunda 0,16 değeri ile durağan faza ulaştı. Amonyum 6 mM ve fosfat 1,3 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.8 içerisinde verildi.



Şekil 4.8. 6 mM amonyum ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

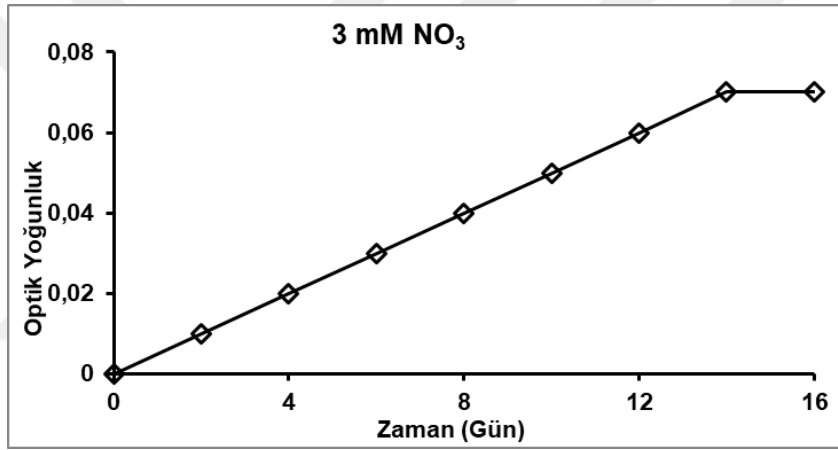
Amonyum 9 mM ve fosfat 1,3 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri dört günün sonunda 0,08 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 8. gün sonunda 0,11 değeri ile durağan faza ulaştı. Amonyum 9 mM ve fosfat 1,3 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.9 içerisinde verildi.



Şekil 4.9. 9 mM amonyum ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

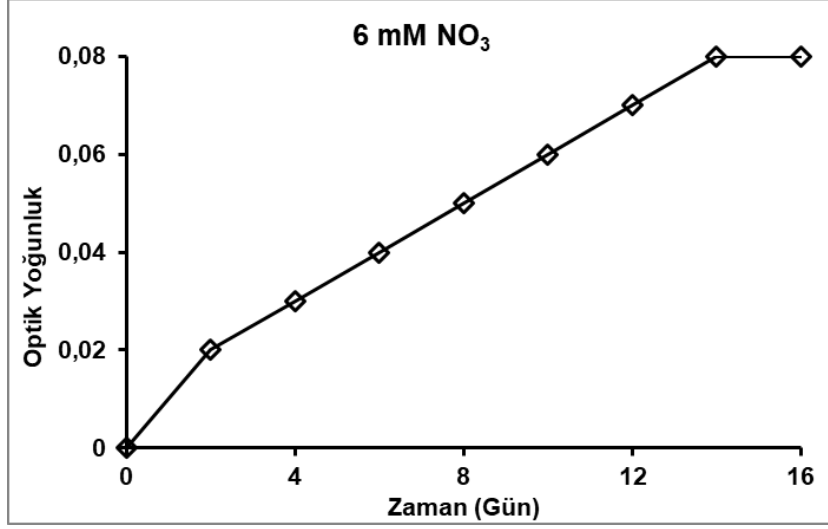
4.4. Fosfat Limitasyonu ve Farklı Nitrat Konsantrasyonunda Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi

Ek olarak fosfat miktarını limitediğimizde farklı azot kaynakları kullanılarak *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrilerine olan etkisini değerlendirdik. Bunun için 0,65 mM fosfat kullandık. Nitrat 3 mM ve fosfat 0,65 mM olduğunda optik yoğunluk sekiz günün sonunda 0,04 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 16. gün sonunda 0,07 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrat 3 mM ve fosfat 0,65 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.10 içerisinde verildi.



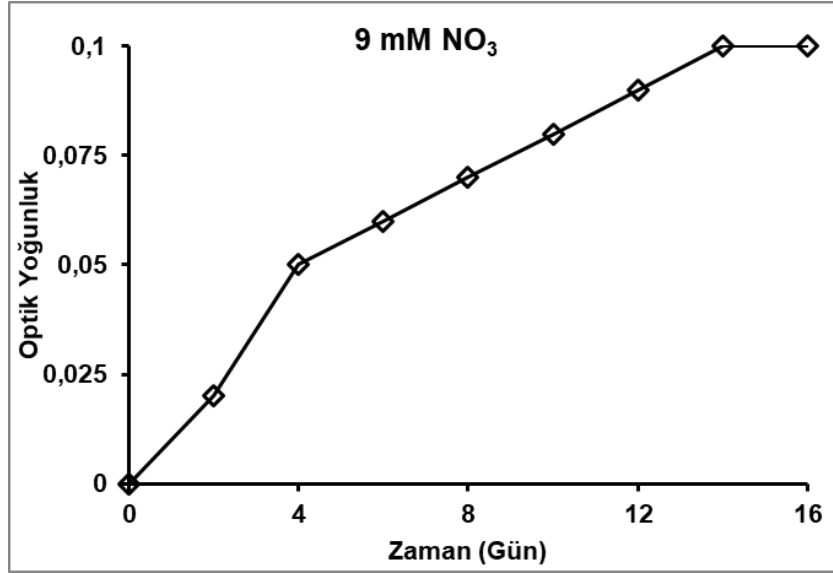
Şekil 4.10. 3 mM nitrat ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Nitrat 6 mM ve fosfat 0,65 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri sekiz günün sonunda 0,05 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 16. gün sonunda 0,08 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrat 6 mM ve fosfat 0,65 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.11 içerisinde verildi.



Şekil 4.11. 6 mM nitrat ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

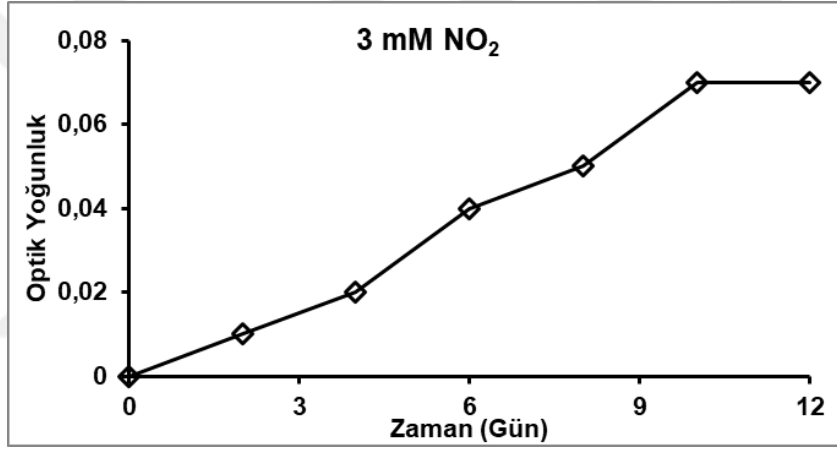
Nitrat 9 mM ve fosfat 0,65 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri sekiz günün sonunda 0,07 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 16. gün sonunda 0,1 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrat 6 mM ve fosfat 0,65 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.12 içerisinde verildi.



Şekil 4.12. 9 mM nitrat ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

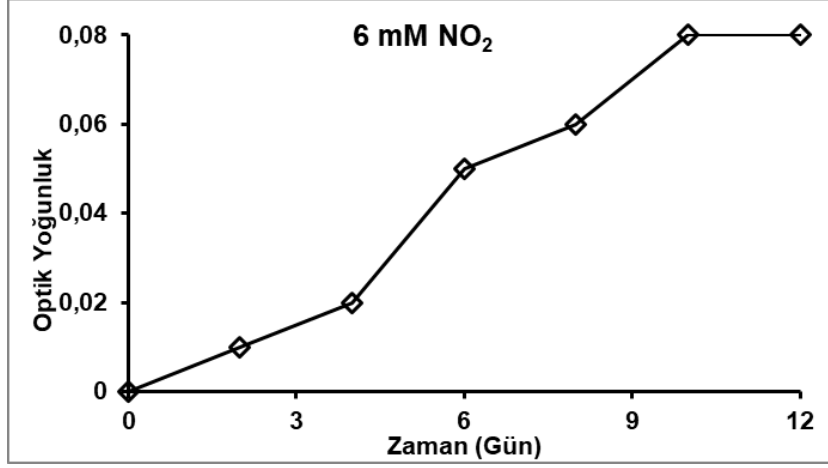
4.5. Fosfat Limitasyonu ve Farklı Nitrit Konsantrasyonunda Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi

Diğer bir azot kaynağı olan nitrit 3,6 ve 9 mM konsantrasyonlarda kullanılarak *Borodinellopsis texensis*'in büyümesine etkisi incelendi. Nitrit 3 mM ve fosfat 0,65 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0,04 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 12. gün sonunda 0,07 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrit 3 mM ve fosfat 0,65 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.13 içerisinde verildi.



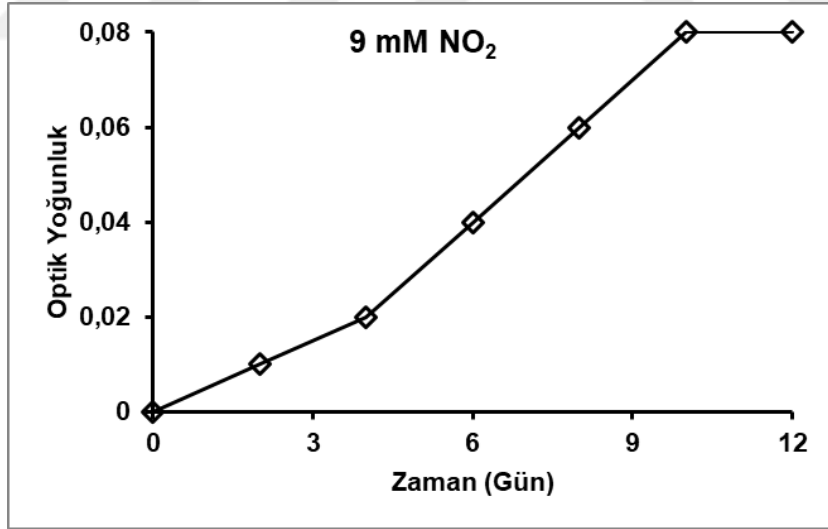
Şekil 4.13. 3 mM nitrit ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Nitrit 6 mM ve fosfat 0,65 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0,05 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 12. gün sonunda 0,08 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrit 6 mM ve fosfat 0,65 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.14 içerisinde verildi.



Şekil 4.14. 6 mM nitrit ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Nitrit 9 mM ve fosfat 0,65 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri altı günün sonunda 0,04 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 12. gün sonunda 0,08 değeri ile durağan faza ulaştı. Nitrit 9 mM ve fosfat 0,65 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.15 içerisinde verildi.

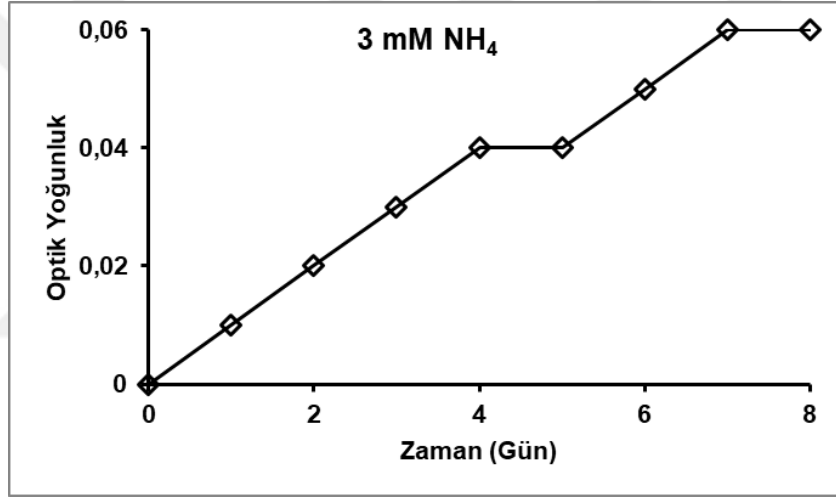


Şekil 4.15. 9 mM nitrit ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Son olarak diğer bir azot kaynağı olan amonyumun *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisine olan etkisi incelendi.

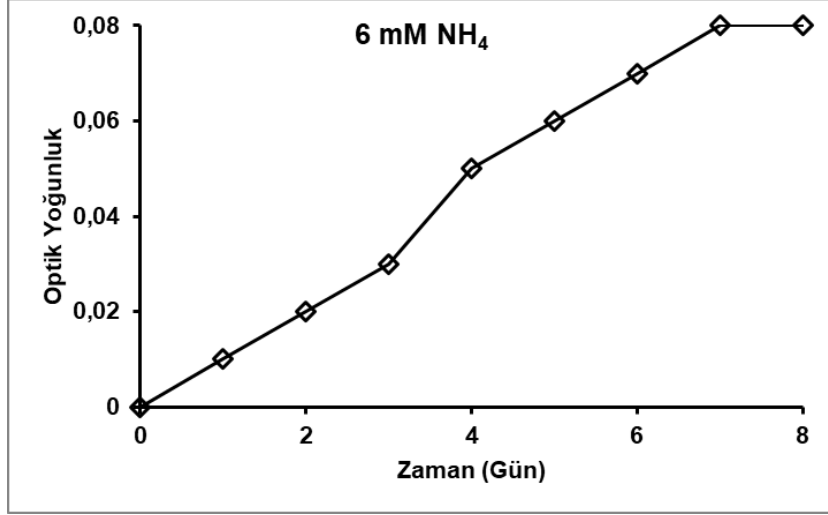
4.6. Fosfat Limitasyonu Ve Farklı Amonyum Konsantrasyonunda Optik Yoğunluğun (OD) İncelenmesi

3 mM amonyum ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi değerlendirildi. Amonyum 3 mM ve fosfat 0,65 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri dört günün sonunda 0,04 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 8. gün sonunda 0,06 değeri ile durağan faza ulaştı. Amonyum 3 mM ve fosfat 0,65 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.16 içerisinde verildi.



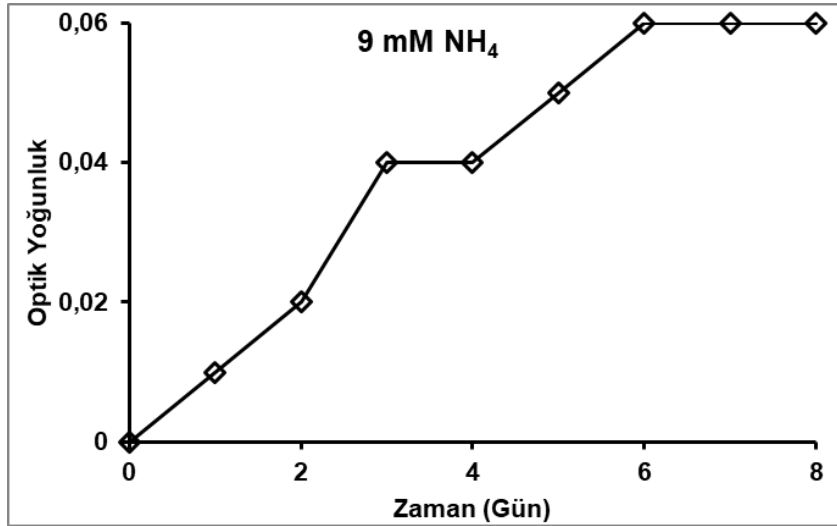
Şekil 4.16. 3 mM amonyum ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Amonyum 6 mM ve fosfat 0,65 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri dört günün sonunda 0,05 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 8. gün sonunda 0,08 değeri ile durağan faza ulaştı. Amonyum 6 mM ve fosfat 0,65 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.17 içerisinde verildi.



Şekil 4.17. 6 mM amonyum ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

Amonyum 9 mM ve fosfat 0,65 mM olduğunda *Borodinellopsis texensis*'in optik yoğunluk değeri dört günün sonunda 0,04 olarak hesaplandı. *Borodinellopsis texensis* bu değerden sonra da büyümeye devam ederek 8. gün sonunda 0,06 değeri ile durağan faza ulaştı. Amonyum 9 mM ve fosfat 0,65 mM olduğundaki *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrisi Şekil 4.18 içerisinde verildi.



Şekil 4.18. 9 mM amonyum ve 0,65 mM fosfat konsantrasyonlarındaki büyüme eğrisi.

4.7. *Borodinellopsis texensis*' in Farklı Azot ve Fosfat Konsantrasyonlarında Biyokütlesinin Hesaplanması

Borodinellopsis texensis'in büyüme eğrisine ek olarak farklı azot kaynaklarında büyütülen mikroalglerin biyokütle miktarları hesaplandı. Azot kaynağı nitrat kullanıldığında en yüksek biyokütle 389 mg/l olarak 9 mM nitrat konsantrasyonu ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonunda bulundu. Buna ek olarak 3 mM nitrat konsantrasyonunda biyokütle miktarı 285 mg/l ve 6 mM nitrat konsantrasyonunda da 327 mg/l olarak bulundu. Diğer bir azot kaynağı nitritte ise en yüksek biyokütle konsantrasyonu 9 mM nitrit içerisinde 348 mg/l olarak bulundu. 3 mM ve 6 mM nitrit konsantrasyonlarındaki biyokütle miktarları da sırası ile 288 mg/l ve 329 mg/l olarak tespit edildi. Araştırılan son azot kaynağı olan amonyumda ise biraz farklı sonuçlar gözlemlendi. En yüksek biyokütle miktarı 325 mg/L ile 6 mM amonyum da bulundu. 3 mM ve 6 mM amonyumdaki biyokütle miktarları ise 286 mg/l ve 222 mg/l olarak hesaplandı. Fosfat miktarı azaltılarak hücrelerde bir stres oluşturulduğunda ise bu durum büyüme eğrilerine yansıdığı gibi biyokütle miktarlarında da düşüşler gözlemlendi genel olarak biyokütle miktarlarını etkiledi. 0,65 mM fosfat limitasyonunda azot kaynağı nitrat kullanıldığında en yüksek biyokütle 205 mg/l olarak 9 mM nitrat konsantrasyonunda bulundu. 3 mM ve 6 mM nitrat konsantrasyonlarında ise sırası ile 144 mg/l ve 167 mg/l olarak bulundu. Nitrit azot kaynağı olarak kullanıldığında düşüşler devam etti. En yüksek biyokütle konsantrasyonu 169 mg/l ile 6 mM nitrit konsantrasyonunda iken, 3 mM ve 9 mM nitrit konsantrasyonundaki biyokütle içerikleri sırası ile 146 mg/l ve 168 mg/l idi. Diğer azot kaynaklarında olduğu gibi amonyumda da diğerleri gibi keskin bir azalış gözlemlendi. Amonyumda en yüksek biyokütle miktarı 6 mM amonyumda 165 mg/l biyokütle bulunurken 3 mM ve 6 mM amonyumdaki biyokütle birbirine çok yakın ve sırası ile 125 mg/l ve 123 mg/l olarak bulundu. Farklı azot kaynağında büyütülen mikroalgler için biyokütle miktarı ise Çizelge 4.1' de ayrıntılı bir şekilde gösterildi.

Çizelge 4.1. Farklı azot kaynağında büyütülen mikroalgler için biyokütle miktarları

N Kaynağı	Konsantrasyonu (mM)	PO ₄ Konsantrasyonu (mM)	OD	Biyokütle (mg/l)
NO ₃	3	1,3	0,14	285
NO ₃	6	1,3	0,16	327
NO ₃	9	1,3	0,19	389
NO ₂	3	1,3	0,14	288
NO ₂	6	1,3	0,16	329
NO ₂	9	1,3	0,17	348
NH ₄	3	1,3	0,14	286
NH ₄	6	1,3	0,16	325
NH ₄	9	1,3	0,11	222
NO ₃	3	0,65	0,07	144
NO ₃	6	0,65	0,08	167
NO ₃	9	0,65	0,1	205
NO ₂	3	0,65	0,07	146
NO ₂	6	0,65	0,08	169
NO ₂	9	0,65	0,08	168
NH ₄	3	0,65	0,06	125
NH ₄	6	0,65	0,08	165
NH ₄	9	0,65	0,06	123

Bu çalışmada *Borodinellopsis texensis*'in büyüme eğrilerine ve biyokütle miktarına ek olarak farklı azot kaynağında büyütüldüklerindeki azot ve fosfat giderimleri araştırıldı. Azot kaynağı nitrat kullanıldığında en yüksek azot giderimi %77 ile 3 mM nitrat konsantrasyonu bulundu. Nitrat miktarı arttırıldığında *Borodinellopsis texensis*' in nitrata olan toleransı düştü ve azot giderimi 6 mM ve 9 mM nitrat konsantrasyonlarında sırası ile %75 ve %69 oldu. Azot kaynağı nitrit olduğunda da benzer bir sonuç gözlemlendi. 3 mM nitrit konsantrasyonundaki azot gideri %76 olarak tespit edildi. 6 mM ve 9 mM nitrit konsantrasyonlarındaki azot giderimi %74 ve %70 olarak bulundu. Azot kaynağı amonyum olduğunda ise 3 mM amonyumdaki giderim %74, 6 mM ve 9 mM daki amonyum konsantrasyonundaki giderim ise %70 ve %67 olarak bulundu. Fosfat limitasyonu uygulandığında ise azot giderimlerinde az da olsa bir düşüş gözlemlendi. 0,65 mM fosfat limitasyonunda, azot kaynağı nitrat olduğunda 3 mM nitrat konsantrasyonunda giderim %73 idi. 6 mM ve 9 mM nitrat konsantrasyonlarında ki giderimler ise sırasıyla %71 ve %68 olarak bulundu. Nitrit kullanıldığında ise, 3 mM nitrit konsantrasyonunda ki azot giderimi %74 olarak

bulundu. 6 mM ve 9 mM nitrit konsantrasyonunda ise giderimler %72 ve %68 olarak bulundu. Azot gideri amonyum olduğunda da giderimler 3 mM, 6mM ve 9 mM için sırası ile %73, %72 ve %68 olarak bulundu. Sonuç olarak en fazla azot giderimi 3 mM nitrat konsantrasyonunda %77 olarak bulundu. Aslında bu beklenen bir sonuçtu. Mikroalgler nitrat olarak azotu daha kullanışlı fakat yavaş olarak metabolize edip aminoasitlere dönüştürebilirler. Nitrat miktarı arttıkça giderim azaldı. Azot kaynağını değiştirip nitrit yaptığımızda kaydadeğer bir değişim gözlenmezken amonyum kullanıldığında ise giderim azaldı. En düşük azot giderimide %67 ile 9 mM amonyumda bulundu. Büyük ihtimalle bunun nedeni amonyumun yüksek konsantrasyonlarda toksik olması ve sistemin azotu alma yeteneğini bozmasından kaynaklandı. Bunlara ek olarak farklı azot kaynaklarında fosfat gideriminin etkileride incelendi. 3 mM, 6 mM ve 9 mM nitrat konsantrasyonlarında 1.3 mM fosfat giderimi sağlanmaya çalışıldı. Sonuçlar arasında kayda değer sonuçlar bulunmamakla birlikte giderimler sırası ile %61, %60 ve %58 olarak bulundu. 3 mM, 6 mM ve 9 mM Nitrit konsantrasyonlarında da aynı sonuç ile karşılaşıldığı söylenebilir. Sırası ile giderimler %59, %58 ve %57 olarak bulundu. Amonyum da ise durum biraz farklı gerçekleşti. 6 mM amonyum da fosfat giderimi %61 idi ve bu en yüksek seviye idi. 3 mM amonyum da ise değer %57 olarak bulundu. Fosfat limitasyonu uygulanarak fosfatın durumu 0,65 mM olarak belirlendiğinde ise fosfat yüzdesinin biraz düştüğünü gözlemledik ama bu fark yüksek değildi. 0,65 mM fosfat varlığında 3 mM nitrat konsantrasyonda fosfat yüzdesi %59 idi. 3 mM nitrit konsantrasyonunda ise %60 olarak bulundu. 6 ve 9 mM Amonyum da ise bu yüzde %58 olarak tespit edildi. Buradan da görüldüğü gibi fosfat limitasyonu sağlandığında giderim miktarı fazla değişmedi. Azot kaynağında değiştirmek yüzde üzerine farklı bir etki oluşturmadı. *Borodinellopsis texensis*'in farklı azot kaynağında azot ve fosfat giderimleri Çizelge 4.2 içerisinde ayrıntılı olarak verildi.

Çizelge 4.2. Farklı azot kaynağında büyütülen mikroalgler için azot ve fosfat giderimleri

N Kaynağı	Konsantrasyonu (mM)	PO ₄ Konsantrasyonu (mM)	N Giderimi (%)	P Giderimi (%)
NO ₃	3	1.3	77	61
NO ₃	6	1.3	75	60
NO ₃	9	1.3	69	58
NO ₂	3	1.3	76	59
NO ₂	6	1.3	74	58
NO ₂	9	1.3	70	57
NH ₄	3	1.3	74	57
NH ₄	6	1.3	70	61
NH ₄	9	1.3	67	58
NO ₃	3	0,65	73	59
NO ₃	6	0,65	71	58
NO ₃	9	0,65	68	56
NO ₂	3	0,65	74	60
NO ₂	6	0,65	72	58
NO ₂	9	0,65	68	56
NH ₄	3	0,65	73	57
NH ₄	6	0,65	72	58
NH ₄	9	0,65	68	58

Literatür ile ilgili çalışmalara bakıldığında mikroalglerde azot ve fosfor giderim çalışmalarına rastlanmaktadır. Bu çalışmalar mikroalglerin türlerine, büyüme koşullarına ve besiyeri ve atıksu çeşidine göre değişmektedir. Lachmann ve ark. (2019) yaptığı çalışmada mikroalg olarak *C. acidophila* Negoro'yu kullandı. Nitrat ve amonyum kullanarak bu türün fizyolojisindeki meydana gelen değişikliği inceledi. Bu çalışmada amonyum hücreye daha kolay ve daha az enerji kullanarak hücreye girdiği gözlemlendi. Buna karşın nitrat ile büyütülen mikroalglerde daha fazla aminoasit miktarı içerdiği bulundu (Lachmann ve ark., 2019). Bir başka çalışmada nitrat ve amonyumun azot alımının interaktif olarak girişi incelendi. Bu çalışmada *Nannochloropsis sp.* çalışıldı. Bu mikroalg çeşidi amonyumu nitrata göre daha iyi aldığını ortaya çıkardı. Nitrat ancak amonyumun ortada olmadığı zaman *Nannochloropsis sp.* tarafından kullanıldı. Ayrıca amonyum içeren besiyerinde mikroalgler daha hızlı ve daha iyi büyüme gösterdiler (Hii ve ark., 2011). Bu sonuç bizim bulduğumuz sonuçlar ile uygundu. Yapılan çalışmamızda da amonyum içerisinde büyüyen mikroalgler daha hızlı

büyüme göstermişlerdi. Daha sonra yüksek konsantrasyonlarda amonyumun büyümesi ve giderim hızı düşmüştü. Bu da büyük ihtimal amonyumun yüksek konsantrasyonlarda hücre için toksik etki yapmasından kaynaklanmıştı. Bir başka çalışmada ise Taziki ve ark. (2015) atık suda büyütülen mikroalglerin azot ve fosfor giderimi için kullanılıp veya kullanılamayacağı ile ilgili çalışmalar yaptılar. Bu çalışma sonucunda *Chlorella*, *Neochloris* ve *Dunaliella* türleri nitratı daha etkili şekilde ortamdan kaldırabildiği gösterildi. Ayrıca çevre koşullarının, pH, sıcaklık, ışık yoğunluğunun bunda önemli olabileceğini açıkladılar. Salbitani ve Carfagna (2021) yaptığı çalışmada amonyumun mikroalgler üzerine etkisini inceledi ve bu çalışmasında atık suda yüksek amonyum konsantrasyonlarının kaldırılmasının daha zor olduğunu belirtti. Sonuç olarak literatürde bulunan çalışmalarının da yaptığımız çalışma ile paralel olduğu ve azot kaynağının değiştirilmesi ve konsantrasyonların farklılaşması azot ve fosfor gideriminin değiştiği gözlemlenmiştir.



5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında bir mikroalg olan *Borodinellopsis texensis* BBM besiyerinde mavi ışık altında 3, 6, 9 mM nitrat, nitrit ve amonyum gibi farklı azot kaynakları ve 0,65 ve 1,3 mM fosfat konsantrasyonlarında büyütülerek mikroalglerin optik yoğunlukları, biyokütle konsantrasyonları ve azot ve fosfat giderimleri incelendi.

Sonuç olarak nitrat miktarı arttıkça optik yoğunluk ve biyokütle konsantrasyonlarının arttığını gördük. Nitrit azot kaynağı olarak kullanıldığında da optik yoğunluk ve biyokütle konsantrasyonlarının arttığını tespit ettik. Amonyum ise 6 mM konsantrasyona kadar optik yoğunluğun arttığını daha yüksek konsantrasyonlarda ise azaldığını bulduk. Literatürdeki bilgilerden de yararlandığımızda bunun belli bir noktadan sonra amonyumun hücreler için toksik etki yapmasından kaynaklandığı sonucuna varıldı.

Azot kaynaklarını birbiri ile kıyasladığımızda ise nitrat ile büyütülen mikroalgler daha yüksek biyokütle ve optik yoğunluk gösterdiler. Daha sonra nitrit ile büyütülen mikroalgler yüksek biyokütle konsantrasyonu ve optik yoğunluk gösterdiler. En az biyokütle yoğunluğu ise amonyum ile büyütülen mikroalglerde rastlandı. Fakat bu sonuçlar nitratı tam olarak verimli göstermemektedir. Çünkü nitrat ile büyütülen mikroalgler 16 günde, nitrit ile büyütülenler 12 günde ve amonyum ile büyütülenler 8 günde durağan faza geldiler. Buda amonyum ile büyütülen mikroalgler daha yüksek biyokütle verimine sahip olduğunu göstermektedir. Literatürdeki bilgilerden yararlandığımızda bu sonucun amonyumun hücreler tarafından direkt alınarak kullanıldığı fakat nitratın ilkönce nitrat sentaz ile nitrite daha sonrada nitrit redüktaz ile amonyuma dönüşerek hücreye alındığını ve aminoasite dönüştüğü için büyüme süresinin uzun olduğu sonucuna varıldı. Aynı sonuç nitrit içinde paralellik göstermiştir. Nitritte nitrit redüktaz vasıtası ile amonyuma dönüşerek aminoasitlerin yapısına katıldığı için büyümede gecikmenin olmasını sağlamıştır (Salbitani ve Carfagna, 2021).

Fosfat limitasyonunda ise üç azot kaynağı olan nitrat, nitrit ve amonyumun biyokütlesinde ve optik yoğunluğunda azalma gözlenmiştir. Limitasyon üç azot kaynağında büyümesini engellemiş ve biyokütle verimini neredeyse hepsinde sabitlemiştir.

Farklı azot kaynaklarında büyüme azot giderimlerini yüzde olarak değiştirmiştir. 3 mM nitratta azot giderimi en yüksek olurken azot nitrat miktarı artışı ile giderim yüzdesi azalmıştır. Muhtemelen hücreler nitrat konsantrasyonundaki artışı tolere edememektedir. En düşük giderim amonyumun 9 mM konsantrasyonunda meydana gelmiştir. Bu sonuç bize gösteriyor ki azot kaynağı değiştiğinde azot giderimi önemli derecede değişmektedir.

Fosfat limitasyonu azot gideriminide etkilemiş ve giderimde azalma görülmüştür. Bu sonuç bize fosfatın ortamda yeterince bulunmaması azot gideriminin de etkilendiğini göstermektedir.

Azot kaynakları değiştiğinde fosfat giderimleri çok fazla değişmemiştir. Fakat en fazla giderim 3 mM nitrat kaynağında meydana gelmiştir. Yüksek amonyum konsantrasyonunda (9 mM) ise düşük giderim meydana gelmiştir. Bu amonyumun toksik etkisinden kaynaklanmaktadır. Fosfat limitasyonunda fosfat gideriminde azalmalara neden olmuştur. Sonuç olarak azot kaynaklarının değişimi fosfat giderimini etkilemektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda daha geniş reaktör sistemlerinde *Borodinellopsis texensis*'in daha büyük reaktör sistemlerinde denemesi yapılarak yüksek konsantrasyonlarda azot ve fosfat giderimi nasıl değişiyor ve atıksulara uygulanabilirliğinin araştırılması yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abe, K., Imamaki, A., Hirano, M., 2002. Removal of nitrate, nitrite, ammonium and phosphate ions from water by the aerial microalga *Trentepohlia aurea*. *Journal of Applied Phycology*, **14**: 129–134.
- Adıyaman, Ç., 2012. *Türkiye' nin Yenilenebilir Enerji Politikaları* (yüksek lisans tezi). Niğde Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde.
- Adıgüzel, A. O., 2011. *Lignoselülozik Biyokütleden Biyoetanol Üretimi* (yüksek lisans semineri). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Akgül, M., 2003. Biyokütenin Yakıt Potansiyeli Olarak Değerlendirilmesi. *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*. 3-4 Ekim 2003, TMMOB Kayseri. 277-288.
- Akkoyunlu, A., 2006. Türkiye'de Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri. *Türkiye' de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu Bildiri Kitabı*. İstanbul. 131-145.
- Al-Qasbi M, Raut N, Talebi S, Al-Rajhi S, Al-Barwani T., 2012. A review of effect of light on microalgae growth. *The World Congress on Engineering 2012*, 4-6 July, 2012, London.
- Amponsah, N.Y., Troldborg, M., Kington, B., Aalders, I., Hough, R.L., 2014. Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **39**: 461-475.
- Barbosa, MJ., Janssen, M., Ham, N., Tramper, J., Wijffels, RH., 2003. Microalgae cultivation in air-lift reactors: Modeling biomass yield and growth rate as a function of mixing frequency. *Biotechnology and Bioengineering*, **82** (2): 170-179.
- Başar, H. B., 2011. *Enerji Santrallerinin Çok Kriterli Değerlendirilmesi* (yüksek lisans tezi). Gazi üniversitesi, Ankara.
- Blair, M. F., Kokabian, B., Gude, V. G., 2014. Light and growth medium effect on *Chlorella vulgaris* biomass production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **2**: 665–674.
- Boz, N., 2015. Calcium oxide based heterogeneous catalyst design for the production of methyl esters from canola oil. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **30** (4): 641-648.
- Brennan, L., Owende, P., 2010. Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **14** (2): 557-577.
- Breuer, G., Lamers, P. P., Martens, D. E., Draaisma, R. B., Wijffels, R. H., 2012. The impact of nitrogen starvation on the dynamics of triacylglycerol accumulation in nine microalgae strains, *Bioresource Technology*, **124**: 217-226.
- Chen, C., Chang, Y., Chang, H. Y., 2016. Outdoor cultivation of *Chlorella vulgaris* FSP-E in vertical tubular-type photobioreactors for microalgal protein production. *Algal Research*, **13**: 264-270.
- Chen, C., Yeh, K., Aisyah, R., Lee, D., Chang, J., 2011. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review. *Bioresource Technology*, **102**: 71-81.
- Chisti, Y., 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.*, **25** (3): 294-306.

- Christenson, L., Sims, R., 2011. Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances*, **29**: 686–702.
- Converti, A., Casazza, A. A., Ortíz, E. Y., Perego, P., Del Borghi, M., 2009. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. *Chemical Engineering and Processing*, **48**: 1146-1151.
- Costa, JAV, Morais, M. G., 2014. **An Open Pond System for Microalgal Cultivation**. Editors: Pandey A, Lee DJ, Chisti Y, Soccol CR. Biofuels from Algae, 1-22, Oxford, UK, Elsevier.
- Courchesne, N.M.D., Parisien, A., Wang, B., Lan, C. Q., 2009. Enhancement of lipid production using biochemical, genetic and transcription factor engineering approaches, *Journal of Biotechnology*, **141** (1–2): 31-41.
- Çanakçı, N., 2015. *Yüksek Azot ve Fosfor İçeren Atıksuların Ardışık Anaerobik-Foto Biyoreaktör Membran Sistemleri ile Arıtılması* (yüksek lisans tezi) FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., 2004. Türkiye enerji profili ve hidrojen. http://www.dizayn.com/223/223/turkiye_enerji.pdf. Erişim tarihi: 11.08.2004.
- De Andrade, GA., Berenguel, M., Guzmán, JL., Pagano, DJ., Acien, FG., 2016. Optimization of biomass production in outdoor tubular photobioreactors. *Journal of Process Control*, **37**: 58-69.
- Dębowski, M., Zieliński, M., Krzemieniewski, M., Dudek, M., Grala, A., 2012. Microalgae-cultivation methods. *Polish Journal of Natural Sciences*, **27**(2): 151-164.
- Dresselhaus, M.S., Thomas, I.L., 2001. Alternative energy Technologies. *Nature*, **414** (6861): 332.
- Drizo, A., Forget, C., Chapuis, R.P., Comeau, Y., 2006. Phosphorus removal by electric arc furnace steel slag and serpentinite. *Water Research*, **40**: 1547-1554.
- Elçik, H., Çakmakçı, M., 2017. Mikroalglerden yenilenebilir biyoyakıt üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **32** (3): 795-820.
- Eriksen, N.T., 2008. The technology of microalgal culturing, *Biotechnol. Lett*, **30** (9): 1525-1536.
- Farooq, W., Suh, W.I., Park, M.S., Yang, J.-W., 2015. Water use and its recycling in microalgae cultivation for biofuel application. *Bioresource Technology*, **184**: 73-81.
- Fernandes, BD., Mota, A., Ferreira, A., Dragone, G., Teixeira, JA., Vicente, AA., 2014. Characterization of split cylinder airlift photobioreactors for efficient microalgae cultivation. *Chemical Engineering Science*, **117**: 445-454.
- Gao, Y., Yang, M., Wang, C., 2013. Nutrient deprivation enhances lipid content in marine microalgae, *Bioresource Technology*, **147**: 484-491.
- Gazioğlu, S., 2020. Mikroalglerden Biyokütle Üretimi için 1'lik Kabarcıklı Kolon Fotobiyoreaktörün Tasarımı (yüksek lisans tezi). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Genç, N., 2011. Atıkların biyohidrojen üretim potansiyellerinin değerlendirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17** (2), 63- 77.
- Gezici, M., 2012. *Biyodizel Üretimine Uygun Mikroalglerin Gelişimine Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Etkisinin Belirlenmesi* (yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

- Gökpınar, Ş., Işık, O., Göksan, T., Durmaz, Y., Uslu, L., Ak, B., Önalın, S.K., Akdoğan, P., 2013. Algal Biyoteknoloji Çalışmaları, *Yunus Araştırma Bülteni*, **4**: 21-26.
- Gross, M., 2013. Development and Optimization of Algal Cultivation Systems (msc thesis). Iowa State University, Ames, Iowa, US.
- Guo, F., Wang, H., Wang, J., Zhou, W., Gao, L., Chen, L., Dong, Q., Zhang, W., Liu, T., 2014. Special biochemical responses to nitrogen deprivation of filamentous oleaginous microalgae *Tribonema* sp, *Bioresource Technology*, **158**: 19-24.
- Gülüm, M., Bilgin, A., Çakmak, A., 2015. Comparison of optimum reaction parameters of corn oil biodiesels produced by using sodium hydroxide (NaOH) and potassium hydroxide (KOH), *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **30** (3): 503-511.
- Hii, Y.S., Soo, C.L., Chuah, T.S., Mohid-azmi, A., Abol-munafi, A.B., 2011. Interactive effect of ammonia and nitrate on the nitrogen uptake by *Nannochloropsis* sp. *Journal of Sustainability Science and Management*, **6**(1):60:68.
- Huang, J., Li, Y., Wan, M., Yan, Y., Feng, F., Qu, X., Wang, J., Shen, G., Li, W., Fan, J., Wang, W., 2014. Novel flat-plate photobioreactors for microalgae cultivation with special mixers to promote mixing along the light gradient. *Bioresource Technology*, **159**: 8-16.
- İlhan, E., 2015. *Lipit İçeren Mikroalglerin (Chlorella emersonii ve botryococcus braunii) Atıksuların İleri Arıtımında Kullanımı* (yüksek lisans tezi). FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kadioğlu, M., 2005. Bilim ve Aklın Yolunda Gidenler Çalı Çırpıda Gül Bitiriyor, Ya Biz, *Hürriyet*, (30-05-2005).
- Karabulut, Y., 2000. *Türkiye Enerji Kaynakları*, A.Ü Basımevi, Ankara.
- Keskin, T. 2011. *AB ve Türkiye' de Enerji Verimliliğinin Enerji Sektöründeki Beklenen Etkileri*. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi.
- Kiepper, B.H., 2013. Microalgae utilization in wastewater treatment, *UGA Cooperative Extension Bulletin 1419 The University of Georgia*, 1-6.
- Kim, TH., Lee, Y., Han, SH., Hwang, SJ., 2013. The effects of wavelength and wavelength mixing ratios on microalgae growth and nitrogen, phosphorus removal using *Scenedesmus* sp. for wastewater treatment. *Bioresource Technology*, **130**: 75-80.
- Kliphuis, AMJ., Martens, DE., Janssen, M., Wijffels, RH., 2011. Effect of o₂:co₂ ratio on the primary metabolism of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Biotechnology and Bioengineering*, **108**, 2390-2402.
- Koç, E., Şenel, M. C., 2013. Dünyada ve Türkiye' de enerji durumu - Genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, **54** (639): 32-44.
- Kutluk, T., Kapucu, N., 2020. Gazlı içecek endüstri atık suyunun mikroalg ile muamelesi ve mikroalgal yağın biyoyakıt üretimi için değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **18**: 879-884.
- Kükdamar, İ., Tokuç, A., 2015. Sıfır karbon binalara ulaşmada anahtar bir cephe önerisi. *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. 8-11 Nisan 2015, İzmir.
- Lachmann, S. C., Altmann, T. M., Wacker, A., Spijkerman, E., 2019. Nitrate or ammonium: Influences of nitrogen source on the physiology of a green alga. *Ecology and Evolution*, **9**: 1070-1082.

- Lee, CG., 1999. Calculation of light penetration depth in photobioreactors. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, **4**: 78- 81.
- Liang, K., Zhang, Q., Gu, M., Cong, W., 2013. Effect of phosphorus on lipid accumulation in freshwater microalga *Chlorella* sp, **Journal of Applied Phycology**, **25** (1), 311- 318.
- Masojídek, J., Koblížek, M., Torzillo, G., 2004. **Photosynthesis in Microalgae**. (Editor: Richmond A.). Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Blackwell Publishers, Pondicherry, India. 20-39.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S., 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, **14** (1): 217-232.
- Naz, M., Gökçek, K., 2004. Fotobiyoreaktörler: Fototropik mikroorganizmalar için alternatif üretim sistemleri. **Ulusal Su Günleri**, 6-8 Ekim 2004, İzmir.
- Nwoba, EG., Ayre, JM., Moheimani, NR., Ubi, BE., Ogbonna, JC., 2016. Growth comparison of microalgae in tubular photobioreactor and open pond for treating anaerobic digestion piggyery effluent. **Algal Research**, **17**: 268-276.
- Özçelik, D., 2020. **Sürdürülebilir Hayvancılık ve Su Ürünleri sistemleri için Mikroalgler ile Entegre Atık Yönetimi** (yüksek lisans tezi). BÜ, Çevre Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pancha, I., Chokshi, K., George, B., Ghosh, T., Paliwal, C., Maurya, R., Mishra, S., 2014. Nitrogen stress triggered biochemical and morphological changes in the microalgae *Scenedesmus* sp. CCNM 1077, **Bioresource Technology**, **156**: 146-154.
- Parfit, M., 2005. Alternatif enerji. **National Geographic**, **(8)**: 76-106.
- Pragya, N., Pandey, K.K., Sahoo, P.K., 2013. A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, **24**: 159-171.
- Pulz, O., 1994. Open-air and semi-closed cultivation systems for the mass cultivation of microalgae. Editors: Phang SM, Lee YK, Borowitzka MA, Whitton BA. *Algal Biotechnology in the Asia-Pacific Region*, University of Malaya, Kuala Lumpur, 113-117.
- Rashid, N., Ur Rehman, M.S., Sadiq, M., Mahmood, T., Han, J.-I., 2014. Current status, issues and developments in microalgae derived biodiesel production. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, **40**: 760-778.
- Razzak, S.A., Hossain, M.M., Lucky, R.A., Bassi, A.S., de Lasa, H., 2013. Integrated CO₂ capture, wastewater treatment and biofuel production by microalgae culturing—A review. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, **27**: 622-653
- Ren, T., 2014. **Primary Factors Affecting Growth of Microalgae Optimal Light Exposure Duration and Frequency** (MSc thesis). Iowa State University, Ames, Iowa, US..
- Renaud, SM., Thinh, LV., Lambrinidis, G., Parry, DL., 2002. Effect of temperature on growth, chemical composition and fatty acid composition of tropical Australian microalgae grown in batch cultures. **Aquaculture**, **211**: 195-214.
- Richmond, A., 2004. **Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology**, Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing Company, ISBN 0–632–05953–2, Oxford, UK, 1-545.
- Ruiz-Martinez, A., Serralta, J., Pachés, M., Seco, A., Ferrer, J., 2014. Mixed microalgae culture for ammonium removal in the absence of phosphorus: Effect of

- phosphorus supplementation and process modeling. *Process Biochem*, **49** (12): 2249-2257.
- Salbitani, G., Carfagna, S., 2021. Ammonium utilization in microalgae: A Sustainable method for wastewater treatment. *Sustainability*, **13**: 956- 972.
- San Pedro, A., González-López, CV., Acién, FG., MolinaGrima, E., 2014. Outdoor pilot-scale production of *Nannochloropsis gaditana*: Influence of culture parameters and lipid production rates in tubular photobioreactors. *Bioresource Technology*, **169**: 667-676.
- Schenk, P.M., Thomas-Hall, S.R., Stephens, E., Marx, U.C., Mussgnug, J.H., Posten, C., Kruse, O., Hankamer, B., 2008. Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production. *Bioenergy Research*, **1** (1): 20-43.
- Seo, I., Lee, I., Hwang, H., Hong, S., Bitog, JP., Kwon, K., Lee, C., Kim, Z., Cuello, JL., 2012. Numerical investigation of a bubble-column photo-bioreactor design for microalgae cultivation. *Biosystems Engineering*, **113**: 229-241.
- Shelknanloymilan, L., 2013. *Atıksulardan Azot ve Fosforun Chlorella vulgaris Beijerinck Yardımıyla Deneysel Olarak Uzaklaştırılması* (doktora tezi). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Singh, B., Guldhe, A., Rawat, I., Bux, F., 2014. Towards a sustainable approach for development of biodiesel from plant and microalgae. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **29**: 216-245.
- Singh, P., Guldhe, A., Kumari, S., Rawat, I., Bux, F., 2015. Investigation of combined effect of nitrogen, phosphorus and iron on lipid productivity of microalgae *Ankistrodesmus falcatus* KJ671624 using response surface methodology. *Biochem. Eng. Journal*, **94**: 22-29.
- Slegers, PM., van Beveren, PJM., Wijffels, RH., van Straten, G., van Boxtel, AJB., 2012. Scenario analysis of large scale algae production in tubular photobioreactors. *Applied Energy*, **105**: 395-406.
- Song, W., Rashid, N., Choi, W., Lee, K., 2011. Biohydrogen production by immobilized *Chlorella* sp. using cycles of oxygenic photosynthesis and anaerobiosis. *Bioresource Technology*, **102** (18): 8676-8681.
- Su, Z., Kang, R., Shi, S., Cong, W., Cai, Z., 2010. Study on the destabilization mixing in the flat plate photobioreactor by means of CFD. *Biomass and Bioenergy*, **34**: 1879-1884.
- Şenel, M. C., 2012. *Rüzgâr Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları–Dinamik Davranış* (yüksek lisans tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Taziki, M., Ahmadzadeh, H., Murry, M. A., Lyon, S. R., 2015. Nitrate and nitrite removal from wastewater using algae. *Current Biotechnology*, **4** (4): 426-440.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018. Güneş, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> , Erişim tarihi: 10.06.2018.
- Van der Hulst, C., 2012. *Microalgae Cultivation Systems: Analysis of Microalgae Cultivation Systems and LCA for Biodiesel Production* (MSc thesis). Utrecht University, Heidelberglaan, Utrecht, Netherlands.
- Wolkers, H., Barbosa, M., Kleinegris, D., Bosma, R., Wijffels, RH., 2011. *Microalgae: The Green Gold of The Future?*. Wageningen UR, Propress.
- Yang, Z., Cheng, J., Xu, X., Zhou, J., Cen., K., 2016. Enhanced solution velocity between dark and light areas with horizontal tubes and triangular prism baffles

- to improve microalgal growth in a flat-panel photo-bioreactor. *Bioresource Technology*, **211**: 519-526.
- Yaşar, B., 2009. *Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel Üretim ve Kullanım Olanaklarının Türkiye Tarımı Ve AB Uyum Süreci Açısından Değerlendirilmesi* (doktora tezi). Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- Yıldırım, R. G., 2003. Dünyada ve Türkiye’de Biyokütle Enerji. *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB*, 3-4 Ekim 2003, Kayseri. 357-360.
- Yılmaz, S., Budak, F., 2018. Endüstriyel Atıksularda Mikroalgal Nutrient Giderimi ve Biyodizel Üretim Verimliliği: Süt Endüstrisi Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **33**(4): 89-96.
- Zhila, N.O., Kalacheva, G.S., Volova, T.G., 2005. Influence of nitrogen deficiency on biochemical composition of the green alga *Botryococcus*, *Journal of Applied Phycology*, **17**(4): 309- 315.
- Zhu, J., Rong, J., Zong, B., 2013. Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel, Chin. *Journal of Catal*, **34** (1): 80-100.



ÖZ GEÇMİŞ

Esra EBİNÇ ilk, orta ve lise eğitimini Van'da tamamladı. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünden 2012' de bölüm birincisi olarak mezun oldu. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine 2018' de başladı. Evli ve iki çocuk annesidir.



VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 17/01/2022

Tez Başlığı / Konusu: Biyoreaktörde Borodinelopsis texensis' den azot ve fosfor gideriminin araştırılması

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 61 sayfalık kısmına ilişkin, 17/01/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 1 (yüzde bir) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza
17/01/2022

Adı Soyadı: Esra EBİNC
Öğrenci No: 18910001109
Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği ABD
Programı: Tezli Yüksek Lisans
Statüsü: Yüksek Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR
Doç. Dr. Melih ONAY

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR