

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DISİPLİNLERARASI ÇEVRE SAĞLIĞI ANABİLİM DALI



BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALARDA MİKROALG
KULLANIMININ TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ YERİ

CANAN BİRİNCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Dr.Öğr.Üyesi EYLEM AYDEMİR ÇİL

SİNOP –18.01.2022

TEZ KABUL

CANAN BİRİNCİ tarafından hazırlanan “**BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALARDA MİKROALG KULLANIMININ TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ YERİ**” başlıklı bu çalışma, 18.01.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Muhitdin YILMAZ
Sinop Üniversitesi / Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu

İmza

**Üye
(Danışman)**

Dr. Öğr. Üyesi Eylem AYDEMİR ÇİL
Sinop Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

İmza

Üye

Doç. Dr. Arzu AYDIN UNCUMUSAOĞLU
Giresun Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi

İmza

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Erkal ARSLANOĞLU

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Canan BİRİNCİ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALARDA MİKROALG KULLANIMININ TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ YERİ

CANAN BİRİNCİ

SİNOP ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
DISİPLİNLERARASI ÇEVRE SAĞLIĞI ANABİLİM DALI

DANIŞMAN:DR.ÖĞRT.ÜYESİ EYLEM AYDEMİR ÇİL

Dünyada yaşanan önemli sorunlardan biri olan çevre kirliliğinin küresel olarak artması, artan enerji tüketimi ve küresel ısınma, ülkeleri çevre konularında farklı çözüm yolları aramaya yöneltmiştir. Türkiye ve diğer ülkeler;ekonomik ve sosyal olarak, enerji ihtiyacının artması ve yükselen çevre kirliliğine karşı daha sağlıklı bir çevrede hayatı devam ettirme çabaları da artmaktadır. Yenilenebilir teknolojiler üretilip geliştirilmeye başlanmıştır. Bu sebeple sürdürülebilir ekoloji ve sürdürülebilir yeşil ekonomi dünya gündeminde ilk sıralarda yer almaya başlamıştır. Bu nedenlerle; mikro alglerin çevresel uygulamalardaki kullanımı giderek artmakta ve mikro alg teknolojisi hızla geliştirilmektedir. Mikro alg üretiminde teknik olarak fotobiyoreaktörler ön plana çıkmış durumdadır. Buna bağlı olarak mikro alglerin biyoteknolojik ve teknik uygulamaların da; sağlıkta, gıda maddesinde, kozmetikde, ilaç yapımında, atık su arıtımında, ortamdaki ağır metal gideriminde, hayvan yemi gibi birçok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, mikro algler temel alınarak bitkisel yakıt üretimi de oldukça dikkat çekmektedir. Bu sebeple mikroalgler kömür, petrol, ve doğalgaz yerine alternatif potansiyel oluşturmaktadırlar. Bu anlamda, mikro alglerin gelecek de temelen enerji kaynaklarından biri olması ve mikro alg teknolojisinin gelişmesiyle yeşil bir devrimin gerçekleşmesi kaçınılmaz gibi görünmektedir. Bu çalışmayla, ülkemizde yeni kullanılmaya başlayan biyoteknoloji uygulamalarının ve kriterlerinin ortaya konması, biyoteknolojide kullanılan ve kullanılabilecek alg ve mikroalgler ile biyoteknoloji alanında dünyada ve ülkemizde ki durumun analiz edilmesi amaçlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELE:Biyoteknoloji; Mikroalg; Fotobiyoreaktör;Atık su arıtımı; Biyoyakıt.

Ocak,2022,.....73

ABSTRACT

MSC THESIS

THE PLACE OF MICROALG USE IN BIOTECHNOLOGICAL APPLICATIONS IN TURKEY AND THE WORLD

CANAN BIRINCI

**SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS
DEPARMENT OF INTERDISCIPLINARY ENVIRONMENTAL HEALTH**

SUPERVISOR:DR.ÖĞRT.ÜYESİ EYLEM AYDEMİR ÇİL

The global increase in environmental pollution, which is one of the significant problems in our world, increasing energy consumption, and global warming have led countries to seek different solutions for peripheral issues. Efforts have been made to produce and develop renewable technologies. In Turkey and the world, the increasing need for energy in terms of economic and social needs and efforts to maintain life in a healthier environment against rising environmental pollution is also increasing. For this reason, sustainable ecology and a sustainable green economy have started to take place at the top of the world agenda. The use of microalgae in environmental applications is gradually increasing and microalgae technology is being developed rapidly. Technically, photobioreactors have come to the fore in microalgae production. The biotechnological and technical applications of microalgae; It has started to be used in many different fields such as health, foodstuffs, cosmetics, pharmaceuticals, wastewater treatment, heavy metal removal in the environment, and animal feed. In addition, the production of vegetable fuels based on microalgae attracts a lot of attention so that, microalgae create an alternative potential instead of coal, oil, and natural gas. It means that microalgae will be one of the major resources in the future and a green revolution will take place with the development of microalgae technology. This study, it is aimed to reveal the biotechnology applications and criteria that have just started to be used in our country, to analyze the algae and microalgae used and to be used in biotechnology, the situation in the field of biotechnology in the world, and our country.

KEYWORDS:Biotechnology; Microalgae; Photobioreactor; Wastewater treatment; Biofuel.

January, 2022,73

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın **Dr.Öğrt.ÜyesiEYLEM AYDEMİR ÇİL**,ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan **Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR**'e,**Doç. Dr. Elif TEZEL ERSANLI**'yasansuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen ve her daim manevi desteği bulunan arkadaşlarımateşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve bana inanan aileme sonsuz teşekkürler.



Canan BİRİNCİ

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL	ii
ETİK BEYAN.....	iii
ÖZET	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1.Biyoremediasyon.....	4
2.1.1.Biyoremediasyonun avantajları	5
2.1.2.Biyoremediasyonun dezavantajları	5
2.1.3.Biyoremediasyon teknikleri	5
a) In-Situ arıtım.....	6
b) Ex-Situ arıtım	6
c) Kombine arıtım.....	6
Fitoremediasyon.....	6
Fitoremediasyon tipleri	7
Fitoekstraksiyon.....	7
Rizofiltrasyon.....	8

Fitostabilizasyon	8
Fitodegradasyon.....	8
Rizodegradasyon.....	9
Fitovolatilizasyon.....	9
Fitoremediasyonun kullanım alanları	10
2.2. Algler	11
Alglerin sınıflandırılmasıve genel özellikleri	12
2.2.1.Mikroalg.....	15
Mikroalglerin izolasyonu.....	16
Mikroalgal biyokütle tarihsel gelişimi ve üretimi.....	18
Mikroalg üretiminde etkili olan faktörler	19
a) Işık	20
b) Sıcaklık	20
c) Besin Maddesi.....	20
d) pH.....	21
e) Karıştırma	21
2.2.2. Mikroalglerin Biyosorpsiyon Mekanizması	21
Mikroalg biyosorpsiyonunu etkileyen faktörler	26
2.2.3.Mikroalg üretim sistemleri.....	30
Açık Sistemler (Açık Havuzlar)	31
Kapalı Sistemler (Fotobiyoreaktörler)	32

2.2.4. Mikroalglerden elde edilen ürünler ve uygulamalar	34
Tarım.....	38
CO ₂ 'nin Azaltılması.....	39
Atık Su Arıtımı	40
Bioyakıt.....	41
2. 3. Türkiye Alg Florası.....	41
2. 4. Mikroalglerin Dünyadaki Üretim Durumu.....	42
2.5.Mikroalglerin Türkiye'deki Üretim Durumu	46
2. 6.Alg Bioteknolojisinin Dünyadaki Durumu.....	48
2.7. Alg Bioteknolojisinin Türkiye’de ki Durumu	51
3. TARTIŞMA	57
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	60
5. KAYNAKLAR	61
6. ÖZGEÇMİŞ.....	73

TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Fitoremediasyon Teknolojilerinin Kirletici Çeşitlerine Göre Sınıflandırılması	7
Tablo 2.2. Fitoremediasyon tekniklerinin farklı kirletici ve ortamlarda kullanım alanları	10-11
Tablo 2.3. Bazı mikroalg türlerinin yapısındaki bileşenlerin kuru ağırlık yüzdelik oranları	16
Tablo 2.4. Yaygın olarak bilinen mikroalg kültür koleksiyonları	18
Tablo 2.5. Mikroalglerin ortalama üretim şartları	20
Tablo 2.6. Değişken mikro ve makro algler kullanılarak uygun değer koşullar altında 11 farklı ağır metal iyonunun biyosorpsiyon kapasitesi	24-25
Tablo 2.7. Mikroalg ilavesi ile gerçekleştirilen bazı çalışmalar	27
Tablo 2.8. GRAS Alglerin Aminoasit İçerikleri	38
Tablo 2.9. Algal biyoyakıt ticarileşme girişiminde bulunan şirketler	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Biyoteknoloji Temel Bilimler Ağacı	3
Şekil 2.2. Fitoremediasyon Tiplerinin Şematik Gösterimi	10
Şekil 2.3. Cyanophyta ait türler	13
Şekil 2.4. Chlorophyta ait türler	13
Şekil 2.5. Phaeophyta ait türler	14
Şekil 2.6. Rhodophyta ait türler	14
Şekil 2.7. <i>Chlorella vulgaris</i>	15
Şekil 2.8. Algal hücre duvarı üzerindeki bağlama alanlarının şematik bir temsili	26
Şekil 2.9. <i>Scenedesmus communis</i>	27
Şekil 2.10. Dış Mekân Üretim Sistemleri	31
Şekil 2.11. Raceway Tip Havuz Sistemleri	32
Şekil 2.12. Japonya Dairesel Karıştırılmalı Havuz ve Yarış Pisti Tipi Havuz Örnekleri	32
Şekil 2.13. Geniş torbalarda üretim	32
Şekil 2.14. Fotobiyoreaktörde horizontal üretim sistemi	33
Şekil 2.15. Fotobiyoreaktörde kule ve horizontal üretim sistemi	33
Şekil 2.16. Nostoc	35
Şekil 2.17. Arthrospira	36
Şekil 2.18. Ülkelere göre mikroalg üretim payı	43
Şekil 2.19. GreenFuel Tech Aurora Biofuels Gmbh, Arizona, alg üretim tesisi	44
Şekil 2.20. Algepower Gmbh Manhattan, ABD’de yeni kurulan bir fotobiyoreaktör	44
Şekil 2.21. İspanya’da Synthetic Genomics Gmbh ait bir mikroalg üretim tesisi	44
Şekil 2.22. İsrail Algae Technologies Gmbh tesisi	45
Şekil 2.23. Almanya Otto Pulz laboratuvarlarına ait kapalı üretim tesisi	45
Şekil 2.24. Kapalı (a) ve açık (b,c) sistem alg üretim tesisleri	46
Şekil 2.25. Ege Üniversitesi Biyomühendislik bölümü mikroalg üretim serası	47
Şekil 2.26. İzmir Bergama’da Ege Biyoteknoloji A.Ş Mikroalg Üretim Tesisi	48
Şekil 2.27. SymBIO2, algler ve binalar arasındaki yenilikçi ortak yaşam	50
Şekil 2.28. Alg Evi, fotobiyoreaktörlerle oluşturulan bina cephesi	50
Şekil 2.29. Ennesys ve OriginOil işbirliği binası	51

Şekil 2.30. Boğaziçi Üniversitesi’ndeki İstanbul Mikroyosun Biyoteknolojileri AR-GE Birimi (İMBİYOTAB).....	52
Şekil 2.31. İMBİYOTAB açık ve kapalı sistem havuzlar	54
Şekil 2.32. Arthrospira platensis’in yetiştirilmesi için kullanılan karıştırmalı tank havuzlar, A; Paralel üretim sistemi, B; Aydınlatmalı üretim sistemi (Demirel ve ark., 2018)	55
Şekil 2.33. AlgaeTECT Evi	



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

N	: Azot
P	: Fosfor
S	: Kükürt
O ₂	: Oksijen
NH ₃	: Amonyum nitrat
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
Ni	: Nikel
CO ₂	: Karbondioksit
H ₂ O	: Su
Nm	: Nanometre
Co	: Kobalt
Al	: Alemnünyum
As	: Arsenik
Au	: Altın
Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
Hg	: Civa
Pb	: Kurşun
Se	: Selenyum
Ppm	: Milyonda bir birim
m ²	: Metre kare
m ³	: Metre küp
mg/L	: Litre başına miligram

Kısaltmalar

EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu
UTEX	: The Culture Collection of Algae at the University of Texas Austin ,
ACOI	: Coimbra Collection of Algae,
ANACC	: Australian National Algae Culture Collection,
CCAP	: Culture Collection of Algae and Protozoa
NIES	: Microbial Culture Collection at National Institute for Environmental Studies
SAG	: Sammlung von Algenkulturen at University of Goettingen
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
IFAD	:Uluslararası Tarımsal Kalkınma Fonu
UNICEF	:Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu
UN	: Birleşmiş Milletler
FDA	: Amerika Gıda ve İlaç İdaresi
SYGM	: Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
GRAS	: Genel Olarak Güvenli Kabul Edilen
DSİ	: Devlet Su İşleri
ABDEB	: ABD Enerji Bakanlığı
KOSGEB	:Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
ÇEVMER	: Çevre Araştırma ve Uygulama Merkezi
YTB	: Yağlı tohumlu bitkiler

UNESCO : Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü

İMBİYOTAB :Boğaziçi Üniversitesi'ndeki İstanbul Mikroyosun Biyoteknolojileri
AR-GE Birimi

AIC : Cambridge Üniversitesi Mikroyosun İnovasyon Merkezi

INDEPENDENT: Biyoekonomi Odaklı Gelişim için Entegre Biyorafineri Konsepti

IPA : AB Katılım Öncesi Mali Yardım Programı Aracı

KÜSİ : Kamu Üniversite Sanayi İşbirliği



1. GİRİŞ

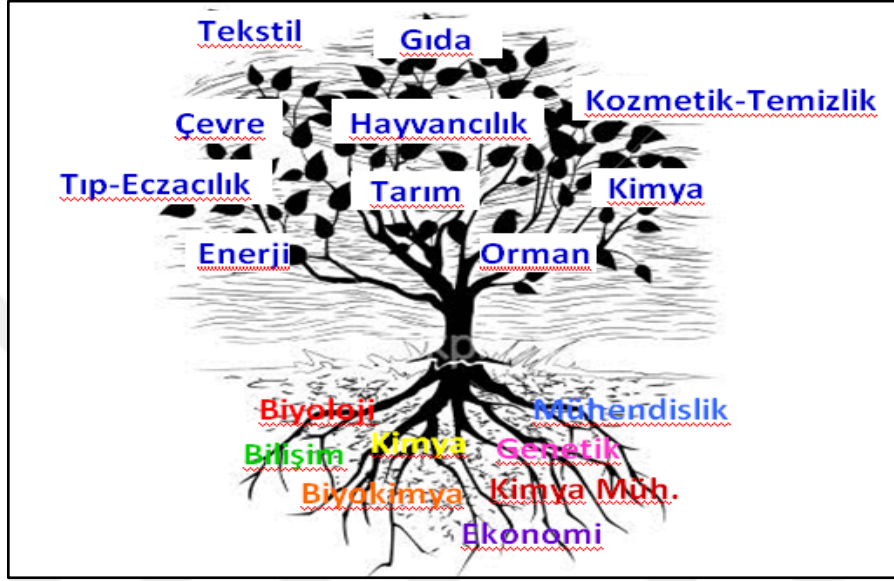
Artan dünya nüfusuna bağlı olarak enerji, yakıt,gıda gibi kaynakların tüketimi büyük oranda artmıştır.Bu artışla beraber kaynakların sonsuz kullanımı mümkün olmamakla birlikte artan kirliliği de beraberinde getirmektedir. Dünyadaki tüm ülkelerin son yıllarda hem fikir olduğu ‘Yeşil Mütabakat’ çerçevesinde dönüştürülebilen çevre dostu ürünlerin yakıt, kirlilik kontrolünde kullanımı ve bu alanlarda biyoteknolojik uygulamaların yaygınlaşması önem arz etmektedir.

Biyoteknoloji; canlıların veya onların ürünlerinin,insana (veya çevresine) yararlı bir ürün haline getirmek veya bir problemi çözmek için kullanılmasıdır(Thieman ve Palladino, 2013).Amerika Birleşik Devletleri Bilim ve Teknoloji Değerlendirme Ofisi tanım olarak biyoteknolojiyi; mahsul üreten veya ona şekil veren, bitki ve hayvan çeşitlerini iyileştiren mikroskobik organizmaları, ayrıcalıklı kişilerde kullanılmak üzere geliştirip, yaşayan organizmalarda kullanılabilen duruma getiren metod ya da materyaldir (Renneberg ve ark.,2008).Biyoteknolojinin uzun bir geçmişi bulunmaktadır.Milyonlarca yıl önce insanlar göç hayatı yaşamışlar,bitkilerle ve hayvan avlama ile yaşamlarını devam ettirmişlerdir. Göç etme yaşamlarını bir süre sonra bırakarak yerleşik bir hayata adapte olmuşlardır. Arkeoloji çalışma sonuçlarına göre topraktan ürün almak için ilk uğraşan popülasyonların Yakın Doğu’da görüldüğü ve şimdiki zaman diliminde Türkiye, İran, Irak, Suriye, Ürdün, Lübnan ve İsrail gibi ülkelerde yetiştirilen arpa, buğday ve çavdar olduğu,mikroorganizmaların yaşamı ve besinlere etkisi 200 yıl kadar önce bulunmuştur. Milattan önce 1800’lü yıllarda Mısır ve Babil halkı mayalı hamuru kullanmışlardır. M.Ö. 4000 yıllarında Çinliler tarafından alfa hidroksipropenoyik asit (laktik asit) ve etanoik asit (asetik asit) bakterileri ile süt ürünü olan yoğurdu ve peyniri ayrıca sirke üretilmiştir. Hollandalı biyolog Anton Van Leeuwenhoek 1680 yılında mikroskopta bira fermentasyonuna çalışmıştır.Maya hücrelerini gözlemleyen Leeuwenhoek tanımlama ve çizimlerini yapmıştır.1700’lerin başında, alkol üretimine başlanmış,1883 yılında üreticiler fermentasyonu tanıtımını yapmışlardır.1900 ile 1940 senelerinin arasında, ekonomik mayalanma ürünlerini; gliserol, aseton, bütanol, laktik asit, sitrik asit ve ekmek mayasını içine alacak şekilde genişletilmiştir.Modern, multidisipliner biyoteknoloji, 300 yılı aşkın süreçte teknolojik ilerlemeler ve bilimsel buluşların sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Renneberg ve ark., 2008).

Günümüze kadar uzun yıllar boyunca farklı metodlarla biyoteknoloji kullanılmıştır. Son çeyrek asırda dünyada yaşanan enerji ve yakıt kullanımının artması ile artan kirlilik geri dönülmesi zor bir evreye girmiştir. Enerji ve yakıt olarak kullanılan maddelerin sürdürülebilirliği de mümkün görülmemektedir. Dünya üzerinde kullanılan su kaynakları, fosil yakıtlar gibi bileşenler insanlık için tehlike oluşturmaktadır. Bundan dolayı dünyada enerji ve yakıtta kullanılabilecek alternatif kaynakların arayışı gündemdedir. Özellikle ‘Çevre Dostu’, ‘Yeşil Enerji’ olarak kullanılabilecek ürünlerin değerlendirilmesi önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada Su Ürünleri’nden yeni alternatif biyolojik kaynakların bir araya getirilerek, dünyada yapılan çalışmalar ve ülkemizdeki çalışmaların ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca ülkemizde yeni kullanılmaya başlayan biyoteknoloji uygulamalarının ve kriterlerinin ortaya konması, biyoteknolojide kullanılan ve kullanılabilecek alg ve mikroalglerin yapısal özelliklerinin verilmesi, biyoteknoloji de dünyada ve ülkemizde ki durumun ortaya konularak analiz edilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Biyoteknolojiye farklı birçok disiplinler katkıda bulunurlar. Temel bilimler bütün alanlardaki biyoteknolojinin altyapısı veya ‘temeli’ dir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Biyoteknoloji Temel Bilimler Ağacı (Küçükakarsu,2017)

Avrupa Birliği Biyoteknoloji Renk Kodları aşağıdaki gibidir:

- Mavi Biyoteknoloji: Deniz ve sulardaki biyoteknolojik uygulamaları
- Yeşil Biyoteknoloji: Tarım alanındaki biyoteknolojik uygulamaları
- Kırmızı Biyoteknoloji: Tıp ve eczacılık alanındaki biyoteknolojik uygulamaları (Anonim, 2017) ifade etmektedir.

Biyoteknoloji; mikrobiyal biyoteknoloji, tarımsal biyoteknoloji, hayvan biyoteknolojisi, adli biyoteknoloji, biyoremediasyon, akuatik biyoteknoloji ve tıbbi biyoteknoloji gibi alt dallarda incelenmektedir. Kirlilik sorunlarının çözümünde biyoremediasyon yoluyla insanlar ve doğal yaşam için daha temiz bir çevre oluşturabilirler (Thieman ve Palladino, 2013).

2.1.Biyoremediasyon

Biyoremediasyon, mikroskobik canlılar aracılığı ile toksik maddeleri zararlı olmayan bileşiklere çeviren bir sürekli işlemler olup, kimyasal sıvıların ve zararlı artıkların ayrıştırılmasında uygulanan bir yöntemdir (Ceyhan ve Esmeray, 2012).

İnsan aktivitelerinin artması, enerji kaynakları, güvensiz tarım uygulamaları ve hızlı sanayileşme ile çevresel kirlilik artmaktadır. Kirliliğe neden toksisiteler; ağır metaller, nükleer atıklar, böcek ilaçları, sera gazları ve hidrokarbonlardır. Çevre dostu özelliklerinden dolayı etkili ve güvenilir olması nedeni ile kirlenmiş alanlar, mikrobiyal süreç (biyoremediasyon) ile iyileştirilebilmektedir (Azubuike ve ark., 2016).

Biyoremediasyonda mikroorganizmalar fungus, mayave bakteriler rol oynamaktadır (Frazar, 2000). Bakteriler zararlı atıkları, zararsız yan ürünlere dönüştürürler ve sayıları normal popülasyon düzeyine ulaşır veya ölürler (Alexander, 1999). Ayrıca, arazilerde bulunan mikroskobik canlıların tespiti ile toprak iyileştirilmesinde ideal şartlar oluşturabilmektedir (Ceyhan ve Esmeray, 2012).

Biyoremediasyondaki kirlenici maddeleri parçalayan ve onları zararsız maddelere çeviren mikroorganizmalar kirlenici maddelere maruz bırakıldığında maddeleri yıkmak yönünde eğilim gösterirler. Zararlı maddeyi bozunuma uğratarak enerji sağlayarak ön plana çıkmaktadır (Alexander, 1999).

Biyodegradasyon veya biyolojik bozunum, bu organizmaların farklı kirlenicilerin parçalanmasında kullanılmasıdır (Hamutoğlu ve ark., 2012). Biyodegradasyon doğal bir işleyiş olması karşın bozunabilen bazı organik maddeler tabiatta bozunmadan bulunmaktadır. Bunun nedeni çevresel koşulların bu süreçteki etkileridir (Alexander, 1999).

Bu etkiler:

- Kimyasal madde yoğunluğunun mikroorganizmaya zararlı etki yapacak seviyeye ulaşması ile uyum sorunu oluşması,
- Mikroorganizma çeşitliliğinin bozunma için yetersiz ve elverişli olmaması,
- Aşırı asidik ve bazik çevre şartları,
- Besin içeriği olarak petrol ve petrokimyasal atık maddelerinin bozunması için gerekli N, P, S vb. iz elementlerin bulunmaması,
- Elverişsiz nem durumu

➤ Enerji kaynağı olarak kimyasal atıkları kullanan mikroorganizmaların O_2 ve NH_3 gibi elektron alıcılarının bulunmaması da bu etkiler arasındadır (Ceyhan ve Esmeray, 2012).

2.1.1. Biyoremediasyonun avantajları

- ❖ Çevresel olarak güvenli ve doğal bir işlemdir.
- ❖ Besin maddesi olarak kirlenmiş ortamda bulunan mikroorganizmalar artış göstermektedir. Kirlenmiş ortamda ise mikroorganizma miktarı doğal olarak azalmaktadır.

Biyobozunumdan genellikle karbondioksit, su, yağ asitleri gibi zararsız bileşikler çıkar. Doğal kirlenmeden daha zararlı bir mahsul oluşturulması azdır.

- ❖ Kirlenmiş bir ortamdan başka bir ortama transfer yapılmadan hedefteki kimyasal maddeler tamamen bertaraf edilmektedir.
- ❖ Ayrıca tehlikeli atıkların ortadan kaldırılması için sık kullanılan tekniklere göre daha ucuzdur ve atıkların taşınması pek tercih edilmez.

2.1.2. Biyoremediasyonun dezavantajları

- ❖ Biyoremediasyonun arıtım teknolojisi şeklinde kullanımını mevcut sınırlamalar engellemektedir.
- ❖ Biyoremediasyona başlamadan iyi bir araştırma yapılması gerekmektedir. Kirlenmiş ortamın karışımı için bu alanlarda biyoteknoloji mühendisi, ortamdaki mikroorganizmaların yalıtımı ile ilgili mikrobiyoloji uzmanlarına, bozunum yollarının belirlenmesi için biyokimya uzmanlarına ihtiyaç vardır.
- ❖ Biyoremediasyon tekniğinde temizleme, yakma ve toprağın alımıp taşınması ile karşılaştırıldığında daha uzun zamana yayılmaktadır.
- ❖ Zararlı madde yan ürünlerin oluşabilmesine karşı tedbirli olmak gereklidir (Alexander, 1999).

2.1.3. Biyoremediasyon teknikleri

Biyoremediasyon ; In-situ arıtım, Ex-situ arıtım ve kombine arıtım teknikleri olarak 3 sınıfta incelenir (Keshav ve ark., 2010).

a) In-Situ arıtım

Yeraltı ve yüzey sularının arıtımını kapsayan bir tekniktir. Havadaki oksijenden yararlanıldığı için yüzey arıtımında oksijenin eldesi kolaydır. Yeraltı remediasyonunda ise kirliliğe oksijen veya su ilave edilerek arıtım yapılır (Alexander, 1999).

b) Ex-Situ arıtım

Kontamine bölgelerden alınarak arıtım tesisindeki su ile karıştırılıp kesiksiz oksijen eklemesi ile suyun içinde bulunan organik maddenin bozunumu gerçekleştirilir (Alexander, 1999).

c) Kombine arıtım

Tehlikeli atıklar için önerilen bir tekniktir. Tıbbi atıkları, radyoaktif atıklar, arıtım çamurlarının bırakıldığı alanlar tehlikeli atık alanlarıdır. Bu alanlar kolaylıkla bozunuma uğramayan karmaşık ve inorganik bileşik karışımları içerir ve sadece kombine arıtım ile temizlenirler (Alexander, 1999). In-situ ve Ex-situ arıtım tekniklerinde fitoremediasyon teknolojisi öne çıkmaktadır. Fitoremediasyon teknolojisini anlamak için tanımını ve tekniklerini bilmek gereklidir. Bu nedenle fitoremediasyona bir göz atmak gerekir.

Fitoremediasyon

Bitki anlamına gelen “phyto” ile ıslah anlamındaki “remediation” kelimelerinin bir araya getirilmesi ile terminolojiye 1991 yılında girmiş olan “phytoremediation”, “bioremediation”, “botanical remediation” ve “green remediation” şeklinde bilinmektedir. Dilimizde “Yeşil Islah” olarak ifade edilen bitki temelli, çevre ıslahında kullanılan teknolojidir. Bu teknoloji sayesinde organik ve inorganik maddelerin oluşturduğu kirlilik bitkiler kullanılarak yok edilebilmektedir (Vanlı, 2007). Fitoremediasyon tekniğinde çevresel kirliliği içine alan, bünyesinde biriktiren belirli aşamalardan sonra bertaraf hale getiren hiperakümülatörler kullanılmaktadır (Raskin ve ark., 1997). Farklı ıslah yöntemleriyle kıyaslandığında daha

düşük maliyetli, uygulamanın basit ve sürecin kısa olması gibi avantajları bulunmaktadır (Glass, 1999).

Fitoremediasyon, hiperakümülatörlerin arazi ve/veya su ortamından organik ve/veya inorganik kirletenleri alarak,

- Kök kısmında hareketsizleştirerek,
- Kök ve bitkinin yukarı kısımdaki organlarının içlerine alarak depo ederek,
- Köklerin yardımı ile bitkinin üst organ kısımlarına taşınarak gövde ve yapraklarında metabolize ederek buharlaştırıp ortamların temizlenmesini sağlayan bir teknolojidir.

Bitkiler aracılığı ile bulunduğu ortamdan alınma potansiyeli olan kirleticiler, elementler, metaloidler, radyonükleidler, ametaller ve pestisitler gibi maddeleri içermektedir (Vanlı, 2007).

Fitoremediasyon tipleri

Fitoremediasyon tipleri kirleticilerine göre sınıflandırılmıştır. Kirleticiler metal ise; fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon ve rizofiltrasyon, organik ise; fitodegradasyon, rizodegradasyon ve fitovolatilizasyon olmak üzere altı farklı sınıfa (Tablo 2.1) ayrılmıştır (Aybar ve ark., 2015).

Tablo 2.1. Fitoremediasyon Teknolojilerinin Kirletici Çeşitlerine Göre Sınıflandırılması (Aybar ve ark., 2015).

Metal Kirleticilerde Kullanılan Yöntemler	Organik Kirleticilerde Kullanılan Yöntemler
Fitoekstraksiyon	Rizodegradasyon
Fitostabilizasyon	Fitodegradasyon
Rizofiltrasyon	Fitovolatilizasyon

Fitoekstraksiyon

Toprak kirlenmesinden kaynaklanan metal kirleticilerin bitki kökleri yardımı ile alınmasına verilen isimdir. Bitkiler topraktaki toksik maddeleri alma konusunda değişik özelliklere

sahiptirler. Bu sebeple kirleticiler için hiperakümülatör bitkiler kullanılmalıdır. Zn, Cu ve Ni gibi ağır metal barındıran bileşikler bu teknik ile fitoekstrakte edilebilmektedirler. Bitkiler zararlı metalleri kökleri vasıtasıyla farklı organlara dağıtırlar. Ağır metalleri barındıran bitkiler hasat edilerek yakılırlar veya farklı uygulama işlemlerine tabi tutulurlar (EPA, 1995).

Rizofiltrasyon

Bu yöntem için kullanılması düşünülen bitkilerde süzme işlevini yapan gelişmiş bir kök sistemine gereksinim vardır. Daha çok kirlenmiş sudaki ağır metallerin sudan uzaklaştırması için uygulanmaktadır. Kirleticiler bitkilerin köklerinin yüzeyinde emilir veya köklerden emilerek bitkinin diğer organlarına taşınır (EPA, 1995).

Fitostabilizasyon

Fitostabilizasyon toprak kaymalarının oluştuğu alanlardaki kaymaları engellemek, kirleticilerin yer altı suyuna karışmasını ve toprakla doğrudan etkileşimi engelleyebilmek için kullanılır. Bu yöntemde toprak üzeri ortama uygun hiperakümülatör bitkiler ile kapatılmaktadır (Bert ve ark., 2005).

Bu yöntem daha çok toprak, sediment ve çamurların ıslahında kullanılır. İyileştirme çalışmaları kirlenmiş topraklarda hibrit kavaklar ve Hindistan hardalı gibi bitkilerle yapılmış çalışmaların başarıyla sonuçlandığı gözlemlenmiştir (EPA, 2000).

Fitodegradasyon

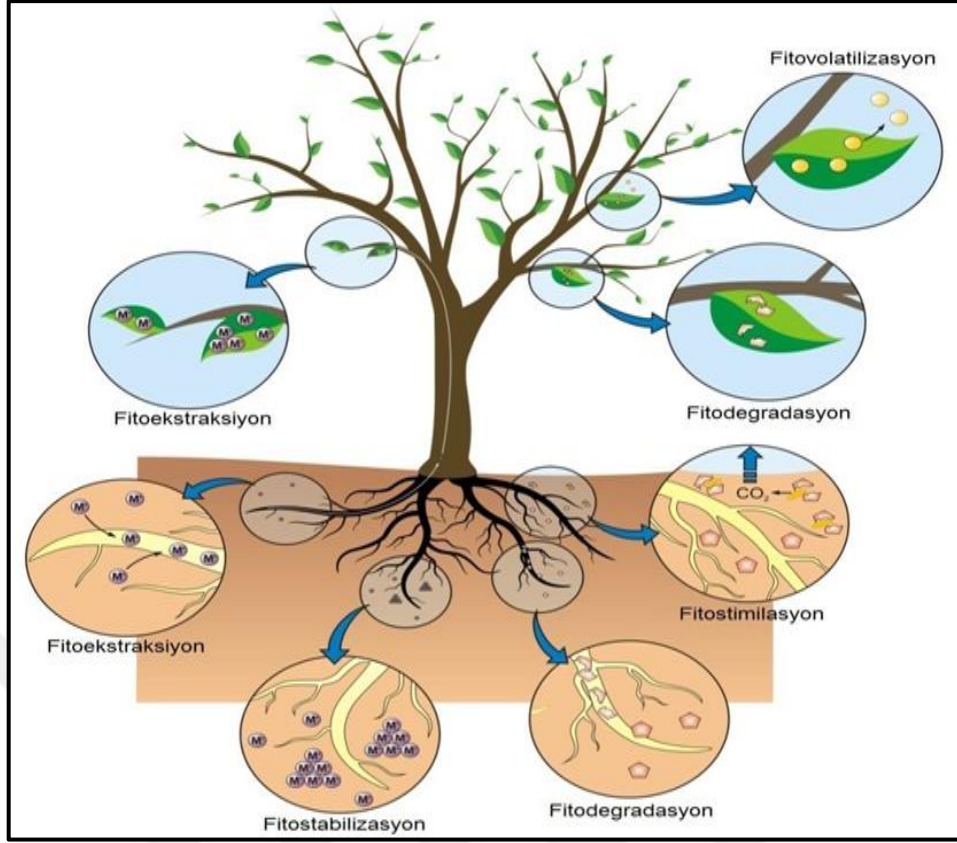
Fitodegradasyon yönteminde hiperakümülatör bitkiler aracılığı ile ortamdan toplanan kirleticilerin yapısı değiştirilir. Bu da enzimatik reaksiyonların gerçekleşmesi ile bozunuma uğrayıp daha küçük parçalara ayrıştırılan moleküller bitkiler ile metabolik olarak farklı şekildedeki değerlendirilecek hale getirilerek bitki dokuları ile birleşmiş bir hal alırlar. Bu metod ile birçok farklı kirletici ıslah edilebilir. Örneğin; yeraltı sularındaki çözücüler, topraktaki petrol ve aromatik bileşikler ve havadaki uçucu bileşikler gibi (Newman ve Reynolds, 2004).

Rizodegradasyon

Bu teknikde bitkiler toprak mikroorganizmaları aracılığı ile organik kirleticileri aktif olmayan duruma getirmesidir. Organizmaların enerji ihtiyaçlarınınıtemini için gerekliolan besinleri üreten mikroorganizmalar, kök sistemleri ile toksik maddelerin yapılarında değişiklikleroluştururlar. Bu durum yaşamsal faaliyetlerindevami için mikroorganizmaları en uygunseviyede tutar ve zararlı kirleticilerin sürekli parçalanmasını sağlayarakorganik kirleticilerin bozunmuş hallerini bünyelerinde biriktirirler (Söğüt ve ark., 2002).

Fitovolatilizasyon

Bitkisel buharlaştırma; organik kirleticiler ve ağır metal bulunan suyun büyük bir miktarını kökler aracılığı ile bünyesine alan ağaçlarda oluşur. Bu yöntemde tutulan kirleticiler çok uçucu olmayan formlar haline getirilerek transpirasyon ile tabiatatırılmaktadır.Bu sayede kirleticiler, havaya terleme ile gaz haline dönüşerek karışmaktadır (Ghosh ve Singh,2005). Fitoremediasyon tiplerinin şematik görünümü Şekil 2.2' de verilmiştir.



Şekil 2.2. Fitoremediasyon Tiplerinin Şematik Gösterimi (Favas ve ark., 2014)

Fitoremediasyonun kullanım alanları

Son dönemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan fitoremediasyon çalışmaları değişik metal ve organik kirleticilerle farklı ülkelerde denenmiş ve olumlu verilere ulaşılmıştır(Türkoğlu, 2006).Tablo 2.2’de farklı fitoremediasyon sınıflarına göre kirleticileri ortamlarıile kullanılan farklı bitkiler verilmiştir (Hamutoğlu ve ark.,2012).

Tablo 2.2.Fitoremediasyon tekniklerinin farklı kirletici ve ortamlarda kullanım alanları (Hamutoğlu ve ark.,2012).

Mekanizma	Ortam	Hedef Kirleticiler	Bitkiler

Fitoelestraksiyon	Toprak sediment ve amur	Metaller, metalloidler ve radyonkleidler	Hindistan hardalı, Alyssum, ay çiçeği , hibrit kavaklar
Rizofiltrasyon	Yüzey ve yeraltı suyu	Metaller, radyonkleidler	Ay ieği, Hindistan hardalı, Su sümbülü
Fitostabilizasyon	Toprak, sediment ve amur	As, Cd, Cr, Cu, Hs,Pb, Zn	Hindistan hardalı, hibrit kavaklar, çimler
Rizodegradasyon	Toprak, yeraltısuu	Organik bileşikler	Kırmızı dut, çimler
Fitodegradasyon	Toprak, sedimentve çamur, yeraltısuu yüzey suyu	Organik bileşikler, klorinat çözücüler, herbisitler, fenoller	Alg, hibrit kavaklar, Siyah söğüt, Servi
Fitovolatilizasyon	Toprak, sediment ve çamur, yeraltısuu	Klorinat zcler, bazı inorganikler (Se, Hg, As)	Kavaklar, yonca, Hindistan hardalı

2.2. Algler

Algler fotosentez sonucu olarak; karbonhidrat, protein ve lipid üreten, prokaryotik veya ökaryotik organizmalardır (Richmond, 2004). Ekolojik olarak algler yeryüzünün her yerinde yayılım gösterirler. Tatlı su, deniz ve karasal ortamlardabulunabilirler, fakat %70'nin yayılım gösterdiği alanlar; denizler, gller ve nehirlerdir. Karada nemli ortamlarda, toprak, ağaç ve kayalara tutunarak yağayabilirler. İlerinde plankton olanları bulunduğu gibi epifitik, epizoik, episammik, epilitik olanları, bitki dokularının intersellüler boğluk kısımlarında kısmen parazit yağayanları, hayvan ve bitkilerde simbiyotik yağayanları bulunmaktadır. Fotosentez yapmak için ığık bulabildikleri her yerde yağayabilmektedirler (Gmğ, 2006).

Algler su ortamının primer üreticileridir ve besin zincirinin temelini oluştururlar (Cirik ve Cirik, 2011). Yapılarındaki bulunan renk maddeleriyardımları ile CO_2 ve H_2O 'yu ışıkyardımlarıyla karbonhidratlara çevirerek sucul yaşamadaki besin miktarı ve oksijen artışına sebep olurlar (Demiriz, 2008).

Denizlerin, akarsu ve göllerin önemli canlılarından olan alglerden gıda, tarım, kozmetik, tıp, eczacılık ve endüstri alanlarında yararlanılmaktadır. (Cirik ve Cirik, 2011; Gümüş, 2006). Algler, karbondioksiti potansiyel biyoyakıt, yiyeceklere, hayvan yemine ve yüksek değerli biyoaktiflere dönüştüren güneş enerjisini kullanan canlılardır. Arazi ve suda bulunan kirliliğin bertarafında ve biyogübre içinde nitrojen tutulumuna destek olmaktadır (Chisti, 2007).

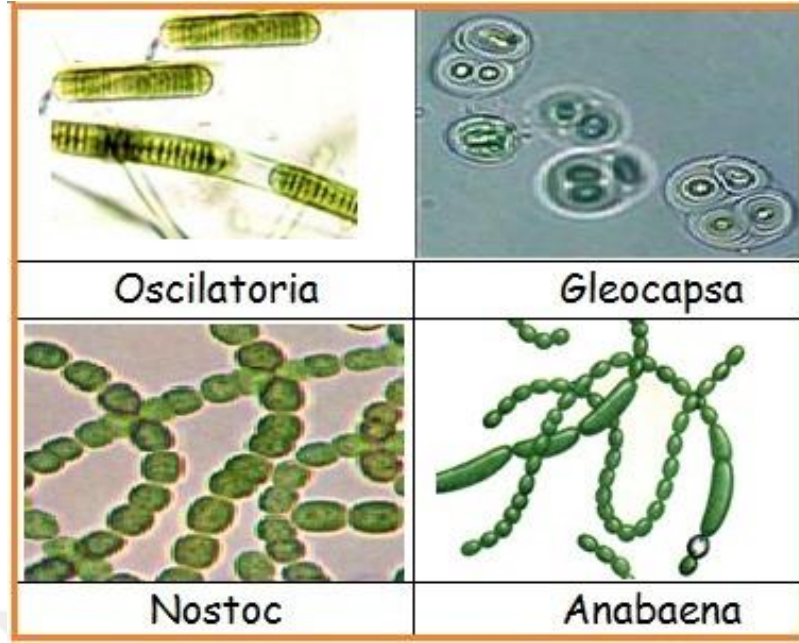
Alglerin sınıflandırılması ve genel özellikleri

Mikroorganizmaların sınıflandırılmasında, biçim değiştirme (suş); bir mikroskopik canlının başka alt türlerinin birbiri arasındadeğişik genetik gruplarını, tür; aynı soydan gelen ve benzerlik gösteren mikroorganizmaları, cins; bir araya gelen birbirine benzeyen büyük popülasyonları belirtmektedir (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

Algler yapı bakımından prokaryot ve ökaryot olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Bu sınıflar arasında sitolojik, morfolojik, biyokimyasal özellikleri, üremeleri ve hayat döngüleri açısından farklılıklar görülmektedir (Bowen, 1996). Çeşitli alg gruplarına ait örnekler şekil 2.3 ve şekil 2.6'larında verilmiştir.

Alglerin sınıflandırılmasında günümüzde gözönünde bulundurulan özellikler şunlardır:

- a- Plastidlerdeki pigmentler
- b- Fotosentez sonunda oluşan besin depo maddeleri
- c- Hareketli üreme hücrelerinin kamçı yapıları
- d- Hücre çeperinin kimyasal yapısı
- e- Çekirdeğin zar yapısı ve çekirdek materyalinin özellikleri
- f- Üreme organları ve üreme biçimleri ile hayat devreleri (Yurdakulol ve Cansaran, 2004).



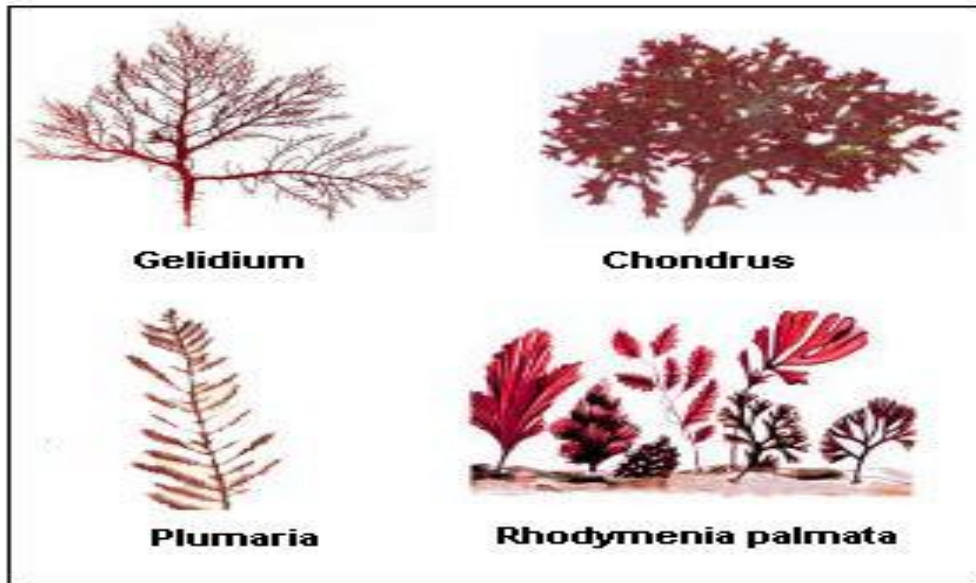
Şekil 2.3. Cyanophyta ait cinsler (Anonim, 2017b)



Şekil 2.4. Chlorophyta ait cinsler (Anonim, 2017c)



Şekil 2.5. Phaeophyta ait cinsler (Anonim, 2017d)

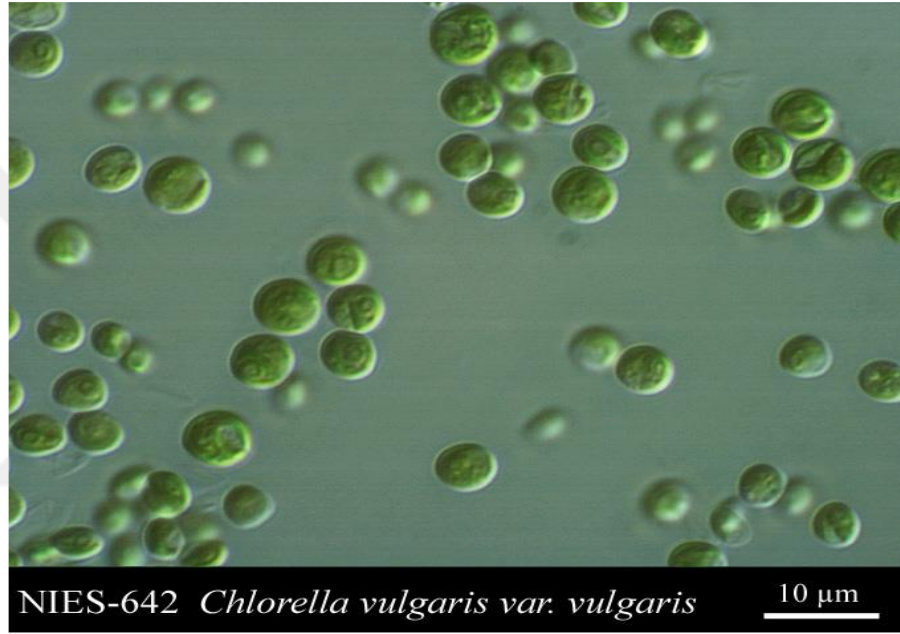


Şekil 2.6. Rhodophyta ait cinsler (Anonim, 2017e)

Mavi yeşil algler (Cyanobacteria) canlılar için protein, karbonhidrat, lipit, vitamin, enzim ve diğer biyoaktif bileşenleri bakımından değerlidirler (Pinotti ve Segato, 1991).

Bazı türler fotosentezle birlikte azot bağlanması da yapabilirler. Bazı türlerin nörotoksin üretme yeteneği bulunmaktadır. Fotosentez kabiliyetleri, protein içeriklerinin fazla olması ve basit besiyerlerde hızlı çoğalabilmeleri besin kaynağı olarak kullanım alanına sahiptirler (Elliot ve ark., 1982).

Ökaryotik alg Chlorophyta (yeşil algler) grubu alglerde karbonhidrat ve yağ üretiminin artması nedeniyle ile besin değerleri yüksektir (Demiriz, 2008). Chlorophyta'dan *Chlorella vulgaris* (Şekil 2.8.) en zengin klorofil kaynağına sahiptir. Klorofil, zarar görmüş dokularını iyileşmeyi hızlandırdığı bilinmektedir. Klorofil sindirim sistemine, pis koku oluşturan bakterileri bertaraf ederek yardımcı olmaktadır. Ayrıca hemoglobine benzer yapısından dolayı kan yapımını arttırdığı düşünülmektedir. Nükleik asitleri yardımı ile hızlı bir şekilde çoğalarak kendine has hücrelerin çoğaltmaktadır (Demiriz, 2008).



Şekil 2.7. *Chlorella vulgaris* (Demiriz, 2008).

2.2.1. Mikroalg

Su ortamında büyüyen, tek hücreli ve çok hücreli yapılarda bulunabilen, basit heterotrofik ve/veya ototrofik fotosentetik mikro organizmalardır (Zhu, 2015). Prokaryotik veya ökaryotik yapıda bulunabilen mikroalgler, ivedi olarak çoğalabilmekte ve tek hücreli veya basit çok hücreli yapıları özellikleri ile uygun olmayan şartlara adapte olarak da yaşayabilmektedirler. Mikroalglerin 50000'den fazla türü bulunduğu düşünülmektedir, fakat yaklaşık 30000 kadar türü belirlenebilmiştir (Mata ve ark., 2010). Mikroalglerin yapısında lipitler (%4-55) (Becker, 2007; Miao ve ark. 2004), karbonhidrat (%6-57) (Yeh ve ark., 2010; Hariskos ve ark., 2014), protein (%10-63) (Becker., 2007; Miao ve ark. 2004) gibi birçok bileşen bulunmaktadır. Mikroalglerin bazılarında %70'den (kuru ağırlık) fazla lipit içerdiği bildirilmiştir (Suali ve

Sarbatly2012; Bahadar ve ark., 2013). Bazı mikroalglerin yapısındaki bileşenlerin yüzdelik oranları tablo2.3’de verilmiştir.

Tablo2.3. Bazı mikroalg türlerinin yapısındaki bileşenlerin kuru ağırlık yüzdelik oranları(Elcik ve Çakmakcı, 2017)

Mikroalg	Karbonhidrat	Protein	Lipit
<i>Chlorella vulgaris</i>	6-10	25-30	30-40
<i>Scenedesmus obliquus</i>	10-17	50-56	12-14
<i>Spirulina platensis</i>	8-14	46-63	4-9
<i>Pavlova lutheri</i>	11,7	28,8	37
<i>Isochrysis sp.</i>	26,7	21,5	31,9
<i>Chlorella protothecoides</i>	15,4	10,2	55,2
<i>Prymnesium parvum</i>	25-33	28-45	22-38
<i>Dunaliella salina</i>	32	57	6
<i>Porphyridium cruentum</i>	40-57	28-39	9-14
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	17	48	21
<i>Chlamydomonas sp.</i>	33,2	17,9	41,1

Heterotrofik ve miksotrofik gelişimde, genellikle organik karbon kaynağı için glikoz, galaktoz, mannoz, fruktoz, sükroz ve laktoz kullanılmaktadır (Abreu ve ark., 2012). Organik karbondan elde edilen enerji, hücre sentezinde kullanılmakta, ışık enerjisinden elde edilen kimyasal enerji ise depolanmaktadır (Kim ve ark., 2013).

Mikroalglerin izolasyonu

Literatürde, doğadan numune toplama ile ilgili belirlenmiş bir prosedür yoktur. Numuneler, kaya yüzeylerinden veya dip sedimentlerden kazıma, ayırma, fırçalama ile alınabilmektedir. Fırçalama yöntemi etkili bir yöntem olmakla birlikte, mikroalgal hücreler zarar uğramadan alınabilmektedir. Derin tatlı su göllerinden ve barajlardan numune alımı ise, en az üç farklı derinlik bölgesinden numune alınarak, farklı ışıklandırma seviyelerine toleranslı türler seçilebilmektedir (Mutanda, 2011). Toplanan mikroalg türlerinin izolasyonunda farklı yöntemler tercih

edilmektedir. Bunlar: Mikropipet kullanarak tek hücre izolasyonu, agar yöntemi ile seyreltme tekniği ve ağırlığa göre ayırma, bilinen izolasyon teknikleridir. İzolasyon işleminde izlenen yol genel olarak: (1) tabiattan alınan örneklerin laboratuvara getirildikten sonra iri boyuttaki uygun olmayan türlerin, filtre yardımıyla ayrıştırılması, (2) filtre edilen numuneden seyreltme yöntemi ile aşamalı bir şekilde hücre sayısının azaltılması, (3) seyreltilen numune mikroskopta incelenerek, istenilen mikroalg türünün petri kaplarında hazırlanan agar besiyerine ekilmesi, (4) agar besiyerinde belirlenen büyüme şartları altında (Sıcaklık 20-30°C, ışık 20-200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) üretilen mikroalgler mikroskop altında incelenerek iğne uçlu öze yardımı ile sıvı besiyerine ekilmesi adımlarından oluşmaktadır (Elcik ve Çakmakcı, 2017). Mikroalglerin izolasyonu kullanım amacına göre değişmektedir. Doğru mikroalg türünün belirlenebilmesi için belli başlı parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir. Bunlar da; sıcaklık, ışık, pH, besin miktarı, karbon miktarı ve bakteriyel kontaminasyon gibi çevresel değişimlere direnç parametreleridir (Rashid ve ark., 2014). Özellikle biyoyakıt üretiminde büyük ölçekli mikroalg üretiminde başarılı olabilmek için o bölgenin çevresel ve iklimsel koşullarına adapte olmuş mikroalg türleri tercih edilmelidir (Rawat, 2013).

Ayrıca, birçok mikroalg türünün temin edilebildiği kültür koleksiyonlarından istenilen türler satın alınarak çoğaltılabilmektedir. Yaygın olarak bilinen mikroalg kültür koleksiyonları (Tablo 2.4.); ABD’de UTEX, Portekiz’de ACOI, Avustralya’da ANACC, İngiltere’de CCAP, Japonya’da NIES, Almanya’da SAG (Elcik ve ark., 2017). The University of Texas Algal Culture Collection (UTEX), Texas Üniversitesi’nde 1953 yılında kurulmuş, koleksiyonda 2300 değişik mikroalg suşu bulundurmaktadır. Coimbra collection of algae (ACOI), Coimbra Üniversitesinde kurulan koleksiyonda 4000’in üzerinde suş ve 1000’in üzerinde tür bulundurmaktadır. 1920 senesinde Goettingen Üniversitesinde kurulan SAG koleksiyonunda hemen hemen 2213 suş ve 1273 tür mevcuttur (Mata, 2010). Kültür koleksiyonlarında yetiştirilen mikroalg türleri belirli şartlar altında ve kontrollü bir şekilde üretildiklerinden zaman içinde çoğalma kabiliyetleri ve çevreye olan adaptasyonları ve direnç gibi özelliklerini kaybedebilmektedir (Zhu ve ark., 2013). Bu nedenle, o bölgenin çevresel koşullarına uyum sağlamış yeni türlerin tabiattan izole edilmesi daha doğrudur.

Tablo2.4.Yaygın olarak bilinen mikroalg kültür koleksiyonları (Elcik ve Çakmakcı,2017)

Koleksiyon Adı	Ülke	Algalsuş sayısı
Coimbra Collection of Algae (ACOI),	Portekiz	4000
Australian National Algae Culture Collection (ANACC),	Avustralya	1149
Culture Collection of Algae at the University of Cologne (CCAC)	Almanya	1370
Culture Collection of Algae and Protozoa(CCAP),	İngiltere	2500
Provasoli-Guillard National Center for Marine Algae and Microbiota (CCMP),	ABD	2799
Freshwater Algae Culture Collection, Chinese Academy of Sciences (FACHB),	Çin	1138
Korea Marine Microalgae Culture Center (KMMCC),	Kore	1299
Microbial Culture Collection at National Institute for Environmental Studies (NIES),	Japonya	2159
Sammlung von Algenkulturen at University of Goettingen (SAG),	Almanya	2041
Scandinavian Culture Collection of Algae & Protozoa (SCCAP),	Danimarka	1033
The Culture Collection of Algae at the University of Texas Austin (UTEX),	ABD	2300

Mikroalgal biyokütle tarihsel gelişimi ve üretimi

Mikroalglerin laboratuvar şartlarında yetiştirilmesi hemen hemen 140 yıl, ticari olarak üretimi ise 60 yıllık bir zamanıçermektedir.1850 yılında ilk kültür çalışması *Haematococcus pluvialis* ile yapılmış, sonrasında yeşil alglerden *Chlorococcum infusionum* ve *Desmococcus olivaceus* kültür ortamında üretilmiştir. Alg yetiştirme yöntemleri için büyük çaplı çalışmalar 1948-1950 yılları arasında Stanford Araştırma

Enstitüsü'nde başlamıştır (Borowitzka ve ark., 2013). 1951-1960 yılları arasında laboratuvar çalışmaları değişik ortamlar kullanılarak *Chlorella* üretimi için araştırmalar Cambridge gerçekleştirilmiş, Kaliforniya Üniversitesinde biyokütle üretimi, atıksu arıtımı için büyük ölçekli alg üretimi çalışmalarına başlanmıştır (Oswald ve ark., 1957; 1960). 1960-1970 yıllarında Çin Cumhuriyeti ve Japonya'nın ticari nedenlerle besin maddesi olarak *Chlorella* yetiştirilip geliştirilmesini takiben bazı Orta Asya ülkeleri ve Avrupa ülkelerinde de mikroalg yetiştirilmeye başlanmıştır. 1970'li yılların başında İlk *Spirulina* üretim tesisi Meksika'da Texcoco Gölü üzerine kurulmuş, 1995 yılına kadar faaliyet göstermiştir. 1980 yılında ABD'de geliştirilen yarış pisti benzeri havuzlarda *Spirulina* yetiştirilmiştir. (Borowitzka ve ark., 2013). 1980 yıllarında İsrail, ABD ve Avustralya *Dunaliella salina* türünün β karoten kaynağı olması nedeni ile ticari olarak üretimini yapmıştır. Günümüzde Avustralya ve İsrail'de yıllık bintondan fazla kuru *Dunaliella* biyokütle üretimi yapılmakta, yapısındaki β -karoten tıp alanında kullanılmaktadır. Modern mikroalg biyokütle çalışmaları Beijerinck tarafından *Chlorella vulgaris* ile başlamış (Borowitzka ve ark. , 2013), zengin lipit içeriğine sahip mikroalgler, besin ve yakıt üretiminde kullanılabilmesi durumu önerilmiştir (Harder ve ark. , 1942a; 1942b). Milner (1951), ise alglerden fotosentetik yağ üretiminin elde edilebileceğini ifade etmiştir. Aach (1952), tarafından yağ üretimi ile ilgili araştırma *Chlorella pyrenoidosa* ile yapılmıştır. (Borowitzka ve ark., 2013).

Mikroalg üretiminde etkili olan faktörler

Mikroalgler yaşadıkları çevre ile etkileşim halindedir. Mikroalgler için ışık, sıcaklık, besin ve pH etkili parametrelerdir (Tablo 2.5.). Mikroalglerin en uygun üretimi bu parametrelerin en uygun seviyelerde olmasıdır. Bu parametreler fotosentez ve verimliliği dışında ayrıca; hücresel aktivite ve kompozisyonunu da etkilerler (Oktor, 2018).

Tablo2.5.Mikroalglerin ortalama üretim şartları (Eliçin ve ark., 2009)

Parametreler	Sınır değerleri	Optimum şartlar
Sıcaklık (°C)	16 – 40	18 – 24
Tuzluluk (g/l)	12 – 40	20 – 24
Işık yoğunluğu (lux)	1000 – 10000	2500 – 5000
Işıklanma süresi (Gündüz: gece h) 24:0 maksimum	-	16: 8 minimum

a) Işık

Işık, mikroalg gelişimindeki fotosentez olayında önem olarak ilk sırada gelir. Genellikle 400/700 nm dalga boyundaki ışık kullanılır. Soğurulan dalga boyu türe göre değişebilmektedir. Örneğin, yeşil mikroalgler 630/675 nm aralığında ışığı soğurabilirken, fotosentez olayında ise klorofilleri ile 450-475 nm ki ışığı soğurabilmektedirler. Aşırı ışık şiddeti hücrelere zarara uğratarak mikroalg gelişimini, düşük ışık seviyesi ise büyümeyi etkilemektedir. Ayrıca ışıklandırma seviyesine göre büyüme hızı ve lipid üretimi farklılık gösterebilmektedir (Oktor, 2018).

b) Sıcaklık

Her canlı da olduğu gibi sıcaklık mikroalgler için de önemlidir. Hücre morfolojisi ve fizyolojisini etkileyen yüksek sıcaklıklar metabolizma aktivitesini hızlandırırken, düşük sıcaklıklar büyümeyi kısıtlamaktadır. Mikroalg türlerinin optimal sıcaklık değerleri değişmekle birlikte endüstriyel açıdan dikkat mikroalg türleri için 20-30 °C aralığındadır. Hücrenin lipid kompozisyonunu, besin maddesi ve karbon alımını ayrıca büyüme hızını etkileyen sıcaklık; önemli bir stres faktörüdür (Oktor, 2018).

c) Besin Maddesi

Mikroalgler yaklaşık % 50 karbon, % 10 azot ve % 2 fosfor içerdiklerin dolayısıyla temel besin maddeleri karbon, azot ve fosfordur. Potasyum, magnezyum, demir, çinko, kalsiyum, molibden, kobalt, selenyum ve nikel gibi mineraller az miktarda gereklidir. CO₂/O₂ dönüştürücüsü olan fotosentetik canlılar olmaları nedeni ile karbondioksiti atmosferden veya sanayi tesislerinden temin edebilirler. Azot diğer canlılarda olduğu

gibi mikroalglerin büyüme, çoğalma ve fizyolojik aktivitelerinde kritik bir besindir. Mikroalg türleri, azotu nitrat, nitrit, amonyum ve üre formunda kullanmaktadırlar. Genellikle öncelik sırasına göre amonyum, üre, nitrat ve nitriti kullanırlar. Fosfor, hücre gelişimi ve mikroalg metabolizması için gerekli olup enerji transferi, hücresel sinyal iletimi, fotosentez ve solunum gibi aşamalarda rol oynamaktadır. Fosforun lipid üretiminde etkili olduğu ve düşük fosfor miktarında mikroalglerin lipid içeriklerinin ve lipid üretimlerinin arttığı belirlenmiştir (Oktor, 2018).

d) pH

Mikroalglerin beslenme ve metabolik faaliyetleri için pH değeri önemlidir. Karbondioksit ve nitrat alınırken pH yükselir, amonyak alımında ise düşmektedir. Mikroalglerin gelişiminde uygun pH aralığı 7-9' dur. Yüksek pH seviyelerinde, hücresel faaliyetlerin bozulmasından dolayı ve kültürün yapısının çökmesi nedeni ile kültürlerin pH miktarının uygun seviyede tutulması çok önemlidir (Oktor, 2018).

e) Karıştırma

Harmanlama işlemi; mikroalg hücrelerinin çökmesini engelleyerek, ortamdaki hücrelerin ışık ve besin öğeleri ile teması sağlanır ayrıca ısı nakline olanak sağlanarak katmanlaşma engellenir, kültür ile hava arasındaki gaz değişimi sağlanır. Yüksek yoğunluklu mikroalg yetiştirilmesinde ışık iletimi azalır, çözünmüş karbondioksit tüketimi, çözünmüş oksijen miktarı ve kültür sıcaklığı artar. Bu sebeple mikroalg yetiştirme sistemlerindeki üretkenlik üzerinde karıştırma kilit bir parametrelerdendir (Oktor, 2018).

2.2.2. Mikroalglerin Biyosorpsiyon Mekanizması

Metal soğurum çalışmaları, *Chlorella* sp., *Cladophora* spp., *Scenedesmus* spp., *C. Reinhardtii*, kahverengi alglerden *Sargassum natans*, *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria japonica*, *Microcystis aeruginosa* ve *Oscillatoria* ile yapılmaktadır. Yeşil makroalg ve bunların alginat türevleri, birçok metal iyonu için yüksek oranda çekim sergilerler (Davis ve ark., 2003). Kahverengi makroalgal suşların metal biyosorpsiyonundaki potansiyel rolü açısından hücresel yapı, depo polisakaritleri, hücre duvarı ve hücre dışı polisakaritleri ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde; aljinatın

kahverengi alglerin metal biyosorpsiyonunda kritik bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Aljinat iyon değişimine ve kompleks yapıya katılır, ağır metallerin bu polimerle bağlanmasına neden olur. Kahverengi alglerin adsorpsiyon kapasitesi doğrudan alginat içeriği, bulunabilirliği ve spesifik makromoleküler düzenlenmesi ile ilişkilidir (Fourest ve Volesky, 1995).

Canlı mikroalgler aracılığı ile ağır metallerin soğurum çalışmalarının çoğu yüksek pH değerlerinde ve 7 gün ile 13 günlükkitle kültürlerde yapılmaktadır. Ayrıca ağır metaller, asit olan nitriloasetik asit, fulvik asit ve metal iyonları ile kimyasal olarak birbirine geçmiş tanımlanamayan maddeler barındırmaktadır. Bu maddeler, alglerin aktif gruplarının metallerle yarışması sebebi ile alg temelli arıtım sistemlerinin etkinliğini düşürebilmektedir. Arıtım zamanını düşürmek ve gelişen mikroalglerin etkinliğinin artırılması için kirletici ve metal girişi sürekliliğinde metallerin absorbe sürecinin etkinleştirilmesi önerilmektedir (Peña-Castro ve ark., 2004).

Değişken alg türlerindeki ağır metal iyonlarının toksik seviyesi, spesifik olabilir ve bu nedenle, belirli bir algal suş kullanılarak potansiyel iyileştirme kapasitesi kullanılır. *Desmodesmus pleiomorphus*'un iki suşunu kullanarak kadmiyum iyonu uzaklaştırılması araştırılmış ve 'ACOI 561' suşları kullanarak kadmiyum biyosorpsiyon kapasitesi arasında % 25'lik bir fark bulunmuştur. Romera ve ark. (2007)'nın tür farklılıkları bakımından yapmış olduğu çalışmada farklı makroalg türlerin farklı bakır tutma kapasite sahip olduklarını bulmuşlardır. Buna göre bakır tutma kapasiteleri *Codium vermilera* < *Spirogyra insignis* < *Asparagopsis armata* < *Chondrus crispus* < *Ascophyllum nodosum* < *Fucus spiralis* şeklinde sıralanmıştır.

Mikroorganizmalar tarafından ağır metal iyonu birikimi genellikle iki fazda meydana gelir (Monteiro ve ark., 2011; 2012). Birinci faz, hücre yüzeyi üzerinde gerçekleşir ve hücrenin metabolizmasından tamamen bağımsız olan hızlı inaktif biyolojik emilimden oluşur. İkinci safha, ağır metal iyonlarının algal hücrelerin sitoplazmasına aktif emilmesinden oluşur. Bu faz, hücre metabolizmasına bağlıdır ve hücre içi iyon alımı olarak bilinir (Taleb ve ark., 2013). Hücre içi iyon alımının ağır metal iyonlarının biyosorpsiyonu ve detoksifikasyonunda büyük katkısı vardır (Wildevve ve ark., 2006; Perales, 2006).

Alkalın çökeltme, kimyasal yükseltgenme ve indirgenme, iyon değişimi, elektrokimyasal kaldırım, süzme ve zar teknolojisi ağır metallerin absorpsiyonu için kullanılan ideal teknolojilerdir (Kratochvil ve Volesky, 1998; Çetinkaya Dönmez ve ark., 1999; Eccles, 1999; Peña-Castro ve ark., 2004; Abu Al-Rub ve ark., 2006; El-Naas

ve ark., 2007).Biyosorpsiyon, aktif olmayan biyokütle veya canlı olmayan algler kullanılarak atık sulardan ağır metal iyonlarını uzaklaştırmak için kullanılan yenilikçi bir teknolojidir.Mikroalgler kolaylıkla kültüre edilebilmekte ve bazılarıyüksek oranlarda ticari olarak üretilabilmektedir. Alglerin metalleriabsorbekabiliyetleri türlere göredeğişebilmekte verastgele bir metal için aynı türün alt türleri arasında bile değişimler görülmektedir (Mehta ve Gaur, 2005).

Algler, atık sulardakikirleticiler, ağır metaller, zirai ilaçlar, organik ve inorganikolan zararlı maddeler, radyoaktif maddeler gibi doğal ortam için zararlı kirleticileri bertaraf edebilmeleri nedeni ile atık su arıtımında kullanılan organizmalar içinde önemli bir yer tutar.Alglerin radyoaktif materyalleri bünyelerinde toplama kabiliyetlerinin öğrenilmesini takiben, atık suların biyolojik arıtımındaki önemleri daha da artmıştır.

Düşük maliyetli ekim, yüksek metal iyonu alımı ve metal seçiciliği ve büyük ölçekli üretim için uygun mekanik özellikler algleri atık su biyoremediasyonu için uygun bir aday yapmaktadır. Başarılı biyosorpsiyon prosesleri, ucuz biyomalzemelerin, biyokimyasal yapıya dayanan yüksek metal alımı ve seçiciliği yanı sıra, uygulanan iyileştirme prosedürleri için uygun mekanik özellikler gerektirir (Zeraatkar ve ark., 2016).

Soğurum çalışmalarında canlı ve ölü hücreler kullanılabilmektedir ancak; ölü biyomasın kullanımı önceliklidir. Çünkü yaşayan hücreler canlılıklarınıdevamı için besinegereksinim duymaktadırlar ve ölü biyomas metal iyonlarının zararlı etkilerinden etkilenmez. Canlı olmayan algal biyokütle, ağır metal katyonlarına adsorbent olarak bağlanabilen, etkin atık su arıtma potansiyeline sahip bir polimer (şekerler, selüloz, pektinler, glikoproteinler vb.) bileşimi olarak kabul edilebilir (Volesky, 2007; Arief ve ark., 2008). *C. vulgaris*'in nikel metalini soğurmasında canlı ve ölü biyomas arasında benzer olduğu saptanmıştır (Abu Al-Rub ve ark., 2006).

Alglerde sorpsiyon işlemi,büyüme fazına bağlı olarak büyük değişimler gösterir. Daha spesfik olarak, canlı algler, metal iyonu biyosorpsiyon kapasitesini doğrudan etkileyen çeşitli çevresel faktörlerden etkilenir. Canlı alglerdeki emilim mekanizmaları, canlı olmayan alglere göre daha karmaşıktır, çünkü emilim büyüme fazı sırasında gerçekleşir ve ağır metal iyonlarının hücre içi alımları genellikle bu fazda meydana gelir. Buna karşılık, canlı olmayan alg hücreleri, hücre zarı yüzeyinde metal iyonlarının biyosorpsiyonunu absorbe eder ve hücre dışı bir işlem olarak kabul edilir (Godlewskave Ylkiewicz, 2001).

Alglerin metal absorpsiyon yeteneğinin, diğer arıtıcı kaynaklara göre yüksek olduğu belirtilmiştir. İyon değiştiriciler ve reçinelerin metal kaldırım etkisi alglere göre daha az etkiliveyaçözünmüş maddedeki metal derişimi 10 mg/L' ninaltındadır. Alglar isedüşük metal derişimlerine sahip çözeltilerden metal iyonlarının neredeyse tamamını uzaklaştırabilmektedir. Algal biyomas; endüstri atıklarından ağır metallerin giderimi için kullanılabilmektedir (Mehta ve Gaur, 2005).

Farklı alg türleri için maksimum metal iyonu uzaklaştırma kapasitesini etkileyen fizikokimyasal koşullar tablo2.6'daözetlenmiştir. Tablo, metal iyon soğurumunun çoğunun düşük pH'ta (3-5) meydana geldiğini ve bu kurutulmuş algal biyokütlenin canlı alglere kıyasla daha büyük bir metal iyonu biyosorpsiyon kapasitesi sergilediğini göstermektedir. Çözelti pH'ının canlı olmayan alg biyokütle yüzey işlevsel gruplarının ayrışması ve ağır metal iyonlarının çözelti kimyasında ayrışması üzerinde önemli bir etkisi vardır (Pavasant ve ark., 2006; Guo ve ark., 2008).

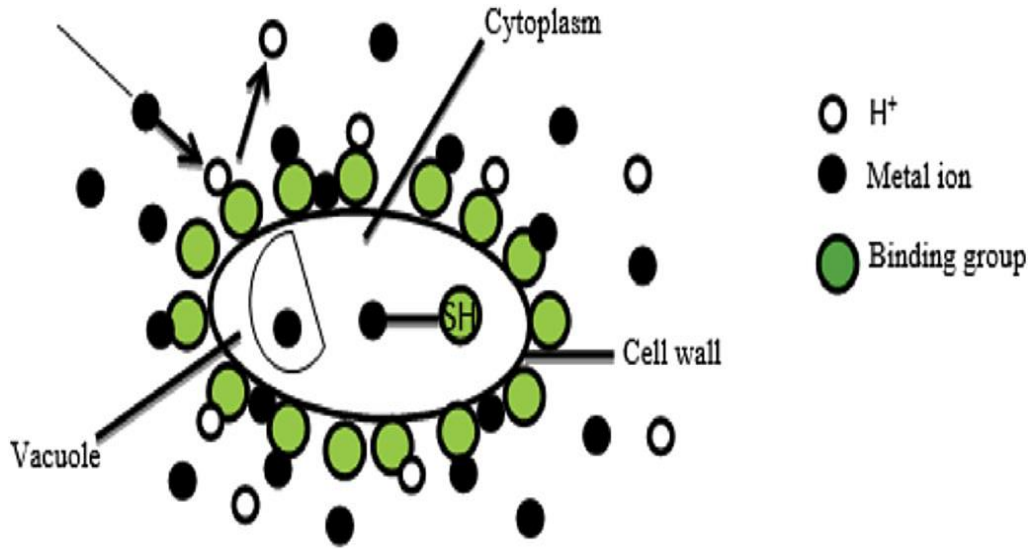
Tutunma yüzeyine tutulacak olan çözünmüş maddeler ilk olarak biyokütle etrafını saran çözücü sıvı film içerisinde geçer ve bugeçişefilm difüzyonu denir. Tutunulacak yüzeyine gelen maddelerin gözeneklerin iç kısımlarına girebilmeleri için por difüzyonuadındaki geçişi tamamlamaları gerekir. Bu iki aşamayı geçen çözünmüş maddenin biyosorbent madde üzerine bağlanması ise son işlemdir (Volesky, 2003).

Tablo2.6.Değişken mikro ve makro algler kullanılarak uygun değer koşullar altında 11 farklı ağır metal iyonunun biyosorpsiyon kapasitesi (Zeraatkar ve ark. 2016'dan uyarlanmıştır).

Metal	Alg türü	Max. sorpsiyon (mg/g)	pH	Başlangıç metal iyon konsantrasyonu	Biomass kons. (mg/L)	Sıcaklık (°C)	Zaman (saat)
Al(III)	<i>L. japonica</i>	75.27	4.5	-	1	-	30
As(III)	<i>U. cylindricum</i>	67.2	6	10	1	20	1
Au(III)	<i>F.vesiculosus</i>	74.05	7	100	1	23	8
Cd(II)	<i>As. nodosum</i>	87.7	6	50	0.5	-	2
	<i>C. vulgaris</i>	86.6	4	150	1	25	-
	<i>Ulva lactuca</i>	29.2	5	10	-	20	1

Cr(III))	<i>C.miniata</i>	41.12	4.5	100	-	25	24
	<i>Rhizoclonium</i>	11.81	4	-	-	-	2
	<i>Spirogyra sp.</i>	30.21	5	50	-	25	3
Hg(II)	<i>U. lactuca</i>	149.25	7	-	-	25	2
	<i>C. reinhardtii</i>	72.2	6	-	-	25	1
Ni(II)	<i>A.nodosum</i>	43.3	6	50	0.5	-	2
	<i>C. miniata</i>	1.367	7.4	-	1	-	24
	<i>C. vulgaris</i>	23.47	5.5	-	0.005	-	0.5
	<i>S.insignis</i>	17.5	6	-	1	25	2
Pb(II)	<i>A.nodosum</i>	178.6	6	50	1	-	2
	<i>F. spiralis</i>	204.1	3	50	-	-	2
	<i>Spirogyra sp.</i>	140	5	200	0.5	25	1.66
Se(IV)	<i>C. hutchinsiae</i>	74.9	5	-	8	20	1
U(VI)	<i>C.vulgaris</i>	14.3	4.4	23.8	0.76	-	0.08
Zn(II)	<i>A.nodosum</i>	42	6	50	0.5	-	2
	<i>S.obliquus</i>	429.6	6-7	75	0.02	25	24
	<i>S.insignis</i>	21.1	6	50	1	-	2

Alg hücre duvarlarında ki polisakaritler ve proteinler ağır metal iyonlarının bağlama yerleri olması nedeni ile biyosorpsiyonda ilk bariyerdir. (Schiewer ve Volesky, 2000). Soğurulan metal iyonları biyoakümülyasyonda ilk adım olarak hareket ederler. Bağlayıcı gruplar; hücre yüzeyi, sitoplazma ve vakuollerde bulunur (Şekil 2.8) (Zeraatkar ve ark., 2016).



Şekil 2.8. Algal hücre duvarı üzerindeki bağlama alanlarının şematik bir temsili (Zeraatkar ve ark., 2016).

Metal iyonlarının soğurulma mekanizması, alg hücreleri tarafından iyonların alınarak sitozolik proteinlere bağlanıp metal iyonlarının hücrelere transfer edilmesidir (Perales, 2006), vakuollerde metal iyonlarını toplayan organel olarak kabul edilebilir (Volesky, 2007).

Mikroalg biyosorpsiyonunu etkileyen faktörler

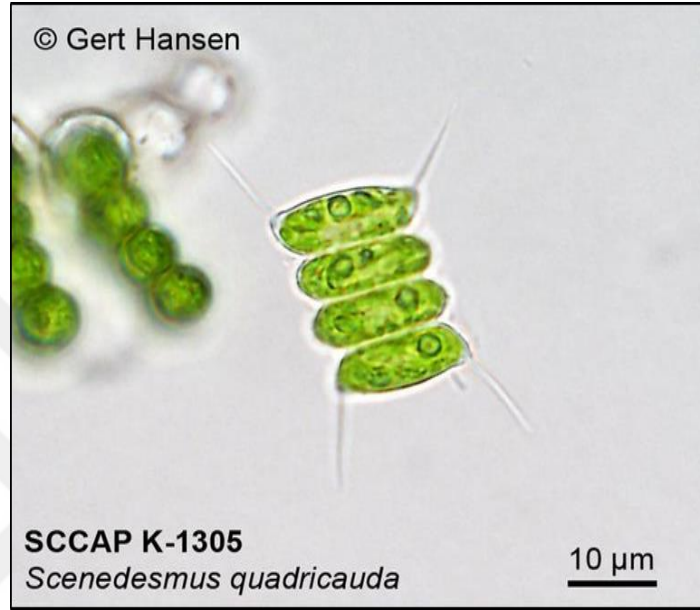
Biyosorpsiyon etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Biyosorpsiyon olayının başlayabilmesi ve devamı için bazı standart şartların oluşması gerekmektedir. Biyosorpsiyon tekniklerinde biyokütleyle bağlanan metal iyonu miktarının yalnız biyokütle türü değil yoğunlaşma, sıcaklık, biyokütle miktarı ve çözeltinin pH'sı gibi faktörlere de bağlı olduğu bildirilmiştir (Volesky, 2003).

a) Başlangıç metal iyonu konsantrasyonunun etkisi

Alglerin ağır metalleri giderimi ortamdaki ilk metal derişimine bağlıdır. Başlangıçtaki ağır metal derişimi ile biyomas yüzeyi arasında metalin taşınımını engelleyen nakil direncinin aşılması için karşı bir kuvvet gibi davranır (Arief ve ark., 2008).

Biosorpsiyon, metal iyonunun başlangıç konsantrasyonu arttıkça artar. Mehta ve Gaur (2001), *Chlorella vulgaris* biyokütlesinin, sırasıyla, 2,5 ppm yoğunluğunda Ni (II) ve Cu (II) katyonlarının % 69'unu ve % 80'ini soğurabildiği belirtilmiştir. Başlangıçtaki Ni (II) ve Cu (II) yoğunluğunun 10 ppm'e arttığı görülürken, metal absorbe oranı sırasıyla

% 37 ve% 42'ye düşürülmüştür. Shanab ve Essa (2007), cıva, kadmiyum ve kurşun iyonlarının yoğunluklarının *Scenedesmus communis*'in (Şekil 2.9.) büyümesine etkilerini araştırmışlardır. Düşük yoğunlukda kurşun ve kadmiyum iyonlarının (5-20 ppm) klorofil içeriğini arttırdığını, cıva iyonlarının ise algal hücreler üzerinde tüm yoğunluklarda toksik etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.9. *Scenedesmus communis* E.Hegewald (Syn: *Scenedesmus quadricauda* (Chodat)) (Anonim, 2018c).

b) Ph'ın etkisi

Algal biyokütle ile metal iyonu alım kapasitesinin en önemli belirleyici parametrelerinden biri pH'tır (Mata ve ark., 2009; Mehta ve ark., 2002; Han ve ark., 2006; Gupta ve ark., 2001; Rangsayatorn ve ark., 2002; Zeroual ve ark., 2003). Organik asitler düşük pH' da, organik bazları ise yüksek pH'da daha iyi adsorplanırlar (Weber, 1972).

Çözelti pH'ı da ağır metallerin absorpsiyonunda etkili bir faktördür. Hidroliz, organik ve inorganik ligandlarla karmaşık oluşturma, redoks tepkimeleri ve çökelti gibi ağır metallerin çözelti kimyasını ve biyokütle yüzeyindeki dağılım yerlerini etkilemektedir. (Arief ve ark., 2008). Asidik çözeltilerde fonksiyonel gruplar protonlanmakta ve katyonların fonksiyonel gruplara bağlanmasını önlemektedir bu da biyosorpsiyon

kapasitesinde bir azalmaya neden olmaktadır (Han ve ark., 2006; Gupta ve Rastogi, 2008).

Çetinkaya Dönmez ve arkadaşları (1999),*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* ve *Synechocystis* sp. cansız biyomasları ile sulu çözeltiden Cu^{+2} , Ni^{+2} ve Cr^{+6} un soğurumunu pH, başlangıç metal iyonu ve biyomas yoğunluk faktörleri ile laboratuvar koşulları altında incelemişlerdir ve pH'nın ağır metallerin soğurumundaki en önemli parametrelerden biri olduğu ve hücre yüzeyindeki metal bağlama noktaları ile sudaki metal kimyasının üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Algler tarafından maksimum metal iyonu uzaklaştırılması için; biyokütle yüzeyi yükü, iyonlaşma derecesi ve soğurma alanları ile kuvvetli bir ilişim oluşturduğu için en uygun pH'ı bulmak önemlidir. Ağır metal iyonlarının biyosorpsiyon ve biyoakümülyasyon mekanizmasındaki ilk adım, iyonların alg hücre yüzeyine difüzyonudur ve bu, fonksiyonel grupların iyonlaşmasından negatif olarak yüklenmiştir. Negatif yüklü yüzey, karşı iyonları, yani ağır metal iyonlarını, hücre yüzeyinden kaynaklanan çift katmana adsorbe edecektir. Metal iyonlarının emilmesi, ortamdaki (canlı algler için büyüme ortamı) iyonların tükenmesine neden olur ve bu azalma, çift tabakalı kalınlığın genişlemesine neden olan ortamın iyonik kuvvetini düşürür. Bu nedenle ağır metal iyonlarının biyosorpsiyonu seyreltik ortamda daha etkilidir (Ahmadzadeh ve ark., 2007).

c) Biyokütle konsantrasyonunun etkisi

Bir çözelti fazından çıkan metal iyonlarının miktarı alg biyokütle konsantrasyonuna bağlıdır ve artan biyokütle konsantrasyonları, biyokütlenin gram başına metal iyonu alımını azaltır (Mehta ve Gaur, 2001; Gokhale ve ark., 2008; Singleton ve Simmons, 1996; Finocchio ve ark., 2010).

Hücreler arasındaki elektrostatik etkileşimler, algal biyokütle ile metal iyonu alımında belirgin bir etkiye sahiptir. Biyokütle yoğunluklarının metal iyonu biyosorpsiyon kapasitesi üzerinde değişken bir etkisi vardır. Farklı alg soyları ve metal iyonlarının kullanıldığı ve en düşük biyokütle konsantrasyonunda maksimum biyolojik soğurma verimi elde edilebileceği sonuç olarak bildirilmiştir (Romera ve ark., 2007).

Çetinkaya Dönmez ve ark. (1999)'nın bildirdiğine göre *C. vulgaris*, *S. obliquus* ve *Synechocystis* sp.'nin biyomas yoğunluğunu 0,25'den 2 g/L'ye artırıldığında, sulu

çözültiden bakır (II), nikel (II) ve krom (VI)'un soğurum miktarının arttığı da belirtilmiştir..

d) Sıcaklık etkisi

Biyosorbentin yapısındaki ve yüzeyindeki işlevsel gruplarına bağlı olarak, sıcaklık belirli oranda biyosorbsiyon miktarını etkilemekte, farklı sıcaklıklar soğurum dengesini etkilemektedir. (Arief ve ark., 2008).

Sıcaklık canlı olmayan algal biyokütle ile metallerin biyolojik olarak emilimini de etkiler, çünkü adsorpsiyon denge sürecin ekzotermik veya endotermik doğası ile belirlenir (Malkoc ve Nuhoglu, 2007; Dundar ve ark. 2008; Gupta ve Rastogi, 2008a).

Sıcaklık, biyosorpsiyonun gerçekleştiği reaksiyonlarda önemli bir parametredir. Sıcaklık artışı ile alglerin metal soğurumunun arışı arasındaki bağlantı, alglerin metal soğurumunun endotermik bir süreç olduğunu göstermektedir (Mehta ve Gaur, 2005). Endotermik reaksiyonlarda sıcaklık yükselirken biyosorpsiyon azalmaktadır. Biyosorpsiyonun ilk başladığında biyokütleyle bağlanan iyonlar sıcaklık yükselmesi sebebi ile biyokütleden ayrılma eğilimine girerler (Horsfall ve Spiff, 2005; Mungasavalli ve ark., 2007). Bazı çalışmalarda ise metal soğurumunun ekzotermik bir doğasının dabalunduğu bildirilmektedir. Aksu (2001), 20 °C'den 50°C'ye artırılan sıcaklık ile yaşamayan *C. vulgaris* biyomasının Cd için soğurum kapasitesini 85,3'den 51,2 mg/g'a düştüğünü bildirmiştir.

Bazı alglerin metal iyon alımının ekzotermik olduğunu ve sıcaklığının azalmasıyla alım kapasitesinin arttığı düşünülmektedir (Tuzen ve ark. 2009; Gupta ve ark. 2010). Ayrıca biyosorpsiyon yönteminde ekzotermik parametreler incelenmiş, sıcaklık azalınca biyosorpsiyon kapasitesinin arttığı gözlenmiştir (Benefield ve ark., 1982).

Metal iyonlarının biyosorpsiyon verimliliğinin, sıcaklığa bağlı olarak her alg türü için farklı olduğu ifade edilmiştir (Monteiro ve ark., 2010; Gupta ve ark., 2010). Metal ligand kompleksi oluşum sabitleri öncelikli olarak bir sıcaklığın fonksiyonu olmasına rağmen, daha önce yayınlanmış bazı çalışmalar, artmış alg kültürünün sıcaklıklar, oluşum sabitlerinin sıcaklığa göre değişimi dikkate alınmaksızın, metal iyonu biyosorpsiyon kapasitesini potansiyel olarak artırabilir (Sağ ve Kutsal, 2000; Deng ve ark., 2006; 2007; Gupta ve Rastogi, 2008 b,c; Sari ve Tuzen ve ark., 2009; Khan ve ark., 2012).

Deng ve arkadaşları(2007), yaptıkları çalışmada sıcaklık yükselişi ile biyosorpsiyonun arttığını ve reaksiyonun endotermik olduğunu bildirmişlerdir. Sıcaklıktaki artışı ile metal biyosorpsiyonun artması, endotermik bir süreç olduğunu gösterirken (Mehta ve Gaur, 2005), bazı çalışmalarda ise alglerin metal soğurumunun ekzotermik bir doğasının olduğu da belirtilmektedir. *Ascomyces nidosum* biyokütlesi ile Co giderimi yapılan çalışmada, sıcaklık değerini 4°C'den 23°C'ye artırılması ile iyonların soğurulmasının %50-70 arttığını gösterilmiştir. Sıcaklık 40°C olduğunda tutunmanın daha az miktarda olduğunu, 60°C ve üzeri sıcaklıklarda ise biyosorbentin yapısındaki değişimden kaynaklı olarak biyosorpsiyon kapasitesinde biyokütlenin bozulması nedeni ile azalma olduğunu bildirmişlerdir (Kuyucak ve ark., 1989).

e) Temas süresinin etkisi

Ağır metal iyonu biyosorpsiyonu temas süresine büyük oranda bağlıdır. Hücre yüzeyi üzerinde ağır metal iyonu biyosorpsiyonunun kinetiğini tartışan daha önce yayınlanmış raporlara dayanarak, biyosorpsiyon mekanizması alg suşuna spesifik olduğu bilinmektedir (Yaqub ve ark. 2012; Zhang ve ark., 2016; Lee ve ark., 2016).

Biyosorpsiyon iki basamakta gerçekleşir;

- (1) Alg biyokütlesi için, iyonlar hücre membranına pasif olarak adsorbe olur ve metal iyonlarının biyolojik olarak emilmesi ilk dakika içinde hızla gerçekleşir,
- (2) Canlı algler için, ağır metal iyonlarının algal hücrenin içine yavaş yavaş alınması nedeniyle aktif emilim meydana gelir (Vogel ve ark., 2010).

f) Ağır metal iyon sistemlerinin etkisi

Algal büyüme ortamında çoklu ağır metal iyonlarının bulunması, büyük fizyolojik ve biyokimyasal sonuçları ortaya çıkarmaktadır (Bajguz, 2011; El-Sheekh ve ark., 2005).

Ağır metal iyon sistemlerinde, metal iyonları algal ligandlarına bağlanmak için rekabet eder ve bazı katyonların varlığı, algal hücreler tarafından diğer metal iyonlarının alımını önemli ölçüde etkiler (Bayo, 2012; El-Naas ve ark., 2007).

2.2.3. Mikroalg üretim sistemleri

Mikroalg üretiminde açık (dış) sistemler ve kapalı (iç) sistemler olmak üzere iki farklı yol izlenmektedir. Açık ortamsistemleri mikroalg kültürü, dairesel, eğimli, karıştırmasız

(sıg) ve karıştırıcı tipte raceway (kanal tip) olmak kategorize edilen açık havuzlarda gerçekleşmektedir. Kapalı ortam sistemleri ise tübüler, horizontal- vertikal olarak tasarlanmış, düz plaka, fermentör tip ve içten aydınlatmalı fotobiyoreaktörler olarak tasarlanmaktadır (Suali ve Sarbatly, 2012).

Açık Sistemler (Açık Havuzlar)

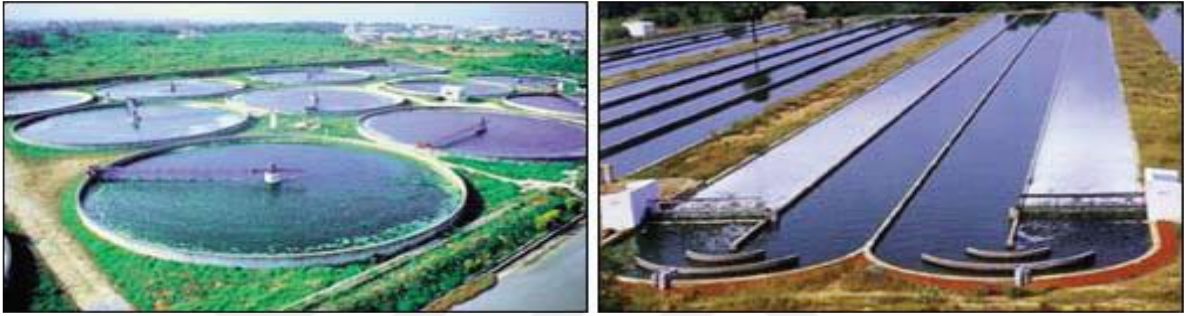
Açık (dış) sistem mikroalg kültürü, dairesel, eğimli, karıştırmasız ve karıştırıcı tipte raceway şeklindesi sınıflandırılmış açık havuzlarda (Şekil 2.10.; Şekil 2.11.; Şekil 2.12.) gerçekleştirilir (Suali ve Sarbatly, 2012). Açık alanakonuşlandırılan havuzlardaki mikroalglerin kültür edilmesi 1950'li yıllarda başladığı belirtilmektedir (Cai ve ark., 2013; Pawlowski ve ark., 2014; Kargın, 2020). Mikroalg kültürlerinde kullanılan büyük hacimli biyoreaktörler ve raceway (kanal) havuzları yaygın olarak kullanılanlardır (Christenson ve Sims, 2011; Rawat ve ark., 2013; Kargın, 2020). Raceway (kanal) havuzlar açık alanda olması sebebi ile buharlaşmadan kaynaklı; kültür suyundaki iyon yoğunluğu artmaktadır. Bu nedenle mikroalg üretimi olumsuz etkilenmektedir (Rawat ve ark., 2013). Mikroalg üretimini olumsuz etkileyen başka bir durum ise, kolay bulaşabilen mikroorganizmaların olmasıdır (Bahadar ve Khan, 2013; Kargın, 2020). Sıcaklık, güneş ışığının günlük ve mevsimsel olarak farklılıkları da üretimi etkileyen farklı bir faktördür. Mikroalg üretiminde yoğunluğun artışı ile kültür ortamındaki CO₂ miktarını azalttığından üretimi azaltmaktadır (Kargın, 2020).



Şekil 2.10.Dış Mekân Üretim Sistemleri (Gezici, 2012).



Şekil 2.11. Raceway Tip Havuz Sistemleri (Gezici, 2012)



Şekil 2.12.Japonya Dairesel Karıştırılmalı Havuz ve Yarış Pisti Tipi Havuz Örnekleri(Oktor,2018).

Kapalı Sistemler (Fotobiyoreaktörler)

Kapalı fotobiyoreaktörlerde; tübüler, düz plaka, sarmal (Şekil 2.13.) üretim süresince kültür suyunun sürekli devredildiği karıştırılmalı modelleri bulunmaktadır (Demirbaş, 2010).

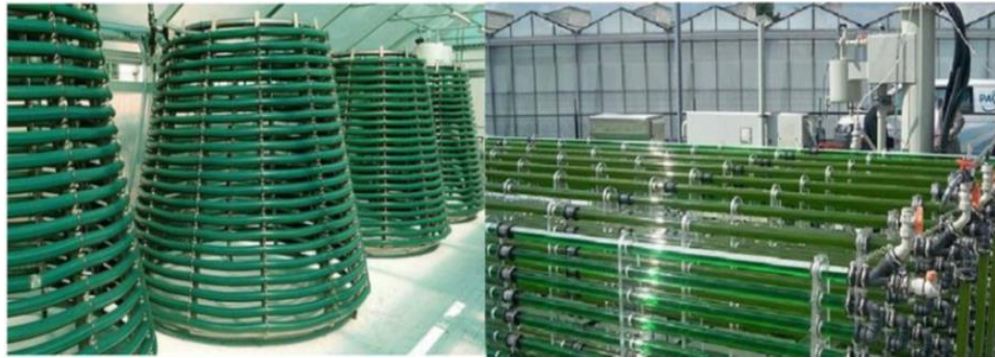


Şekil2.13. Geniş torbalarda üretim (Gezici, 2012)

Tübüler fotobiyoreaktörler yaygın olarak horizontal, vertikal ve sarmal olarak dizayn edilmiş (Şekil 2.14.; Şekil 2.15) biyoreaktörlerdir (Khan ve ark., 2009). Tübüler fotobiyoreaktörlerin malzemeleri plastik cam veya plastik tüplerden meydana gelir (Chisti, 2007). Tüplerin dizayn şekline göre; vertikal (Sanchez Miron ve ark., 1999), horizontal (Molina ve ark., 2001), sarmal (Watanabe ve Saiki, 1997) ve eğimli (Ugwu ve Ogbonna, 2002) olarak yapılandırılmıştır (Chisti, 2007; Rawat ve ark., 2013).



Şekil 2.14. Fotobiyoreaktörde horizontal üretim sistemi (Gezici, 2012).



Şekil 2.15. Fotobiyoreaktörde kule ve horizontal üretim sistemi (Gezici, 2012).

Kapalı tip fotobiyoreaktörlerle açık havuzlar karşılaştırıldığında; sıcaklık, pH ve ışık kontrolünü yapabilirliği, karıştırma işlemin sürekli olması ve devredebilmesi, buharlaşma kaynaklanan kayıpların az seviyede olması, miktarca fazla mikroalg üretimi, üretim tahmin edilebilmesi ve yüksek nitelikte üretim gibi avantajları bulunmaktadır. Bir başka açıdan ise, başka mikroorganizmaların ortama girmesi ve

çoğalması açık tip havuzlara göre daha az olmakla birlikte monokültür için elverişlidir(Brennan ve Owende, 2010). Dezavantaj olarak yapılandırma maliyetleri açık (dış mekân) havuzlarla karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra maliyetin az olması, tasarımı ve temin edilmesi mümkündür. Ancak, mikroalgler yüzeye yapışma eğiliminde olup, geniş yüzey alanlarına sahip olmaları sıcaklık ve CO₂ hızını kontrol etmeyi zorlaştırabilir (Demirbaş, 2010). Düz-plak fotobiyoreaktörlerde karıştırıcılar gerekli değildir, reaktörün altında tabana yerleştirilen gaz dağıtıcı sistem karıştırıcı olarak görev yapmaktadır(Demirbaş, 2010). Hava kaldırmalı fotobiyoreaktörler mikroalg üretiminde kolay tasarlanabilen, basit ve maliyeti düşük olmasından dolayı seçilen biyoreaktörlerdir. Plastik cam malzemeden yapılırlar (Bahadar ve Khan, 2013). Hava kaldırmalı reaktörde dikey yönde akışı için akış kolonları bulunur (Lakaniemi, 2012).

2.2.4. Mikroalglerden elde edilen ürünler ve uygulamalar

Metabolit terimi genellikle küçük moleküllerle sınırlı olup, metabolizmanın ara ürünlerini ifade eder. İkincil metabolitler, organizmaların normal büyümesi, gelişimi veya çoğalması ile doğrudan ilgili kimyasal bileşiklerdir. Fiziksel teknikler ve bileşiklerin biyomedikal uygulama ile yeni ajanlar keşfetmek için kimyasal prototipler, bu organizmaların farmasötik amaçlı araştırılmasının önemli olduğunu ortaya koymuştur (Dos Santos ve ark., 2005).

Mikroalg kaynaklı metabolitler (fototoksinler), biyoteknolojik uygulamalar için umut verici bir biyoaktif molekül grubudur. Biyoaktif metabolitler, özellikle de sitotoksik ajanlar için önemli bir kaynaktır. Bu tür bileşikler başlıca dinoflagellatlar ve siyanobakteriler tarafından, özellikle de deniz veya tatlı su ortamlarında zararlı alg çoğalmalarının oluşmasıyla üretilir. Dinoflagellatların aşırı çoğalması red-tide oluşturarak denizde renk değişimine neden olabilirken, göllerde özellikle artan azot ve fosfor nedeniyle siyanobakteriler ötrofikasyona neden olabilirler (Lipton, 2003). Mikroalgal metabolitlerin birçoğu farklı biyolojik aktivite ve kimyasal yapıya sahiptir. Alglerin insan sağlığı ve diğer faydaları üzerindeki olumlu etkileri üzerine araştırmalar giderek artmaktadır (Guedes ve ark., 2011).

Algler hücrelerinde depolanan metabolitler sayesinde gıda, sağlık, hayvan yemi ve toprak yapısını iyileştirici özellikleri nedeniyle gübre olarak, doğal gıda boyası ve kozmetik

sanayisinde kullanılabildikleri gibi, metal bağlama yetenekleri ile de atık su arıtımında kullanılabirler (Gökpınar ve ark., 2013).

Farklı enerji kaynaklarına hammadde sağlayıcısı olarak düşünölen alglerin üretilimi için gerekli olan iklim koşulları ve besin elemanları ölkemizde fazlacabulunmaktadır. Bu açıdan ölkemizin ekonomik alg üretimine uygun olduğu görölmektedir. Sadece doğall gazla çalışan termik santraller göz önünde bulundurulduğunda mikroalg-ana besin kaynağı olan CO₂ oldukça büyük bir potansiyele sahiptir (Ulukardeşler ve Ulusoy, 2012).

Mevcut kaynaklardan yararlanmanın en üst düzeye çıkarılması, atıkların ve kayıpların en aza indirgenmesi, sadece su kaynakları değil tüm ekonomik ve sosyal kaynaklarda ve her şeyin her şeyle ilişkili olduğuna inanarak bütünleşmiş bir çerçevede asgari düzeyde şarttır. Yiyecekleri endüstriyel atıklardan ve evsel atık sudan besleyici madde geri kazanımı sağlamak ve aynı zamanda diğer farmasötik ürünler, yenilenebilir enerji (yakıtlar), biyokütleden yem ve gübre üretmek ve aynı zamanda CO₂'i çekebilmek için alger kullanılması mümkündür (Mostafa ve ark., 2012).

Gıda

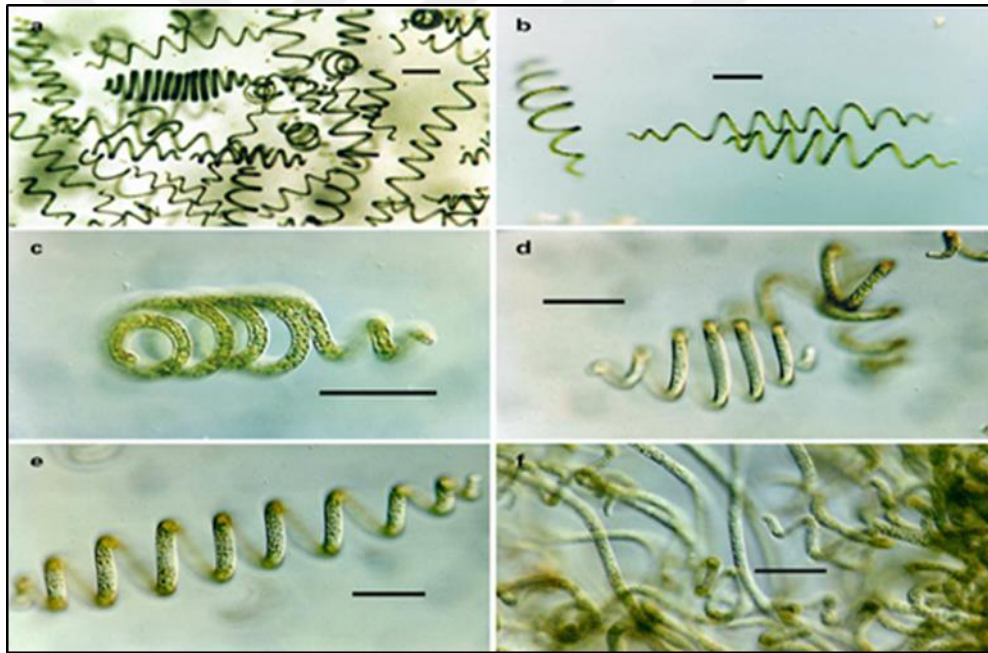
İnsanlar tarafından mikroalglerin kullanımı eski zamanlara dayanmaktadır ve Çinliler açlık döneminde hayatta kalabilmek için *Nostoc*'u besin olarak kullanmışlardır(Şekil 216).



Şekil 2.16. *Nostoc* (Anonim, 2017b).

Dünyada giderek artan, problem haline gelen açlık bireylerden onda birini etkilemektedir. Özellikle protein ve enerji yetersizliği,sağlığın bozulması ve hayatın sona ermesinin temel nedenlerindendir (FAO, IFAD, UNICEF, WFP veWHO, 2017; Muslu ve Gökçay 2020). Bu problemnüfusartışı ileiyimser bir tablo çizmeyeceğini göstermektedir. Birleşmiş Milletler (UN) küresel nüfusun 2050 yılında 9,7 milyar olabileceğibildirmektedir. Günümüzde bile tüm insanların beslenme durumu mümkün olamıyor iken artan nüfusun beslenmesi için alternatif kaynaklara yönelim veya mevcut üretimin arttırılması gerekmektedir (UN DESA, 2019; Muslu ve Gökçay 2020;).

Ticari uygulamalar başlıca dört suş tarafından; *Arthrospira*, *Chlorella*, *Dunaliellasalina* ve *Aphanizomenon*; kontrol edilmektedir.*Arthrospira*(Şekil 2.17)türleri yüksek protein içeriği ve mükemmel besleyici değeri nedeniyle insan beslenmesinde kullanılmaktadır(Rangel-Yagui ve ark.,2004;Soletto ve ark.,2005).



Şekil 2.17. *Arthrospira* cinsi(Anonim, 2018b).

İnsan beslenmesi için mikroalgler günümüzde tabletler, kapsüller ve sıvılar gibi farklı şekillerde pazarlanmaktadır. Makarnalarda, aperatif gıdalarda, şeker çubuklarında, sakızlar ve içeceklerde (Tablo 2.7.) kullanılabilmektedirler (Yamaguchi, 1997; Liang ve ark., 2004; Sasa ve ark.,2020).

Tablo 2.7. Mikroalg ilavesi ile gerçekleştirilen bazı çalışmalar (Sasa ve ark.,2020).

Mikroalg	İlave edildiği gıda
Spirulina	Yoğurt Muffin Kurabiye Bisküvi Ekmek Glutensiz ekmek Makarna
Chlorella	Peynir Kurabiye Ekmek Yağ/su emülsiyonları
Dunaliella	Ekmek Makarna

2016 yılı Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre; 11 ülkede 89000 ton mikroalg üretimi kaydedilmiştir. Fakat, aynı yıl Çin'de 88600 ton mikroalg üretim bildirilmiştir. Birçok mikroalg türü farklı beslenme desteği olarak kullanılmaktadır. Örneğin; *Spirulina* spp., *Chlorella* spp., *Haematococcus pluvialis* bunlardan bazılarıdır. Avustralya, Fransa, Hindistan, İsrail, Japonya, Malezya ve Myanmar gibi önemli üreticilerin eksik veri paylaşımı nedeni ile FAO gerçek ölçeğin altında verileri raporlama yapmaktadır. Ancak üretim raporlarda belirtilenlerin üzerindedir (FAO, 2018; Muslu ve Gökçay 2020). Amerika Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tüm insanların tüketimi için uygun olan organizma, besin, herhangi bir madde veya kimyasala “Genel Olarak Güvenli Kabul Edilir (GRAS)” demektedir. İnsanlar tarafından kullanıldığı veya bilimsel olarak zararlı olmadığı kanıtlanmış maddeler GRAS kabul edilmektedir. Bu kapsamda *Dunaliella bardawil*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Auxenochlorella protothecoides*, *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis* ve *Euglena gracilis* gibi algler ve onların ürünleri GRAS olarak kabul edilmektedir (FDA, 2019; Muslu ve Gökçay 2020). GRAS kabul edilen alglerin aminoasit içerikleri tablo 2.8.'da verilmiştir (Muslu ve Gökçay, 2020; Torres-Tijji ve ark., 2020).

Tablo2.8. GRAS Alglerin Aminoasit İçerikleri (Muslu ve Gökçay 2020; Torres-Tiji ve ark., 2020).

Alg Türü Amino Asit	<i>Arthrospira platensis</i>	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	<i>Uxenochlorella protothecoides</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Dunaliella bardawil</i>	<i>Euglena gracilis</i>
Alanin	9,5	8,8	6,2	7,9	7,3	15,8
Arjinin	7,3	7,2	13,4	6,4	7,3	3,4
Aspartik Asit	11,8	9,7	7,1	9	10,4	7,1
Sistein	0,9	-	1,6	1,4	1,2	0,2
Glutamik asit	10,3	11,3	10,3	11,6	12,7	9,5
Glisin	5,7	5,7	5,5	5,8	5,5	7
Histidin	2,2	2,3	3	2	1,8	2,2
İzolösin	6,7	4,4	3,7	3,8	4,2	0,2
Lösin	9,8	9,8	5,6	8,8	11	3,7
Lizin	4,8	6,6	4,9	8,4	7	4,9
Metionin	2,5	2,7	2,1	2,2	2,3	0
Fenilalanin	5,3	5,6	5,5	5	5,8	0,9
Prolin	4,2	5,6	5,6	4,8	3,3	0
Serin	5,1	4,3	5,1	4,1	5,4	10,6
Treonin	6,2	5,1	4,9	4,8	5,4	4,5
Triptofan	0,3	2,8	0,5	2,1	0,7	1,7
Tirozin	5,3	4,3	4,7	3,4	3,7	0,7
Valin	7,1	6,5	5,2	5,5	5,8	8

Mikroalgler balıktan (su ürünleri yetiştiriciliği) evcil hayvanlara ve çiftlik hayvanlarına kadar çok geniş bir yelpazede kullanılmakta veya hayvanların beslenmesi için yem içine dahil edilebilmektedir. Dünya alg üretiminin % 30'u hayvansal yem uygulamaları için satılmaktadır ve *Arthrospira*'nın mevcut üretiminin % 50'sinden fazlası yem takviyesi olarak kullanılmaktadır (Becker, 2004).

Tarım

Dünyanın sürekli artış gösteren nüfusa paralel bir şekilde enerji ihtiyacı da artış göstermektedir. Türkiye ve diğer ülkelerde bu ihtiyaç nedeni ile çeşitli çözüm yolları araştırılarak yeni mevzuatlar geliştirilmektedir. Mevzuatlarda dikkat çeken unsur enerji kaynaklarının çevreci, sürdürülebilir ve yenilenebilir olmalarıdır (Karakaş ve ark., 2014).

Son yıllarda tarıma dayalı enerji kaynakları kullanımındaki faydalarına ve zararlarına dikkat çekilerek, devamlılık konusunda etkinliği tartışılmaktadır. Biyoyakıt üretiminde kullanılan enerji kaynaklarından yağlı tohumlu bitkiler (YTB) bu bağlamda ön plana çıkmaktadır. Gıda, enerji ve kimya sektörlerinde ağırlıklı olarak kullanılan bitkisel yağlara olan ilgiyi artırmıştır (Karakaş ve ark. 2014). 2013 yılında Türkiye’de ekim yapılan 15 milyon 618 bin hektarlık tarım alanıdır. YTB; ayçiçeği, soya, yer fıstığı, susam, aspir, kanola bu alanın 778 bin hektarında üretilmektedir. Yani toplam tarım alanının %5’inde YTB üretilmektedir. Ayrıca Türkiye’de YTB ithalatı yaklaşık 2 milyar dolar yani ithalatının %1’i kadardır (TÜİK, 2014). YTB üretiminde Türkiye büyük potansiyele sahip olmasına rağmen üretimi yeterli gelmemektedir. Bu nedenlerle ham madde bakımından biyodizel sektörünün YTB’ye ulaşması güçleşmekte ve piyasa koşullarında oluşan yüksek hammadde fiyatları sektörün rekabet gücünü negatif yönde etkilemektedir (Hatunoğlu, 2010). Tarımsal ürünlerden biyoyakıt eldesi alternatif kaynak geliştirme ihtiyacı olarak ortaya çıkmaktadır. Algler dünyada en hızlı çoğalan ve diğer yağlı bitkilere göre daha verimli olması nedeni ile yağ içeriği en verimli ürün olarak görülmektedir (Demirbaş ve Demirbaş, 2011).

Hava, su kirliliği, toprak tükenmesi ve azalan biyoçeşitlilik gibi çevresel faktörler bozunuma katkıda bulunmaktadır. Sentetik kimyasal maddeler, zirai ilaçlar ve gübreler, toprak, su ve havayı kirletmekte hem çevreye hem de insan sağlığına zarar vermektedir (Horrikan ve ark., 2002).

Heterosistli siyanobakteriler atmosferik azotu fikse etme yetenekleri ile bilinir. Çoğu tropik pirinç tarla toprağının verimliliği, siyanobakterilerin azot bağlama aktivitelerine bağlanmaktadır. Toprakların verimliliğini arttırmak için siyanobakterilerin aşılması başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Son zamanlarda çöl topraklarında azot sabitleme özelliğine sahip siyanobakterilerin hakim olduğu bildirilmiştir. Bunun, çöl topraklarının verimliliğine önemli ölçüde katkıda bulunduğu ve sonunda çöllerin bitki örtüsünü kolaylaştırdığı düşünülmektedir (Mahdi ve ark., 2010).

CO₂’nin Azaltılması

Atmosferde CO₂ miktarının önemli oranda azaltılmasına ihtiyaç duyulması, CO₂ azaltımı ile biyoyakıt, nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yaygın kullanımına geçişle birlikte ele alınabilir. Mikroalgler, CO₂ fiksasyonu ve biyoyakıt için çok önemlidir. Çünkü algler CO₂'i (ve ek besin maddelerini) geleneksel biyoyakıt ürünlerine göre çok daha yüksek oranlarda fotosentez yoluyla biyokütleye dönüştürebilirler. Bu biyokütle daha sonra anaerobik bakterilerin aracılık ettiği işlemleri kullanarak metan veya hidrojene çevrilebilir (Li ve ark., 2008; Haiduc ve ark., 2009).

Atık Su Arıtımı

UNESCO (2003), verilerine göre, su kullanım dağılımı endüstride %22, yerli suda %8 ve tarımda %70'tir. Bu suyun büyük bir kısmı atıksu olarak çevreye aktarılır. Bu yüzden, endüstriyel atıkların arıtılmasında modern bir yaklaşıma ihtiyaç vardır (Eurostat, 2011). Endüstriyel atıksular çoğunlukla ağır metaller, organik toksinler ve yüzey aktif maddeler barındırmaktadır. Tekstil, elektrokaplama ve diğer metal işleme sanayilerindeki atıklar, önemli miktarda toksik metal iyonları bulundurmaktadır (Ahluwalia ve Goyal, 2007). Mikroalgler, büyüme ortamları için bir su kaynağını, tarımsal akıntıyı veya belediye, endüstriyel veya tarımsal atık su gibi düşük kaliteli suyu kullanabilirler (Mostafa ve ark., 2012) ve atıksuyun geri kazanılmasında kullanılabilirler (Valverde ve ark. 2016).

Ağır metal; yoğunluğu 5 g/cm³'ün üzerindeki elementlere verilen addır ve 16'sı yapay olan 69 elementi kapsamaktadır. 69 element arasında antimon, arsenik, kadmiyum, krom, kobalt, bakır, demir, kurşun, civa, nikel, gümüş, talyum, kalay, vanadyum ve çinko genellikle kirliliğin sebebi olarak bilinmektedir (Sze ve ark., 1996). Kurşun ve arsenik gibi bazı ağır metaller ise çok zararlı olduğundan çok düşük derişimleri dahi zararlı etkilere sebep olabilmektedir (El-Naas ve ark., 2007).

Ağır metal iyonlarının iyon değıştirme, kompleks oluşumu ve elektrostatik etkileşim gibi çeşitli mekanizmalarla biyolojik olarak emilmesi mikro ölçekte gerçekleşmektedir. Evsel, tarımsal ve endüstriyel atık sulardaki artık besinler ve ağır metal iyonları, nehirler, göller ve denizlerin kirlenmesinden sorumludur (Michalak ve Chojnacka, 2002). Ağır metal iyonu biyolojik giderimi için alg biyokütlesi kullanmanın temel avantajı ve potansiyeli, sürecin sürdürülebilirliği ve dolayısıyla, endüstri ölçeğinde metodun maliyet etkililiğidir (O'Connell ve ark., 2008).

Son yıllarda ağır metallerin biyolojik giderimi için alg biyokütlesi (canlı ve cansız) kullanılmaktadır. Laboratuvar çalışmaları, alg biyokütlesinin (ölü veya canlı) çeşitli ağır metalleri aktif olarak absorbe ettiğini göstermiştir (Volesky, 2007).

Bioyakıt

Mikroalglerin; soya gibi alışlagelmiş ürünlerle karşılaştırıldığında daha yüksek alan verimliliği, ekilebilir olmayan arazi üzerinde yetiştirme ve tarım için uygun olmayan suların da kullanılabilme becerisi, karbondioksiti ve diğer sanayi atıklarının da kullanılarak yararlı hale dönüştürülebilmesi gibi avantajları vardır (Lohrey ve Kochergin,2012). Bu sebeplerle, biyodizel üretimini çevresel ve ekonomik açıdan daha yararlı hale getirebilmek adına hammadde olarak mikroalgleri kullanmak daha caziptir (Demir 2015).

Mikroalgal yakıtlar henüz ticarileşmiş değildir (Chisti ve ark., 2011). Mikroalgal biyolojik yakıt üretiminin ticarileşmesindeki engellerin başında üretim maliyeti gelmektedir(Bahadar ve Khan, 2013).Gelecekte petrol rezervlerinin azalması veya tükenmesi durumundaekolojik etkilerde göz önüne alındığında mikroalg esaslı biyoyakıt üretimi büyük önem kazanacaktır (Chisti ve ark., 2011).

Enerji sektörünün ihtiyacını bertaraf edebilmek için fosil yakıtlara alternatif yakıt kaynağı olarak biyodizel, biyoetanol, biyogaz ve biyohidrojen gibi biyoyakıtlar tercih edilmektedir(Suganya ve ark.,2016).

2. 3. Türkiye Alg Florası

Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü biyolojik kalite bileşenlerinin de dikkate alındığı çok sayıda proje gerçekleştirilmiştir (Demir ve ark.,2021). Su kalitesini belirlemek için geliştirilen indeks geliştirme projeleri tamamlanmıştır. Türkiye akarsu ve sulak alanların tespiti yapılmıştır. “Türkiye’de Referans İzleme Ağının Kurulması” Projesinin bir parçası olan çalışma da SYGM’ninde destek olduğu çalışmalardandır. Projede275 gölde çalışmalar yapılmış, 1363 fitoplankton taksonu tespit edilmiştir. Bunların 56 tanesi *Ochrophyta* divizyosuna aittir. Ülkemiz göllerinin morfolojik ve hidrolojik özellikleri farklılıklar göstermekte ve bu sebeple alg biyoçeşitliliğini de desteklemektedir (Demir ve ark.,2021).Türkiye tatlı su alglerine yeni kayıt olarak 30 *Ochrophyta* taksonu tanımlanmıştır. *Ochrophyta* divizyosunda bulunan taksonlar *Bicosoeca*, *Bitrichia*,

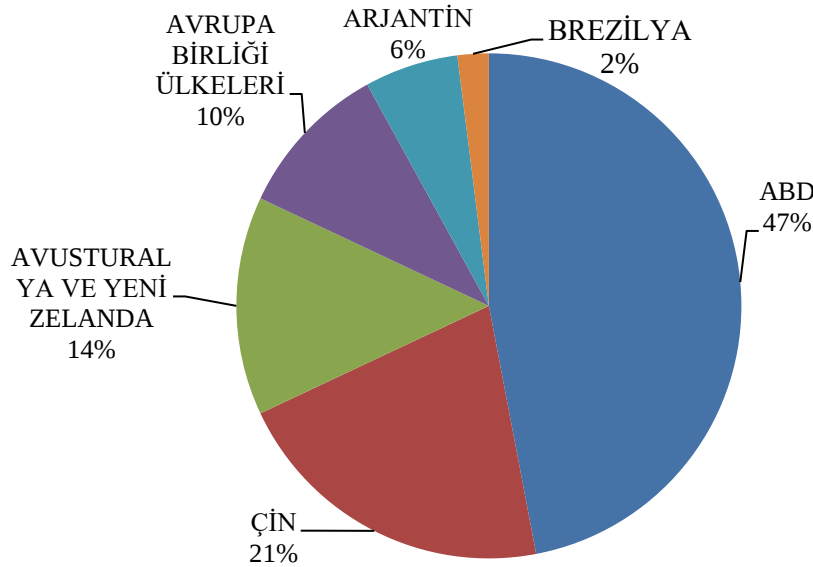
Chromulina (4), *Ochromonas*, *Chrysococcus*, *Dinobryon* (2), *Kephyrion* (2), *Kephyriopsis*, *Pseudokephyrion* (7), *Chrysosphaerella*, *Mallomonas* (5), *Phacomonas*, *Centrtractus*, *Pseudotetraedron* ve *Ducellieriacinsleri* içinde dağılım göstermiştir. Daha önce Türkiye’de yapılan çalışmalarda *Bicosoeca* cinsine ait 2, *Dinobryon* cinsine ait 12, *Pseudokephyrion* cinsine ait 1, *Mallomonas* cinsine ait 4, *Centrtractuscinsine* ait 1 takson rapor edilmiştir. Bununla birlikte bu çalışma ile birlikte ilk defa 10 cinse (*Bitrichia*, *Chromulina*, *Ochromonas*, *Chrysococcus*, *Kephyrion*, *Kephyriopsis*, *Chrysosphaerella*, *Phacomonas*, *Pseudotetraedron*, *Ducellieria*) ait taksonlar Türkiye alg florası için yeni kayıt olarak belirlenmiş bulunmaktadır (Demir ve ark.,2021).

2. 4. Mikroalglerin Dünyadaki Üretim Durumu

Mikroalglerin uzak doğuda gübre olarak kullanılması bilinen en eski uygulama alanıdır. 12. yüzyılda Avrupalının geniş kıyılara sahip bazı ülkelerinde benzer uygulamalar yapılmıştır. 17. yüzyılda Fransa, 1720 yılından sonra İngiltere mikroalg uygulamalarına geçmiş ve 18. yüzyıl sonunda İskoçya’da mikroalg uygulamalarına başlayarak yıllık mikroalg üretiminin kuru alg olarak 20.000 ton olduğu raporlanmıştır. Bu miktarda yaklaşık 400.000 ton yaş alg’e denk gelmektedir (Kargın, 2020).

Avrupa ve Amerika’da çeşitli sanayii dallarında algler bazı ürünlerin ham maddesi olarak günümüzde seçilmektedir. Bundan dolayı yeşil enerji kaynakları sektöründe önemli bir yere sahip olan mikroalgler üzerinde araştırma ve incelemeler yapılmaya değer mikroorganizmalardır. Son dönemde yaptığı çalışmalarla Amerika mikroalg üretimine öncülük etmektedir. 2010 yılının ortalarından itibaren mikroalglere verilen önem artmış ve Amerikan hükümetine bağlı Enerji Bakanlığınca algal biyoyakıtları ticarileştirebilmek için 3 araştırma şirketine 24 milyon dolar maddi destek sözü vermiştir (Kargın, 2020). 1970’den 1990 yıllarının ortalarına kadar ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı, biyodizel eldesi için mikroalglerin kullanımının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapmış, Cyanotech firması *Haematococcus pluvialis*’i 1990 sonunda karoten kaynağı olarak kullanmaya başlamıştır. (Deng ve ark., 2009; Matave ark.2010). ABD Enerji Bakanlığı (ABDEB) 1990’ların ortalarında fosil yakıt fiyatlarının düşmesinden kaynaklı olarak çalışmalara son vermiştir. ABDEB 2008 yılında biyoyakıt ile ilgili çalışmalara yeniden yatırım yapmaya başlamıştır (Deng ve ark.,2009). Günümüz dünyasında çeşitli şirketler alg tabanlı yakıtların ticarileştirilebilmesi için araştırmalar yapmaktadırlar. Örnek olarak; ExxonMobil firması algal yakıt üretimine 600 milyon dolarlık bütçe kullanmıştır (Chisti ve

ark.,2011). Origin Oil firması üretim giderlerini 0,60\$/L'ye kadar düşüren çalışmalar yapmıştır (Gendy ve ark.,2013). Singh ve Gu (Singh,2010) yayınladığı raporda, alg yakıtı üreten şirketlerin; %78'i ABD'de, %13'ü Avrupa'da ve %9'unun ise diğer bölgelerde bulunduğunu bildirmiştir.2009 yılı verilerine göre % 47 lik oran ile Amerika Birleşik Devletleri mikroalg üretim sektörüne öncülük ettiği görülmektedir. ABD ürettiği mikroalglerin çoğunluğunu ilaç ve kozmetik sektörlerinde kullanmakta iken, daha azını alg kökenli yakıt eldesinde kullanmaktadır. % 21'lik dilime sahip olan Çin alg üretiminde ikinci sırada olup , üretiminin bütünü gıda sekteründe kullanmaktadır. Çin'in ardından % 14 ile Avustralya ve Yeni Zelanda gelmektedir . Yeni Zelanda aynı zamanda, mikroalg kökenli biyofuel üretiminde mikroalgleri en efektif kullanan ülkedir. Bu ülkeleri % 10 ile Avrupa Birliği Ülkeleri, % 6 ile Arjantin, % 2 ile Brezilya takip etmektedir. Bu ülkelerin mikroalg üretim dağılımları şekil 2.18.'de verilmiştir.



Şekil 2.18. Ülkelere göre mikroalg üretim payı (FAO, 2009).

Mikroalg üreticiliği, su ürünleri yetiştiriciliğinin tanımına uysa da, mikroalg üretiçiliği, su ürünleri yetiştiriciliğinden ayrılıp ülke genelinde yada yerel olarak ciddi şekilde düzenlemeleri yapılmalı ve izlenilmelidir. Spirulina spp., Chlorella spp., *Haematococcus pluvialis* ve *Nannochloropsis* spp. türü mikroalglerin yetiştirilmesi işi, üretim hacmi büyük miktarda ticari üretime değişmekte olup ülkelerde insanlar için besin desteği ve diğer alanlarda kullanılmak üzere iyi bir yapıda kurulmuştur. Mikroalg çiftliklerinin dünyada ki ölçeği; FAO verilerinin Avustralya, Çekya, Fransa, İzlanda, Hindistan, İsrail, İtalya, Japonya, Malezya, Myanmar ve Amerika Birleşik Devletleri

gibi büyük yetiştiricilerden (Şekil 2.19., Şekil2.20., Şekil 2.21., Şekil 2.22., Şekil2.23.) elde edilen veri bulunmamasından dolayı asıl ölçeğinin altında bir değer göstermektedir.



Şekil 2.19.GreenFuel Tech Aurora Biofuels Gmbh, Arizona, alg üretim tesisi (Gezici, 2012).



Şekil 2.20.Algepower Gmbh Manhattan, ABD’de yeni kurulan bir fotobiyoreaktör (Gezici, 2012).



Şekil 2.21. İspanya’da Synthetic Genomics Gmbh ait bir mikroalg üretim tesisi (Gezici, 2012).

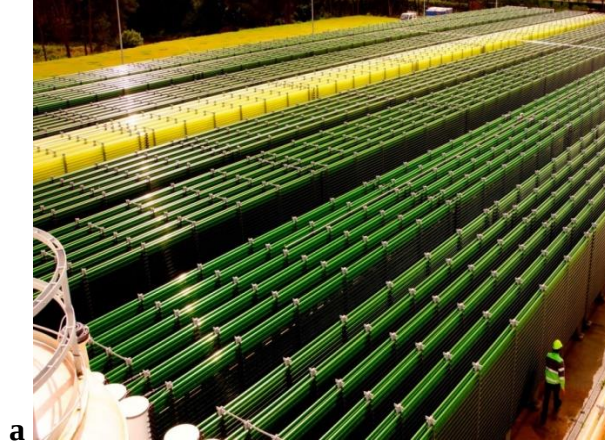


Şekil 2.22. İsrailAlgae Technologies Gmbh tesisi (Gezici, 2012).



Şekil 2.23.AlmanyaOtto Pulz laboratuvarlarına ait kapalı üretim tesisi (Gezici, 2012).

Son yıllarda oluşturulan alg üretim tesisleri ise daha önceki yıllara oranla daha büyük fotobiyoreaktörler de açık ve kapalı havuzlarda geniş çaplı olarak (Şekil 2.24.) üretilmektedir.



Şekil 2.24. Kapalı (a) ve açık (b,c) sistem alg üretim tesisleri (Anonim,2021a, Anonim,2021b, Anonim, 2021c).

2.5.Mikroalglerin Türkiye'deki Üretim Durumu

Türkiye’de mikroalg bilimsel çalışmaları daha çok, larva yemi üretimi ve deniz yüzey sularındaki ötrofikasyon takipsahalarında gerçekleştirilmektedir. Ayrıca Ege Üniversitesi Biyomühendislik Bölümü gıda ve etken madde üretimine yönelik fotobiyoreaktör tasarım çalışmaları mevcuttur. Başta Ege Üniversitesi (Şekil 2.25) olmak üzere Türkiye’de mikroalg biyokütle üretimi başlamış durumdadır; ancak enerji üretimi için gerekli yeterince çalışma bulunmamaktadır.



Şekil 2.25. Ege Üniversitesi Biyomühendislik bölümü mikroalg üretim serası (Gezici, 2012).

Az sayıdaki çalışmalardan biri de Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü bünyesinde Nisan 2010 tarihinde çalışmalarına başlanan TUBİTAK destekli “Mikroalgal Biyokütle Üretiminde Yenilikçi Yaklaşımlar” isimli projedir. Ayrıca Ömerli Evsel Atık Su Arıtma Tesisinin atık suyundan belirli zamanlarda alınarak farklı doğal ortamlardan toplanan alg örnekleri çoğaltılıp besi maddesi tüketim hızları, CO₂ absorbe etme hızları ile beraber biyokütle ve yağ üretimlerini incelemek amacıyla denemeler yapılmaktadır. Burada hasatın yani alglerin sudan başarılı şekilde ve düşük maliyetli bir işlemle ayrılması sürecin başarısı için oldukça önemlidir. Yaygın olarak kullanılan endüstriyel yaklaşımların hiçbiri (filtrasyon, santrifüj, microstraining, vb.) büyük miktardaki mikroalg eldesi için ne ekonomik ne de uygun bir metot olamamıştır (Asla ve ark.,2016).

Ülkemizde, özel şirketlerin bireysel yada devlet ile ortakalglerle ilgili yaptıkları çalışmaların olduğu bilinmektedir. Bu özel teşebbüslerden biri olan Ege Biyoteknoloji A.Ş., en yüksek yağ verimi olan mikroalg türleri ile çalışmaktadır. Kuruluşa ait laboratuvarlarda büyük çaplı araştırmalar ile yaklaşık 30 mikroalg türün bulunduğu bir kültür koleksiyonu oluşturulmuştur. Bergama'da bulunan Ege Biyoteknoloji A.Ş.'ye ait Üretim Tesisleri'nde (Şekil 2.26.) algalyakıt üretilmektedir Elde edilen algal yakıtın standartlara uygunluğunu belirlemek amacıyla KOSGEB desteği ile Ege Biyoteknoloji A.Ş. Bergama'daki Üretim Tesisleri'ndelaboratuvar üniteleri kurulmuştur. Projeye destek veren bir diğer kuruluş olan Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Araştırma ve

Uygulama Merkezi (ÇEVMER), mikroalg üretimi için kullanılacak olan kirli suyu temin ederek, bu suyun başlangıçtaki ve mikroalg kültürü sonrasındaki özelliklerini belirlemek için, gerekli kimyasal ve fiziksel analizleri yapılacaktır.. Bunun yanı sıra yağ elde edilmesi ve algalyakıt üretimindeki proseslere de katkı verecektir(Gezici, 2012).



Şekil 2.26. İzmir Bergama’da Ege Biyoteknoloji A.Ş Mikroalg Üretim Tesisi (Gezici, 2012)

2. 6.Alg Biyoteknolojisinin Dünyadaki Durumu

Mikroalg biyokütle üretimi için tesisler açan bütün firmalar biyoyakıt üretmek gayesinde dirler. Fakat henüz AR-GE evresinde olan çalışmalar için biyoyakıt üretmenin çok zor olmadığı bildirmektedirler. AR-GE çalışmalarını ticari boyutta yapabilmek çokda kolay kolay olmadığı için, 20 yıldır çalışmalar devam etmektedir. Yeni Zelanda’da Aquaflo adındaki şirket biyoyakıt çalışmalarında tek başarılı şirket olurken, mikroalg tabanlı çalışmalar yapan diğer şirketler denemelerini sürdürmektedir (Elçik ve Çakmakçı,2017). Tablo2.9’da mikroalg tabanlı biyoyakıt üretimine ve ticarileşmesine yatırım yapan birtakım şirketler aşağıda verilmiştir. Buna ek olarak birçok araştırmacı gruplarla birlikte devlet kurumu da mikroalg biyoyakıtlarının ticarileşmesine destek olmaktadır.

Tablo2.9. Algal biyoyakıt ticarileşme girişiminde bulunan şirketler(Elçik ve Çakmakçı,2017).

Şirket	Bulunduğu Yer
Aquaflow	Nelson, Yeni Zelanda
Alga Fuel	S.A., Sines, Portekiz
Bioalgene	Seattle, WA, ABD
Bionavitas, Inc.	Redmond, WA, ABD
Cellana	Hawaii, ABD
Community Fuels	Encinitas, CA, ABD
Diversified Energy	Gilbert, Arizona, ABD
Eni	İtalya
Galp Energia	Lisbon, Portekiz
HR Biopetroleum	Hawaii, ABD
Ingrepo B.V.	Zutphen, Hollanda
Neste Oil	Helsinki, Finlandiya
Origin Oil	Los-Angeles, CA, ABD
PetroAlgae Inc.	Melbourne, FL, ABD
Phyco Biosciences	Chandler, AZ, ABD
Sapphire Energy, Inc.	San Diego, CA, ABD
Seambiotic Ltd.	Tel Aviv, İsrail
Solazyme, Inc.	San Francisco, ABD
Solix Biofuels, Inc	Fort Collins, CO, ABD
XL Renewables	Phoenix, Arizona, ABD

Son yıllarda ise biyoenerjinin bina cephelerinde kullanılmasına dair mimaridizaynlar geliştirilmiştir. Bu tasarımlarda, cephelere fotobiyoreaktörler kurulmakta veya yeşil enerji kaynağı olarak algler tercih edilmektedir. Bu tasarımların bina cepheleri fotobiyoreaktörlerle bir bütün haline gelerek enerji üretimi için daha etkili alanlara dönüşürken cephe elemanlarının sürdürülebilir yapılarındaki etkinliği artmaktadır. Fotobiyoreaktörlerde üreyen algler, yapının atık suyunu arıtmakta, çevredeki CO₂'i fotosentez yoluyla absorbe etmekte ve fotobiyoreaktörler aracılığı ile alglerden elde edilen biyoenerji enerji ihtiyacında kullanılmaktadır. Bu yapıların negatif karbona ulaşabilmesi ve enerji verimliliği sağlanmaktadır. XTU Mimarlık, Symbio2

alışmasındayosunlar ve yapılar arasındaki yenilikçi yaşamı hedefleyen ve bünyesinde alg üretilen cepheleri (Şekil 2.27.) geliştirmiştir (Kükdamar,2017).



Şekil 2.27. SymbIO2, algler ve binalar arasındaki yenilikçi ortak yaşam(Kükdamar,2017).

BPD Marignan ve XTU Mimarlık, SNI Grubu ve MU Mimarlık’la ortak çalıştıkları projeyle, Paris Rive Gauche M5A2 kentsel gelişim alanı için, ReinventerParis kentsel dönüşüm proje yarışmasında başarılı olmuşlardır. “In Vivo” (Şekil 2.28.) isimli proje, kentlerde insanla doğa arasındaki birleşmeyi, sosyal diyalogu desteklemek için, daha uygun, sürdürülebilir kent yaşamıortaya çıkarmaya çalışmaktadır(Kükdamar,2017).



Şekil 2.28. Alg Evi, fotobiyoreaktörlerle oluşturulan bina cephesi (Kükdamar,2017).

Fransa, RT2020 olarak isimlendirilensaglam bir çevre politikası benimsemiştir. Bu politika; 2020 yılına kadar ülkede enerji tüketimini %20 azaltmaya ve yeşil enerji

faydalanımını %20 artırmak hedefindedir. Bu hedeflere ulaşabilmek için Fransa, kullanılan enerjiden daha fazla enerji üretmek ve atık suyu kanalizasyona aktarmak yerine atık suyu özel işletme tabii tutup dönüştürmek için, yeni ticari binalara gereksinim bulunmaktadır. Bu amaçla Ennesys şirketi ile bir Amerikan alg üretim şirketi olan OriginOil, sürdürülebilir binalar (Şekil 2.29.) için, Paris civarında 3.502.444,6 m²'lik işyeri alanı bulunan Nanterre La Defense bölgesinde sürdürülebilir bina sistemlerini 2012 yılı kasımında projelendirmiş ve tanıtımını gerçekleştirmiştir (Kükdamar,2017).



Şekil 2.29. Ennesys ve OriginOil işbirliği binası (Kükdamar,2017)

Proje, tarım alanı kullanmadan, gelecekteki temiz ve ucuz yakıt kaynağı olan mikroalgler aracılığı ile enerji üretmek ve bununla birlikte binalardaki atık suyu arıtmak şeklinde belirlenmiştir. Ennesys ve OriginOil'in sistemi alglerin enerji üretmek ve atık su arıtımında en uygun çözüm olduğu bildirilmektedir (Kükdamar,2017).

2.7. Alg Biyoteknolojisinin Türkiye'de ki Durumu

Türkiye'deki araştırmaların kapasitelerini, ortamlarını artırmak amacıyla Türkiye ve Birleşik Krallık işbirliği sayesinde Research Environment Links projesi dahilinde desteklenen 'Joint Consortium on Algal Biotechnology for Bioeconomy-Driven Future' isimli çalışma iki ülkenin araştırma merkezlerinin iletişimi sağlanarak algal biyoteknoloji dalında ortaklaşa bilimsel çalışmalar yürütülmesini ve eğitimler yapılması hedefleniyor. Ayrıca Boğaziçi Üniversitesi'ndeki İstanbul Mikroyosun Biyoteknolojileri AR-GE Birimi (İMBİYOTAB) (Şekil 2.30.) ve Cambridge Üniversitesi Mikroyosun İnovasyon Merkezi (AIC) araştırmacıları tarafından eğitimler verilecek. AIC

algtemelliçalışmalarda dünyanın önde gelen merkezlerinden gösterilmektedir. Ar-Ge ve kamuoyuna yönelik eğitim çalışmalarında akademik iş birliği ile asıl hedeflenen, İMBİYOTAB’ ın enerji, tarım, çevre ve sağlık alanlarında katma değeri yüksek ürün eldesini mümkün kılan alg teknolojileri konusunda ülkemizdeki kapsamlı Ar-GE merkezi haline getirmektir. 2015 Yılında desteklerle hayata geçen İMBİYOTABmikroalg teknolojileri alanında ki faaliyetler sonunda bir çok alana ait ürün ve uygulamalar geliştirilmektedir(Anonim, 2021a).



Şekil 2.30.Boğaziçi Üniversitesi’ndeki İstanbul Mikroyosun Biyoteknolojileri AR-GE Birimi (İMBİYOTAB) (Anonim,2021g)

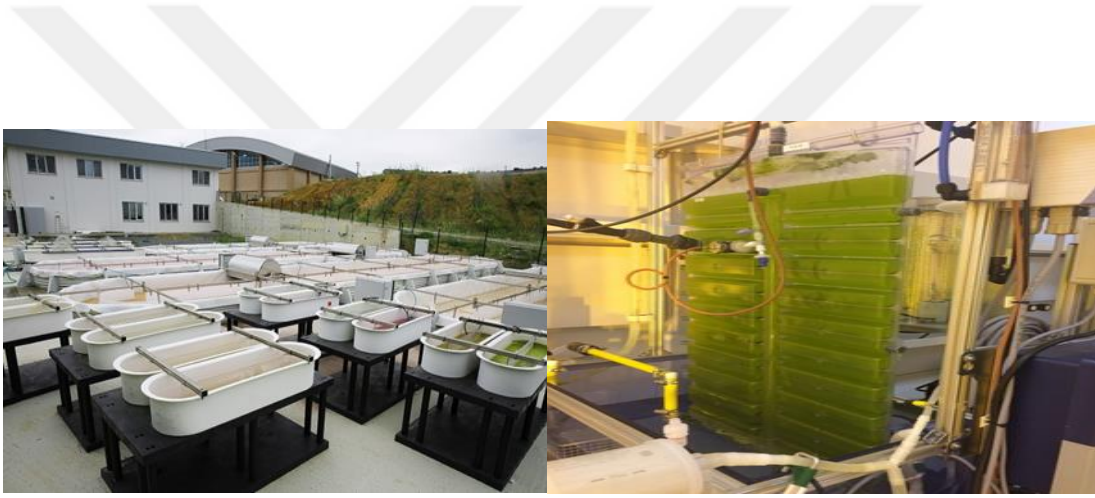
İMBİYOTAB, alg biyokütlesinden sürdürülebilir tarzda ileri seviye algalyakıtüretimi, yüksek verimliliğe sahip ısı ve güç üretimi için esnek termo-kimyasal ve biyo-kimyasal yöntemlerle elverişli teknolojilerin geliştirilmesi, biyokütle hammadde üretilmesi, hastat edilmesi, idare edilmesi ve kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için çalışmalarda bulunulmakta ve ülkemizin biyoenerji endüstrisini desteklemek için uzun vadeli Ar-Ge programı geliştirmektedir (Anonim,2021e). İMBİYOTAB mikroyosunlarla ileri seviye atıksu arıtım uygulamalarına dönük araştırmalar da yürütmektedir. Bu alanda ilk başlatılan projelerden Kilyos çayının Karadeniz’e dökülen azot ve fosfat kirleticileri, kanalizasyon suları, dijital atıklardan gelen ağır metal içeren sanayi atıksuların alg teknolojileri ile temizlenme çalışmaları yapılmaktadır’’ (Anonim, 2021f).

Gıda sektörü tanım olarak üretim ve tüketimin tüm aşamaları kapsamaktadır. Türkiye’nin temel hedefleri hayvansal, bitkisel ve su ürünleri üretimi sonucu elde edilen hammaddelerin sanayide ürüne dönüştürülmesi süreci sonunda güvenilir ve kaliteli gıda

elde edilerek tüketiciye ulaşmasının sağlanması, gıda tüketimi ile tüketicilerin sağlık ve refahın korunması ile tüm bu faaliyetlerin her basamağına çevresel faktör etkilerinin araştırılarak gıda üretim ve tüketim faaliyetlerinde kalite ve güvenliği sağlamaktır. Orman ve Su İşleri Bakanlığı ülkemizin artan nüfusa bağlı olarak son 19 yıldaki kişi başına düşen tarım alanlarının azaldığını kaydetmiştir. Bu nedenle Türkiye gelecek yıllarda ki gıda talebini karşılayabilmesi için tarım alanlarını verimli bir şekilde kullanmalıdır. Bunu sağlamak için yeni yöntemlerin geliştirilmesi, araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılması gereklidir. Kentleşme sonucunda tüketim alışkanlıkları değişmiş, talep çeşitleri artmış ve hazır gıdaya olan yönelim artmıştır. Bu değişimler gıda güvenliği konusunu ön plana çıkartmıştır. Gıda güvencesi ile başlayıp gıda güvenliği ile devam eden yolda gıda sektörü ile tarımın bütünleşmesinin önemi daha da artmıştır. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın Strateji Planı'nda Avrupa Birliği, Birleşmiş Milletler, Dünya Ticaret Örgütü ve FAO gibi kuruluşların gıda üretim ve tüketim zincirinde belirttikleri ana hedeflerden biri olan çağdaş tarım yerine sürdürülebilir tarım, topraksız tarım ve iyi tarım uygulamaları yer almıştır. İMBİYOTA Tüm bu hedeflere ulaşmada ve yüksek kentleşme dikkate alındığında İstanbul Bölgesi'nde mikroyosun kökenli gıda destek ürünü üretilmesi için geleceğe yönelik ihtiyaç giderimi çalışmaları yapmaktadır. (Anonim, 2021g).

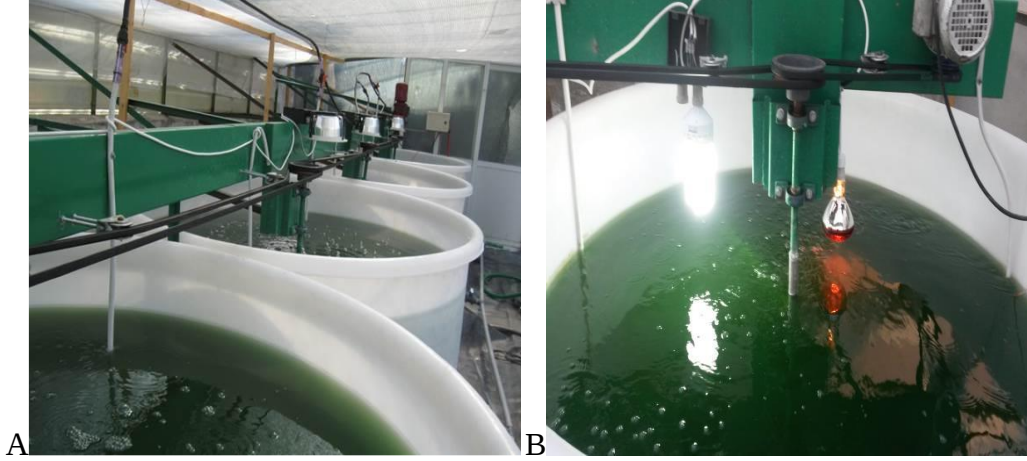
Ayrıca; Biyoekonomi Odaklı Gelişim için Entegre Biyorafineri Konsepti (INDEPENDENT) Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti mali işbirliği ile desteklenen Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının Rekabetçi Sektörler Programı çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. INDEPENDENT Projesi ile, Türkiye'nin öncelikli sorunlarından olan cari açık kaynaklarından sağlık ve enerji alanlarına dair sürdürülebilir ekonomi temelli büyüme modelini, proseslerin ve teknolojilerin bir arada üretilebilmesi ve fosil kaynaklardan bağımsız olarak tamamen alg (yosun) temelli doğal kaynaklardan eldesi amaçlanmaktadır. Kara ve denizde kurulacak alg fotobiyoreaktörlerinde geliştirilecek mikro ve makroalglerden besin takviyesi, farmasötik özellik gösteren bileşenler, hayvan yemi, organik gübre ve biyoyakıtlar geliştirilmesi planlanmaktadır. Tesiste hemen hemen 1200 tonluk ıslak alg kütlesi işlenmekte (Şekil 2.31). INDEPENDENT Projesi, program otoritesi olarak Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, AB ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, AB Mali Programları Daire Başkanlığı tarafından yürütülen Rekabetçi Sektörler Programı altında AB Katılım Öncesi Mali Yardım Programı Aracı (IPA) ile desteklenmeye hak kazanarak 18.12.2019 tarihi itibarıyla uygulama süreci başlamıştır.

Toplam 2500 m² Ar-Ge alanı ve üretim sahasında kurulan 80 m³ açık havuz ve 30 m³kapalı üretim reaktörlerinde yetiştirilen alglerden elde edilen ürünler yetiştirilmekte. Tamamen rüzgâr enerjisi destekli tesis, Türkiye ve Avrupa'nın ilk karbon-negatif entegre biyorafinerisi olma özelliğini taşımaktadır. Projenin toplam 5,7 milyon Avro'luk bütçesi, Rekabetçi Sektörler Programı altında, %85 oranında Avrupa Komisyonu, %15 oranında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenmektedir. INDEPENDENT projesi ile Kamu Üniversite Sanayi İşbirliği (KÜSİ) çerçevesinde proje hedef sektörleri başta olmak üzere petrokimya, kozmetik, tekstil gibi alg tabanlı ürünlerin kullanıldığı birçok farklı alanda faaliyet gösteren KOBİ'lere danışmanlık, proje geliştirme, teknoloji transferi, ekipman tasarım, ürün test ve analiz hizmetleri verilmekte, istihdam yaratılarak sektör gelişimi sağlanmaktadır.(Anonim, 2021h).



Şekil 2.31.İMBİYOTAB açık ve kapalı sistem havuzlar (Anonim, 2021g)

Arthrospira (Spirulina) platensis ve *Phaeodactylum tricornutum* ile ekonomik ve kontrolü mümkün proseslerin kurulması ile rahat işletilebilecek üretim sistemlerin geliştirilmesi amacı ile Ege Üniversitesi Biyomühendislik Mikroalg Biyoteknoloji Laboratuvarında Prof.Dr. Meltem Dalay yönetimindeki mikroalg kültür koleksiyonunda yararlanılarak yapılan çalışmada *P. tricornutum* kapalı (fotobiyoreaktörler) ve *A. platensis*' in açık (karıştırılmalı tanklar) havuzlarda (Şekil 2.32.) ticari üretim amacı ile ekonomik, sağlam, üretim kolaylığı sağlayan prosesler hedeflenerek, mikroalgal biyokütle miktarların artırılması sağlanmıştır (Demirel ve ark., 2018).



Şekil 2.32. *Arthrospira platensis*'in yetiştirilmesi için kullanılan karıştırmalı tank havuzlar, A; Paralel üretim sistemi, B; Aydınlatmalı üretim sistemi (Demirel ve ark., 2018) .

Bunların yanı sıra merkezde, kamu ve özel sektöre alg kullanılarak atık suyun geri kazanımı, algalyakıt üretimi, gıda, ilaç uygulamaları ve diğer ticari ürün geliştirilmesi konularında danışmanlık ve Ar-Ge hizmeti sunulmaktadır. İMBİYOTAB içinde aktif şekilde yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları yapılmakta, sosyal destek programları yürütülmektedir. (Anonim, 2021a). Prof. Dr. Nilüfer Eğrican başkanlığında İstanbul Teknik Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi ve Kültür Üniversitesi öğrenci ve akademisyenlerinin oluşturduğu Team İstanbul ekibi, Akım Mühendislik, Anel Elektrik ve DKM İnşaat gibi profesyonellerin sağladığı destekler ile 2017 yılında Çin'in Dezhou kentinde düzenlenmiş olan Solar Decathlon yarışmasına isimli proje ile ön eleme aşamasını geçmiş ve Türkiye'yi temsilen yarışmaya katılıp, kazanmıştır (Say ve ark., 2017). Proje ismini Latince 'su yosunu' anlamına gelen 'Algae' sözcüğü ile İngilizce mimarlık anlamına gelen 'architecture' sözcüklerinin birleştirilmesi ile 'AlgaeTECT Evi' olarak almıştır. Projenin tasarımında gözlenen en yenilikçi özellik evin evsel organik atıklardan yosunlarla metan, metanın yakılmasıyla elektrik enerji üretimi, bu üretim sırasında açığa çıkan CO₂'inde yine yosunlarca bertaraf edilirken O₂ üretilmeleridir. Karasal bitkilere oranla 5 kat daha fazla O₂ üreten ve bu üretimde CO₂ kullanan yosunlar atmosferin kalitesinin artmasında sağlamaktadır. (Say ve ark., 2017). AlgaeTECT Evi'de (Şekil 2.33) alglerin yetiştirilmesinde kullanılan su atıksu olmasından dolayı yetiştirme sırasında atıksuların arıtılmasının yanısıra elde edilen su rezervuarlarda ve bahçe sulamasında kullanılabileceğinden, suyun yeniden kazanılması ve akıllı kullanılmasını da sağladığı için fark yaratmaktadır (Say ve ark., 2017).



Şekil 2.33.AlgaeTECT Evi (Say ve ark.,2017).

3. TARTIŞMA

Bilim insanlarının üzerinde araştırmalar yaptığı konuların başında yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması yer almaktadır. Halahazırda kullanılan enerji kaynakları günümüzde azalmakta ve ilerleyen yıllarda tüketimi karşılamayacak duruma gelmesidüşüncesi bu konudaki kaygıyıartırmaktadır.Bu nedenle yeni enerji kaynakları bulmak ve geliştirmek kaçınılmaz hale gelmiş ve algler ilgi odağı olmaya başlamıştır.Sanayi atıkları ve evsel atıksuları kirletmekte ve atık su arıtımı da gittikçe önem arz etmektedir.Atık sulardaki kirliliğe bağlı olarak oluşan ağır metal kirliliğine çözüm yolları olarak alglerin kullanımı değerlendirilerek kullanımı yaygınlaştırılmaktadır.Ayrıca mikroalglerden enerji eldesi atıksu maliyetini düşürdüğünden dolayı atık su arıtımında mikroalg kullanımı da önem kazanmaktadır. Ülkemizde atık su arıtımı kimyasal veya farklı biyolojik yollarla ve maliyetli olarak yapılmakta iken algal arıtım tesisleri büyük ve küçük ölçekli olarak fabrika atık su çıkışlarında,belediye içme suyu arıtım tesislerinde geliştirilerek kurulabilir.Küresel ısınma,şehirleşme ve nüfusun artması sebebi ile temiz su kaynaklarının azalması ve tükenmesi son yıllarda uluslararası alanda üzerinde giderek daha fazla düşünülen ve tartışılan bir konudur. Küresel su tüketiminin önümüzdeki yüzyılda katlanarak 15/20 yıl sonraartışınbeklendiğigöz önünde bulundurulursa su politikalarının ve su kullanımının, ayrıca atık suların geri kazanımının ne kadar önemli olduğu anlaşılabilir. Artan insan popülasyonu, endüstrileşme, şehirleşmenin getirmiş olduğu aktiviteler nedeni ile su ihtiyacı artmakta ve suyun kullanımı ve kaynakların korunması atıksuyun geri kazanılarak tarımda ve endüstride kullanılması konuları üzerinde durulması Türkiye içinönem arz etmektedir

DSİ'nin verilerine göre ülkemizde halahazırdakullanılabilir su kaynaklarının ekonomik ve teknik sebeplerle tamamı değil belirli bir kısmı kullanılabilmektedir. Ayrıca ülkemizdeki su tüketim miktarının ilerleyen yıllarda nüfus artışı da göz önüne alındığındaartış göstereceği düşünülerek, su kaynaklarının temininde,atık su arıtımındave kullanılmış olan suyun geri kazanılmasında Ar-Ge çalışmaları ve yenilik çalışmaları son derece önemlidir. Fosil yakıtlara göre alg biyodizelininkarbondioksit emisyonunun azoluşu, alglerin kirli susahalarında üretimleri aşamasında kullandıkları karbondioksit ve atık suların kullanışlı ürünlere geri dönüşümügözönüne alındığında, çevreci bir enerji üretim çalışmaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple

Ülkemizde bu proseslere en uygun mikroalg türleri tespitinin yapılarak uygun proseslerde kullanılması çalışmalarına ivme kazandırılmalıdır.İnsanların evre üzerinde oluşturdukları kirletici etkisi ve küresel ısınma faktörü biraraya geldiğinde biyo çeşitliliğimiz tahribata uğramaktadır.Bu sebeple oluşturulan alg kültür mevcut biyoçeşitliliğin korunmasına adınayetersizdir. lkemizdeİMBIOTAB bünyesi dışında Ege niversitesi'ne ait alg kültür kolleksiyonları mevcut durum karşısında diğer lkerelere bakıldığında yeterli görülmemektedir.Türkiye alg florası çalışmalarında, lkemizin zengin alg eşitliliğinesahip olduğu görülmesine rağmen; alg kültür koleksiyonu yetersizdir. Ülkemizde yapılan çalışmalar ya laboratuvar ölçekli veya yurt dışında çalışılmış suşların farklı modellemeleri mevcuttur. Bu durum farklı suşlarda ortaya çıkabilecek olumlu ve olumsuz sonuçların gözlenmesini mümkün kılmamaktadır. Ayrıca laboratuvar şartlarında yapılan çalışmaların ticarileştirilememesi; kaynak bulma problemleri, maliyet, kamu kurumlarından yeterli destek alamamalarını beraberinde getirerek sadece laboratuvarkoşulları altında bilimsel çalışma olarak kaydedilmektedir. Alg biyoteknoloji lkemizdekısa bir geçmişi vardır. Fakat farklı enerji kaynakları bulma çabaları ve başka birçok alanda kullanım potansiyeli bulunan alglerin dünyada olduğu gibi ülkemizde de cazip duruma gelmiştir. TÜBİTAK'ın yurt dışında bulunan bilim insanlarımıza 'Yurda Dönüş Programı' kapsamında çağrıda bulunması ile ABD'den Türkiye'ye dönen Boğaziçi niversitesi evre Bilimleri Enstitüsü Öğretim yesi Dr. Berat Zeki Haznedaroğlu, ekibiyle birlikte yosundan biyodizel üretmeye başlamış bulunmaktadırlar. eyrek asır iindelkemizdeki alışmalaragz atıldığında,tatlı ve tuzlu su kaynaklarını, alg florasını araştıran bilim insanlarımız ve değerli birçok akademik çalışma mevcuttur. Türkiye'de yapılan bu alışmalarabakıldığında, literatür bu çalışmaların büyük çoğunluğunun taksonomik ve fizyolojik çalışmalardan oluştuğu grlmektedir.

Türkiye Göllerinde yapılmış olan çalışmalar da 30 yeni tür tespit edilmiş ve kayıtlara geçirilen bu değerli çalışma sonucunda algal biyoteknoloji çalışmalarında yeni suşlar üzerinde çalışmalar yapılabilir ve kültür stokları çeşitlendirilerek sayıca artırılabilir.

Mimari de yapılmış alg çalışmaları ile binaların daha evre dostu bir yaklaşım ile tasarlandığı projeler diğer ülkelerde geliştirilerek hayata geirilirmiş veya geçirilmektedir. Ülkemizde ise bu çalışma diğer çalışmalardan farklı bir şekilde içerik olarak ayrışmasına rağmen; desteklenmeyip geliştirilemediği için hayata geçirilememiştir.Ancak bakıldığında diğer ülkelerin hazırladığı projeler AR-GE alışmaları ile dahada geliştirilerek prototip haline getirilmiş ve tanıtımları yapılmaya

başlanmıştır. Ülkemizde hazırlanan projenin yarışma sonrasında geliştirilememesi bu alanda yenilebilir bir çevre için eksikliklerdir. Dünyaya bir göz attığımızda yapılan çalışmalarda enerji ve enerji kaynaklarının geleceği için araştırma ve geliştirme eksensideğişikliklerin yapıldığı veya yapılabileceğini görmek mümkündür. Çalışmaların ortak paydaları arasında çok iyi stratejik hedeflerin belirlenmiş olması ve amaçlanan hedeflerin çok iyi belirlenebilmiş olmasıdır. IMBIYOTAB' ın bu anlamda gerçekleştirmek istediği hedefler azımsanacak kadar az değildir. Ancak dünyaya bakıldığında, zaman bakımından çok geride kaldığımız, çalışmaların ve desteklerin daha fazla olması gerekliliği görülmektedir. Bu çerçevede, Türkiye'de hedeflerine ulaşmak için Ar-Ge ve yenilikçi yaklaşımlarla enerji ve diğer alanlarda gerçekleştirilebilecek atılımlarla bu hedeflerin ötesine geçmeyi teşvik eden bir strateji ile eksikler giderilmelidir.. Ülkemizin strateji ve politikalarında özellikle enerji arz güvenliğinin sağlanması ve enerji kaynaklarında ki yenilenebilir enerji çeşitliliğinin sağlanması en önemli hedef olarak ön plana çıkartılmıştır. Bu hedef doğrultusunda yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, tarım , endüstri, kozmetik, hayvan yemi gibi alanlarda alglerin kullanımı büyük önem arz etmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ticari mikroalglerin istenilen kalitede üretilmesi önemli bir konu olmakla birlikte, ekonomik yönden faydaları düşünüldüğünde, fitobiyoreaktörler ve tasarım modelleri geniş çaplı olarak incelenmelidir. Mikroalg üretimi üzerine yapılan çalışmalar da mikro yosunların üretimiaçısından, her çeşit ölçekte ticari üretime dayalı olarak; gıda, tıp, eczacılık, kozmetik, yem sanayisi ve gübre gibi sahalarda farklı üretim modelleri geliştirilmektedir. Ülkemizde enerji üretimi için mikroalglerin geliştirilmesi ve kullanılmasının gelecekte fosil yakıtlara alternatif olma olasılığı yüksektir. Türkiye' IMBIYOTAB çerçevesinde ve Dr. Berat Haznedaroğlu ve ekibinin geliştirdiği biodizel çalışmaları ümit vericidir. 2022 yılında jetlerde yakıt olarak kullanılması planlanan alg tabanlı yakıt ülkemiz adına sevindirici bir gelişmedir. Bunun haricinde Türkiye'de mikroalg üretimi ticari amaç dışında sınırlıdır. Genellikle laboratuvar ölçeğinde bilimsel çalışmalar mevcut olmasına rağmen üretim miktarı yetersizdir. Ayrıca, çevre mühendisliği dalında mikroalglerle bir çok atık su arıtım çalışmaları yapılmakta olup bazı üniversitelerde biyoyakıt elde etme çalışmaları sürdürülmektedir. Sürdürülebilir çevre ve yenilenebilir enerji için; mikroalglerden yararlanmanın faydaları aşikârdır. Mikroalgler, gelecekte birçok alanda (çevre, enerji ve ekonomi) öncelikli mikroorganizmalar olacaklardır. Bu nedenle; Türkiye'de alg biyoteknoloji çalışmalarına kaynak aktarımı yapılmalı ve uygun olan bölgelerde, boş arazilere fotobiyoreaktörler kurularak, ülkemizdeki yetişmiş bilim insanlarının önderliğinde kamu kurum ve kuruluşları ve işletmelerle destek sağlanarak; büyük ölçekli alg havuzları kurulmalıdır. Elde edilen biyokütlelerin biyoyakıt, gıda, kozmetik, gübre, hayvan ve akuakültür yemi olarak kullanılması ile sentetik ürünlere kıyasla doğal ve sağlıklı ürünlerin kullanımı sağlanacaktır. Ülkemizde mikroalglerden elde edilen ürünler artarken, alglerin biyokütle üretimi için kolay kontrol edilebilen, verimli, kontaminasyondan uzak ve düşük maliyetli teknolojilerle üretilen sistemlerin kurulumlarının gerçekleştirilmesi ile dış ülkelere bağımlılık azaltılarak ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır. Bu kapsamda yapılan büyük çaplı üretimler için uygun sistemler geliştirilmeye çalışılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- Aach H.G.,(1952). Über Wachstum und Zusammensetzung von Chlorella pyrenoidosa bei unterschiedlichen Lichtstärken und Nitratmengen, Arch Mikrobiol, 17, 213-246,
- Abreu A.P., Fernandes B., Vicente A.A., Teixeira J., Dragone G.,(2012).Mixotrophic cultivation of Chlorella vulgaris using industrial dairy waste as organic carbon source, Bioresour. Technol., 118, 61-66.
- Abu Al-Rub, F.A., El-Naas, M.H., Ashour, I., Al-Marzouqi, M., (2006). Biosorption of Copper on *Chlorella vulgaris* from Single, Binary and Ternary Meta Aqueous Solutions. Process Biochemistry, 41, 457-464.
- Ahluwalia, S.S. Goyal, D.,(2007). Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. Bioresour. Technol. 98 (12), 2243-2257,
- Ahmadzadeh, H. Prescott, M., Muster, N., Stoyanov, A.,(2007). Revisiting electroosmotic flow: an important parameter affecting separation in capillary and microchip electrophoresis. Chem. Eng. Commun. 195 (2), 129-146.
- Akman, Y.,(1993). Bitki Biyolojisine Giriş (Botanik), Palme Yayınları, Ankara.
- Aksu, Z.,(2001). Equilibrium and Kinetic Modelling of Cadmium (II) Biosorption by *C. vulgaris* in a Batch System: Effect of Temperature. Separation and Purification Technology, 21, 285-294
- Alexander, M., (1999). Biodegradation and bioremediation second edition, Academic Press New York. S:453
- Altuner, Z.,(2007).Sistematik Botanik-1 Gaziosman Paşa Üniversitesi Biyoloji Bölümü,7., Baskı. Tokat.
- Anonim, (2008). Zeytin ve zeytinyağı ile diğer bitkisel yağların üretiminde ve ticaretinde yaşanan sorunların araştırılarak alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla kurulan meclis araştırmakomisyonu raporu.<https://www.tbmm.gov.tr/sirasayi/donem23/yil01/ss296.pdf>,(erişim tarihi:17.10.2021)
- Anonim, (2017). [http://: kucukakarsu.net/biyoteknolojinin-tanimi](http://kucukakarsu.net/biyoteknolojinin-tanimi).(Erişim Tarihi: 12-03-2017).
- Anonim, (2017b).<https://biologigonz.blogspot.com/2010/04/species-ganggang-biru.html> (Erişim Tarihi: 28-17-2021).
- Anonim, (2017c).[http://:botany.hawaii.edu/BOT201/Algae/Cyanophyta%20lectur %20notes](http://botany.hawaii.edu/BOT201/Algae/Cyanophyta%20lectur%20notes). (Erişim Tarihi: 15-12-2017).
- Anonim, (2018b). <http://www.algalweb.net>. (Erişim tarihi: 18-01-2018).

- Anonim, (2018c). <http://nordicmicroalgae.org/taxon/Scenedesmus%20quadricauda>. (Erişim Tarihi: 16-12-2018).
- Anonim, (2021a).<https://www.chemlife.com.tr/bogazici-universitesi-ve-cambridge-universitesi-yosun-biyoteknolojisi-konusunda-isbirligi-yapacak> (Erişim Tarihi: 10-10-2021).
- Anonim, (2021b).<https://www.birbes.com/mikroalg-nedir-biyoaktif-bilesenleri-nelerdir-nasil-yetistirilir-19005/>,(erişim 17.10.2021).
- Anonim, (2021c).<https://www.birbes.com/mikroalg-nedir-biyoaktif-bilesenleri-nelerdir-nasil-yetistirilir-19005/>, (Erişim tarihi: 17.10.2021).
- Anonim, (2021d).<https://denizyosunuspirulina.blogspot.com/2013/06/alguretimsistemleri.html>, (Erişim tarihi: 17.10.2021)
- Anonim, (2021e). <https://imbiyotab.boun.edu.tr/tr/content/su-ve-%C3%A7evre-kalitesi> (Erişim tarihi: 04.12.2021)
- Anonim, (2021f). <https://imbiyotab.boun.edu.tr/tr/content/enerji> (Erişim tarihi :04.12.2021)
- Anonim, (2021g); <https://imbiyotab.boun.edu.tr/tr/content/g%C4%B1da> (Erişim tarihi : 04.12.2021)
- Anonim, (2021h); <https://independent.boun.edu.tr/proje-tanitimi.php>(Erişim tarihi :04.12.2021).
- Arief, V.O. Trilestari, K., Sunarso, J., Indraswati, N., Ismadji, S., (2008). Recent progress on biosorption of heavy metals from Liquids using low cost biosorbents: characterization, biosorption parameters and mechanism studies. *Clean-Soil, Air, Water*, 36 (12),937-962.
- Asla F., Özgen İ, Esen H., (2016). Enerji Planlamalarında Biyogaz ve Mikroalglerden Yararlanma Olanakları ile Doğu Anadolu Bölgesi Potansiyeli. *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)*, March 19-20, Kilis
- Asla F., Özgen İ, Esen H., (2016). Enerji Planlamalarında Biyogaz ve Mikroalglerden Yararlanma Olanakları ile Doğu Anadolu Bölgesi Potansiyeli. *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)*, March 19-20, Kilis
- Aybar, M. Bilgin, A. Sağlam, B., (2015). Fitoremediasyon Yöntemi ile Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi. *Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2): 59-65.
- Aysel, V, Gezerler-Şipal, U., (1996). Marian flora of Turkish Mediterranean coast, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Charophyceae and Angiospermae, *Aegean University Journal of Fisheries Faculty*, 13 (3-4), 247-257.
- Azubuike, C.C., Chiker, C.B. Okpokwasili, G.C., (2016). Bioremediation techniques classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World J Microbiol Biotechnol* (2016) 32:180 DOI 10.1007/ S:11274-016-2137-x
- Bahadar A., Bilal Khan M., (2013). Progress in energy from microalgae: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 27, 128-148,
- Bahadar, A., Khan, M.B. (2013). Progress in energy from microalgae: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 27, 128-148. DOI.org/10.1016/j.rser.2013.06.029

- Bajguz, A., (2011). Suppression of *Chlorella vulgaris* growth by cadmium, lead, and copper stress and its restoration by endogenous brassinolide. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 60 (3), 406-416.
- Bayo, J., (2012). Kinetic studies for Cd(II) biosorption from treated urban effluents by native grapefruit biomass (*Citrus paradisi* L.): the competitive effect of Pb(II), Cu(II) and Ni(II). Chem. Eng. 191 (0), 278-287.
- Becker E.W., (2007). Micro-algae as a source of protein, Biotechnol. Adv., 25 (2), 207-210,.
- Becker W., (2004). Microalgae in human and animal nutrition. In: Richmond, A (ed.), microalgal culture. Handbook. Blackwell, Oxford. 312-351.
- Beijerinck M.W., (1890). Kulturversuche mit Zoochloren, Lichenengonidien und anderen niederen Algen, Bot Z, 48, 725-785,
- Benefield, L.D, Judkins, J.R.J.F., Weand, B.L., (1982). Process chemistry for water and wastewater treatment. New Jersey: Englewood Cliffs; 433-5.
- Bert, V., Girondelot, B., Quatannens, V., Laboudigue, A., (2005). A phytostabilisation of a metal polluted dredged sediment deposit Mesocosm experiment and field trial, Proceedings of the 9th International FZK/TNO Conference on soil–water systems remediation concepts and technologies’ in İçinde, (Uhlmann O. Annokée G.J., Arendt F. eds), Bordeaux, (15):44-50.
- Borowitzka M.A., Moheimani N.R., (2013). Algae for Biofuels and Energy, Cilt 5, Springer, 978-94-007-5479-9, India.
- Borowitzka, M.A., (1997). Microalgae for Aquaculture: Opportunities and Constraints. In: Journal of Applied Phycology 9/5 (1997), pp. 393–401
- Bowen H.J.M., (1966). Trace Elements in Biochemistry, Academic Press, London and New York.
- 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 Rev., 14 (2), 557-577. DOI.org/10.1016/j.rser.2009.10.009
- Cai T., Park, S.Y., Li, Y.B., (2013). Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects, Renewable Sustainable Energy Rev., 19, 360-369. DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.030
- Ceyhan N. Esmeray, E., (2012). Petrol Kirliliği ve Biyoremediasyon. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 5 (1): 95-101, 2012. ISSN: 1308-0040, E-ISSN: 2146-0132,
- Chen C.-Y., Yeh K.-L., Aisyah R., Lee D.-J., Chang J.-S., (2011). Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review, Bioresour. Technol., 102 (1), 71-81.
- Chisti Y., (2007). Biodiesel from microalgae, Biotechnol. Adv., 25 (3), 294-306. DOI.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001.
- Chisti Y., Yan J., (2011). Energy from algae: Current status and future trends: Algal biofuels – A status report, Appl. Energy, 88 (10), 3277-3279,

- Christenson L., Sims, R., (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts, *Biotechnol. Adv.*, 29 (6), 686-702.
- Ciferri O., (1983). Spirulina, the edible microorganism, *Microbiol. Rev.*, 47, 551-578.
- Cirik Ş., Cirik S.,(2011). Su bitkileri I-Deniz Bitkilerinin Biyolojisi, Ekolojisi ve Yetiştirme Teknikleri, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, 58, 135-145.
- Cohn F., (1850). Zur naturgeschichte des protococcus pluvialis kützing, *Nova Acta Academia Leopoldensis Caroliensis*, 22, 607.
- Çetinkaya Dönmez G., Aksu Z., ÖztürkA., Kutsal T., (1999). A Comparative Study on Heavy Metal Biosorption Characteristics of Some Algae. *Process Biochemistry*, 34, 885-892.
- Davis T.A., Volesky B., Mucci A.,(2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res.* 37 (18), 4311-4330.
- Demir M. , (2015) . Mikroalglerden Biyodizel Eldesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- DemirN., ÖterlerB., SömekH., SevindikT. O., Soylu E.N., KaraaslanY., ÇetinT., Çelekli A., Coşkun T., SolakC.N.,Maraşlıoğlu F., ParlakM., Kocal M., Manavoğlu D.C., (2021). New Records for the Turkish Freshwater Algal Flora in Twenty Five River Basins of Turkey, Part IV: Ochrophyta. *Turkish Journal of Water Science &Management*,ISSN: 2536 474X / e-ISSN: 2564-7334.
- Demirbas A. (2010). Use of algae as biofuel sources, *Energy Convers. Manage.*, 51 (12), 2738-2749.
- Demirel, Z., Tok, R., İlter, I., Akyıl, S., Erdoğan, A., Koç, M., Kaymak Ertekin, F., Conk Dalay, M.(2018). Biyokütle için Mikroalg ve Siyanobakteri' nin Büyük Ölçekli Üretimi. *Aquatic Research*, 1(2),64-76. DOI: 10.3153/AR18008
- Demiriz T., (2008). Bazı Alglerin Antibakteriyal Etkileri,Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Deng L., Su, Y., Su H.,WangX., Zhu, X., (2006). Biosorption of copper (II) and lead (II) from aqueous solutions by nonliving green algae *Cladophora fascicularis*: equilibrium, kinetics and environmental effects. *Adsorption* 12 (4), 267-277.
- Deng L., Su Y., SuH., Wang X., Zhu X.,(2007). Sorption and desorption of lead (II) from wastewater by green algae *Cladophora fascicularis*. *J. Hazard. Mater.* 143 (1-2), 220-225.
- Deng X., Li Y., Fei X., (2009). Microalgae: A promising feedstock for biodiesel, *African Journal of Microbiology Research*, 3 (13), 1008-1014.
- Dos Santos M.D., Guaratini T., Lopes J.L.C., Colepicolo P., Lopes, N.P.,(2005). Plant cell and microalgae culture. In: *Modern Biotechnology in Medicinal Chemistry and Industry*. Kerala, India: Research Signpost.
- Eccles H.,(1999). Treatment of Metal-Contaminated Wastes: Why Select a Biological Process? *Trends in Biotechnology*, 17, 462-465.
- Elcik H.,Çakmakcı M., (2017).Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi,*Journal of the faculty of engineering and architecture of gazi universty*,32:3,795-820.

- Eliçin A.,K., Kılıçkan A., Avcıoğlu A.O., (2009). Mikroalglerden Biyodizel Üretimi. 23. Kargin, H. MedFAR(2020) 3(3):112-130 129 Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 273-278, Isparta.
- Elliot W., Stoching C.R., Barbour M.G., Rost T. L.,(1982). Botany, An Introduction to Plant Biology, 6 nd. Ed., John Wiley and Sons, Singapore.
- El-Naas M.H., Al-Rub F.A., Ashour I., Al Marzouqi M.,(2007). Effect of competitive interference on the biosorption of lead(II) by *Chlorella vulgaris*. Chem. Eng. Process. 46 (12), 1391-1399.
- El-Sheekh M.M., El-Shouny W.A., Osman M.E.H., El-Gammal E.W.E.,(2005). Growth and heavy metals removal efficiency of *Nostoc muscorum* and *Anabaena subcylindrica* in sewage and industrial wastewater effluents. Environ. Toxicol. Pharmacol. 19 (2), 357-365.
- EPA, (1995). Contaminants and remedial options at select metals-Contaminated Sites, EPA/540/R-95/512.6.
- EPA, (2000). Environmental Protection Agency, Introduction of phytoremediation, epa/600/R-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A. 2000.72.
- Eurostat, (2011). The Statistical Office of the European Union, 2011. www.europa.eu.
- Famintzin A., (1871).Die anorganischen Salze als ausgezeichnete Hilfsmittel zum Studium der Entwicklung niederer chlorophyllhaltiger Organismen, Bull Acad Sci St Petersburg, 17, 31-70.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO. (2017). The state of food security and nutrition in the world. Building resilience for peace and food security. (Erişim Tarihi 02.09.2020).<http://www.fao.org/3/a-i7695e.pdf>
- FAO. (2018). The state of world fisheries and aquaculture 2018 - meeting the sustainable development goals. (Erişim Tarihi 17.10.2021). <http://www.fao.org/documents/card/en/c/I9540EN/>
- Farrar W.V. , (1966).Tecuitlatl: a glimpse of Aztec food technology, Nature, 211, 341-342.
- Favas P.J.C., Pratas J., Varun M., D’Souza R., Poul M.S.,(2014). Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flore, Environmental Risk Assessment of Soil Contamination’nın içinde (Hernandez-SorianoM.C., Ed.), InTech Press, 485-517.
- FDA., (2019). Generally recognized as safe (GRAS). Erişim Tarihi 02.09.2020, <https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/generally-recognized-safe-gras>
- Finocchio E. Lodi, A. Solisio, C., Converti, A., (2010). Chromium (VI) removal by methylated biomass of *Spirulina platensis*: the effect of methylation process. Vol.156 No.2 pp.264-269
- Fourest E., Volesky B.,(1995). Contribution of sulfonate groups and alginate to heavymetal biosorption by the dry biomass of *Sargassum fluitans*. Environ. Sci. Technol. 30 (1), 277-282.
- Frazar C.,(2000). The bioremediation and phytoremediation of pesticide-contaminated sites Keshav, 2010)

- Gendy T.S., El-Temtamy S.A., (2013). Commercialization potential aspects of microalgae for biofuel production: An overview, Egypt. J. Pet., 22 (1), 43-51,
- Ghosh M., Singh S.P., (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Biomass and Waste Management Laboratory, School of Energy and Environmental Studies, Faculty of Engineering Sciences, Devi Ahilya University, Indore – 452017, India.
- Glass D.J.,(1999). Economic potential of phytoremediation, Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment, (Raskin I., Ensley B.D., Eds.), John Wiley&Sons, New York, 15-31.
- Godlewska Z., Yłkiewicz B.,(2001). Analytical applications of living organisms for preconcentration of trace metals and their speciation. Crit. Rev. Anal. Chem. 31 (3), 175-189.
- Gokhale S.V., Jyoti K.K., Lele S.S.,(2008). Kinetic and equilibrium modeling of chromium (VI) biosorption on fresh and spent *Spirulina platensis/Chlorella vulgaris* biomass. Bioresour. Technol. 99 (9), 3600-3608.
- Gökpinar 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.
- Guedes A.C., Barbosa C.R., Amaro H.M., Pereira C.I., Malcata F.X.,(2011). Microalgal and cyanobacterial cell extracts for use as natural antibacterial additives against food pathogens. International J. Food Sci. and Technol. 46.862-870.
- Gupta V. K., Rastogi A., (2008b). Equilibrium and kinetic modelling of cadmium (II) biosorption by nonliving algal biomass *Oedogonium* sp. from aqueous phase. J. Hazard. Mater. 153 (1), 759-766.
- Gupta V.K., Rastogi A. (2008c). Sorption and desorption studies of chromium(VI) from nonviable cyanobacterium *Nostoc muscorum* biomass. J. Hazard. Mater. 154 (1-3), 347-354.
- Gupta V.K., Rastogi A.,(2008a). Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species: kinetics and equilibrium studies. J. Hazard. Mater. 152 (1), 407-414.
- Gupta V.K., Rastogi A., Nayak A., (2010). Biosorption of nickel onto treated alga (*Oedogonium hatei*): application of isotherm and kinetic models. J. Colloid Interface Sci. 342 (2), 533-539.
- Gupta V.K., Shrivastava A.K., Jain N.,(2001). Biosorption of Chromium(VI) from Aqueous solutions by green algae *spirogyra* species. Water Res. 35 (17), 4079-4085.
- Gümüş G., (2006). Deniz Marulunun Kimyasal Kompozisyonunun Araştırılması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. İzmir.
- Güner H. ve Aysel V.,(1989). Tohumuz Bitkiler Sistematığı, I.Cilt, E.Ü. Fen Fakültesi Kitaplar Serisi 108, İzmir.
- Haiduc A.G., Brandenberger M., Suquet S., Vogel F., Bernier-Latmani R., Ludwig C.,(2009). SunCHem: an integrated process for the hydrothermal production of methane from microalgae and CO₂ mitigation. J. Appl. Phycol. 21.529– 541.

- Hamutoğlu R., Dinçsoy A.B., Duman D., Aras S.,(2012). Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, Türkiye Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi 69.
- Han X., Wong Y.S., Tam N.F., (2006) . Surface complexation mechanism and modeling in Cr(III) biosorption by a microalgal isolate, *Chlorella miniata*. J. Colloid Interface Sci. 303 (2), 365-371.
- Harder R., von Witsch H., (1942b). Die Massenkultur von Diatomeen, Ber Deutsch Bot Ges, 60, 146-152, Hariskos I., Posten C., Biorefinery of microalgae - opportunities and constraints for different production scenarios, Biotechnol. J., 9 (6), 739-752, 2014.
- Harder R., von Witsch H.,(1942a). Bericht über Versuche zur Fettsynthese mittels autotropher Mikroorganismen, Forschungsdienst Sonderheft, 16, 270-275,
- Horsfall M.J., Spiff A.I., (2005). Effects of temperature on the sorption of Pb⁺² and Cd⁺² from aqueous solution by *Caladium bicolor* (Wild Cocoyam) biomass. Electron J Biotechn, 2005; 8: 143–50.
- Johnston H.W., (1970).The Biological and Economic Importance of Algae, Part 3. Edible Algae of Fresh and Brackish Waters, Tuatara, 18, 19-24, Joshia,G., Pandey, J.K., Rana, S., Rawat, D.S. ,2017. Challenges and opportunities for the application of biofuel, Renewable and Sustainable Energy Reviews,79, 850–866.
- Karakaş G., Erdal G., Erdal H., Esengün K.,(2014). Tarıma Dayalı Enerji Politikası Analizi ve Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Algler, GOP Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi 3-5 Eylül Samsun.
- Kargın H., (2020). Akuakültürde Kullanılan Mikroalg Üretim Sistemleri Fotobiyoreaktörler
- Keshav P.S., Nand K.S., Shivesh S.,(2010). Bioremediation: Developments, current practices and perspectives, Genetic Engineering and Biotechnology Journal, GEBJ-3
- Khan M.A., Ngabura M., Choong T.S., Masood H., Chuah L.A.,(2012). Biosorption and desorption of Nickel on oil cake: batch and column studies. Bioresour. Technol. 103 (1), 35-42.
- Khan S.A., Rashmi Hussain M.Z., Prasad S., Banerjee U.C. (2009). Prospects of biodiesel production from microalgae in India, Renewable Sustainable Energy Rev., 13 (9), 2361-2372.
- Kim S., Park J.-e., Cho Y.-B., Hwang S.-J., (2013). Growth rate, organic carbon and nutrient removal rates of *Chlorella sorokiniana* in autotrophic, heterotrophic and mixotrophic conditions, Bioresour. Technol., 144, 8-13.
- Kobayashi M., Kakizono T., Yamaguchi K., Nishio N., Nagai S., (1992). Growth and astaxanthin formation of *Haematococcus pluvialis* in heterotrophic and mixotrophic conditions, J. Ferment. Bioeng., 74 (1), 17-20.
- Kratochvil D., Volesky B., (1998). Advances in the Biosorption of Heavy Metals. Tıbtech July, 16, 291-300.
- Kuyucak N., Volesky B., (1989). Accumulation of cobalt by marine algae. Biotechnol Bioeng, 1989; 33 (7): 809-14.

- Kükdamar İ., (2017). Cephelerde Fotobiyoreaktör Kullanımının Binaların Sürdürülebilirliğine Etkisi, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ege Üniversitesi 19-22 Nisan, İzmir.
- Lee H. , Shim E., Yun H.-S., Park Y.-T., Kim D., Ji M.-K., Kim C.-K., Shin W.-S., Choi J.,(2016). Biosorption of Cu(II) by immobilized microalgae using silica: kinetic, equilibrium, and thermodynamic study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23 (2), 1025-1034.
- Li Y., Horsman M., Wu N., Lan C.Q., Dubois-Calero N.,(2008). Biofuels from microalgae. *Biotechnol Prog* 24(4):815–820.
- Liang S., Xueming L., Chen F., Chen Z., (2004). Current microalgal health food R & D activities in China. *Hydrobiologia*. 512.45-48.
- Lipton A.P.,(2003). Marine bioactive compounds and their application in mariculture. *Marine Ecosystem, Univ. of Kerala, Kariavattom*, 2(4): 695-581.
- Lohrey C., Kochergin V., (2012). Biodiesel production from microalgae: Co-location with sugar mills. *Bioresource Technology*, 108, 76–82.
- Mahdi, S.S., Hassan G.I., Samoon S.A., Rather H.A., Dar S.A., Zehra B.,(2010). Bio-fertilizers in organic agriculture. *Journal of Phytology*. 2(10): 42-54.
- Mata T.M., Martins A.A., Caetano N.S., (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 14 (1), 217-232.
- Mata Y.N., Blazquez M.L., Ballester A., Gonzalez F., Munoz J.A.,(2009). Biosorption of cadmium, lead and copper with calcium alginate xerogels and immobilized *Fucus vesiculosus*. *J. Hazard Mater* 163 (2-3), 555-562.
- Medeiros D. L., Sales E.A., Kiperstok A., (2015). Energy production from microalgae biomass: carbon footprint and energy balance, *J. Cleaner Prod.*, 96, 493-500.
- Mehta S. K., Gaur J. P., (2005). Use of Algae for Removing Heavy Metal Ions from Wastewater: Progress and Prospects. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25, 113-152.
- Mehta S.K., Gaur J.NP., (2001). Removal of Ni and Cu from single and binary metal solutions by free and immobilized *Chlorella vulgaris*. *Eur. J. Protistol.* 37 (3):261-271.
- Miao X., Wu Q., (2004). High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of *Chlorella protothecoides*, *J. Biotechnol.*, 110 (1), 85-93.
- Michalak I., Chojnacka K.,(2010). Interactions of metal cations with anionic groups on the cell wall of the macroalga *Vaucheria* sp. *Eng. Life S*: 10 (3), 209-217.
- Milner H.W., (1951). Possibilities in photosynthetic methods for production of oils and proteins, *JAOCS*, 28, 363-367
- Mitra D., van Leeuwen J., Lamsal B., (2012). Heterotrophic/mixotrophic cultivation of oleaginous *Chlorella vulgaris* on industrial co-products, *Algal Res.*, 1 (1), 40-48.
- Molina E., Fernández J., Acién F.G., Chisti Y., (2001). Tubular photobioreactor design for algal cultures, *J. Biotechnol.*, 92 (2), 113-131. DOI: 10.1016/S0168-1656(01)00353-4.
- Monteir, C.M., Castro P.M.L., Malcata F.X.,(2012). Metal uptake by microalgae:

- Monteiro C., Castro P.L., Malcata F.X.,(2010). Cadmium removal by two strains of *Desmodesmus pleiomorphus* cells. *Water Air Soil Pollut.* 208 (1-4), 17-27.
- Monteiro C., Castro P.L., Xavier Malcata F.,(2011). Biosorption of zinc ions from aqueous solution by the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Environ. Chem. Lett.* 9(2), 169-176.
- Mostafa S.S.M., Shalaby E.A., Mahmoud G.I.,(2012). Cultivating Microalgae in Domestic Wastewater for Biodiesel Production. *Not Sci Biol.* 4(1):56-65.
- Mungasavalli D.P., Viraraghavan T., Jin Y.C.,(2007). Biosorption of chromium from aqueous solutions by pretreated *Aspergillus niger*: Batch and Column studies. *Colloid Surface A: Physicochem Eng Asp*; 301: 214-23.
- Muslu M., Gökçay G. F., (2020). Sağlıkın Desteklenmesi ve Sürdürülebilir Beslenme için Alternatif Bir Kaynak: Alg (Yosunlar), Cilt:2 ,Sayı: 3 ,Aralık , ss. 221-237.
- Mutanda T., Ramesh D., Karthikeyan S., Kumari S., Anandraj A., Bux F., (2011). Bioprospecting for hyper-lipid producing microalgal strains for sustainable biofuel production, *Bioresour. Technol.*, 102 (1), 57-70, Zhu J., Rong J., Zong B., 2013. Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel, *Chin. J. Catal.*, 34 (1), 80-100.
- Newman L.A., Reynolds C.M.,(2004). Phytodegradation of organic compounds, *Current Opinion in Biotechnology*, 15, 225-230.
- O'Connell D.W., Birkinshaw C. O'Dwyer, T.F.,(2008). Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: a review. *Bioresour. Technol.* 99 (15),6709-6724.
- Oktor K., (2018). Mikroalglerin Çevre Teknolojilerindeki Yeri, Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak., Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Bilim Ve Teknoloji ,s.330-344.
- Oswald W.J., Golueke C.G., (1960). Biological transformation of solar energy, *Adv. Appl. Microbiol.*, 2, 223-262, Oswald W.J., Gotaas H.B., Golueke C.G., Kellen W.R., *Algae in waste treatment, Sewage Wastes*, 29, 437-457, 1957.
- Patterson G.M. L., Larsen L.K., Moore R.E.,(1994). Bioactive natural products from blue-green algae, *J. Phycol.* 29(39):14.
- Pawlowki A., Mendoza J.I., Guzman J.L., Berenguel M., Acien F.G., Dormido S., (2014). Effective utilization of flue gases in raceway reactor with event based pH control for microalgae culture, *Bioresour. Technol.*, 170, 1-9.
- Peña-Castro J. M., Martínez-Jerónimo F., Esparza-García F., Cañizares- Villanueva R.O. , (2004). Heavy Metals Removal by the Microalgal *Scenedesmus incrassatulus* in Continuous Cultures. *Bioresource Technology*, 94, 219-222.
- Pinotti M.H. P., Segato R.,(1991). Economic importance of Cyanobacteria. *Semina Londrina*, 12(4), 179-211.
- Pragya N., Pandey K.K., Sahoo P.K., (2013). A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 24, 159-171.
- Pragya N., Pandey K.K., Sahoo P.K., (2013). A review on harvesting, oil extraction and biofuels production technologies from microalgae, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 24, 159-171.

- Rangel-Yagui C.O., Godoy Danesi E.D., Carvalho J.C.M., Sato S.,(2004). Chlorophyll production from *Spirulina platensis*: cultivation with urea addition by fed-batch process. *Bioresour. Technol.* 92.133-14.
- Rangsayatorn N., Upatham E.S., Kruatrachue M., Pokethitiyook P., Lanza G.R.,(2002). Phytoremediation potential of *Spirulina (Arthrospira) platensis*: biosorption and toxicity studies of cadmium. *Environ Pollut* 119,45–53. doi:10.1016/S0269-7491(01)00324-4.
- 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 Rev.*, 40, 760-778.
- Raskin I., Smith R.D., Salt D.E.,(1997). Phytoremediation of metals using plants to remove pollutants from the environment, *Curr. Opin. Biotechnol.*, 8, 221-226.
- Rawat I., Ranjith Kumar R., Mutanda T., Bux F., (2013). Biodiesel from microalgae: A critical evaluation from laboratory to large scale production, *Appl. Energy*, 103, 444-467.
- Renneberg R., Berkling V., Loroch V.,(2008). *Biotechnology for Beginners*. Academic Press, e Book ISBN: 9.780.128.012.734, 23. December .
- Resmi Gazete,(2017). Türk gıda kodeksi gıda katkı maddeleri yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, sayı: 30188. (Erişim Tarihi 02.09.2020), Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/09/20170922-4.htm>.
- Richmond A.,(2004). *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Blackwell Science Ltd.S:125.
- Romera E., Gonzalez F., Ballester A., Blazquez M.L., Muñoz J.A., (2007). Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. *Bioresour. Technol.* 98 (17), 3344-3353.
- Romera E., Gonzalez F., Ballester A., Blazquez M.L., Munoz J.A.,(2006). Biosorption with algae: a statistical review. *Crit. Rev. Biotechnol.* 26 (4), 223-235.
- Sağ Y., Kutsal T., (2000). Determination of the biosorption heats of heavy metal ions on *Zoogloea ramigera* and *Rhizopus arrhizus*. *Biochem. Eng. J.* 6 (2), 145-151.
- Saladini F, Patrizi N, Pulselli FM, Marchettini N, Bastianoni S., (2016). Guidelines for emergy evaluation of first, second and third generation biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 221-227.
- Sánchez Mirón A., Contreras Gómez A., García Camacho F., Molina Grima E., Chisti Y., (1999). Comparative evaluation of compact photobioreactors for large-scale monoculture of microalgae, *J. Biotechnol.*, 70 (1–3), 249-270.
- Sari A.,Tuzen M., (2009). Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on aluminum biosorption from aqueous solution by brown algae (*Padina pavonica*) biomass. *J. Hazard. Mater.* 171 (1-3), 973-979.
- Shanab S., Essa A.,(2007). Heavy metal Tolerance, biosorption and bioaccumulation by some microalgae (Egyptian isolates). *New Egypt. J. Microbiol.* 17 (1), 76 - 88.
- Singh A., Nigam P.S., Murphy J.D., (2011). Mechanism and challenges in commercialisation of algal biofuels, *Bioresour. Technol.*, 102 (1), 26-34.

- Singleton I., Simmons P.,(1996). Factors affecting silver biosorption by an industrial strain of *Saccharomyces cerevisiae*
- Soletto D., Binaghi L., Lodi A., Carvalho J.C.M., Converti A.,(2005). Batch and fedbatch cultivations of *Spirulina platensis* using ammonium sulphate and urea as nitrogen sources. *Aquaculture*. 243:217-224.
- Söğüt Z. , Zaimoğlu B.Z., Erdoğan R., Doğan S.,(2002). Su Kalitesinin Arttırılmasında Bitki Kullanımı (Yeşil Islah Phytoremediation),Türkiye'nin Kıyı ve Deniz alanları IV. Ulusal Konferansı, 5-8 Kasım, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Bildiriler Kitabı. II. Cilt, 1007-1016.strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 65 (1), 21-28.
- Suali E. , Sarbatly R.,(2012). Conversion of microalgae to biofuel, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 16 (6), 4316-4342
- Suganya T, Varman M, Masjuki HH, Renganathan S., (2016). "Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 909-941.
- Sze K.F., Lu Y.J., Wong P.K.,(1996). Removal and recovery of copper ion (Cu²⁺) from electroplating effluent by a bioreactor containing magnetite-immobilized cells of *Pseudomonas putida* 5X. *Resources, Conservation and Recycling* 18:175-193.
- Talebi A.F., Tabatabaei M., Mohtashami S.K., Tohidfar M., Moradi F.,(2013).Comparative salt stress study on intracellular ion concentration in marine and salt-adapted freshwater strains of microalgae. *Not. Sci. Biol.* 5 (3)309-315.
- Thieman ve Palladino, (2013). *Biyoteknolojiye Giriş, Çeviri Editörü Mücella Tekeoğlu, 3.Baskı, PalmeYayıncılık, Ankara.*
- Tien C.J., (2002). Biosorption of Metal Ions by Freshwater Algae with Different Surface Characteristics. *Process Biochemistry*, 38, 605-613.
- Tuzen M., Sari A., Mendil D., Uluozl, O.D., Soylak M., Dogan M., (2009). Characterization of biosorption process of As(III) on green algae *Ulothrix cylindricum*. *J. Hazard. Mater.* 165 (1-3), 566-572.
- Türkoğlu B.,(2006). Toprak kirlenmesi ve kirlenmiş toprakların ıslahı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Adana underlying mechanisms and practical applications. *Biotechnol. Prog.* 28 (2):299-311.
- Ugwu C.U., Ogbonna J.C., (2002). Tanaka H. Improvement of mass transfer characteristics and productivities of inclined tubular photobioreactors by installation of internal static mixers, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 58 (5), 600-607.
- Ulukardeşler A.H., Ulusoy, Y., (2012). 3. Nesil Biyoyakıt Teknolojisi Olan Alglerin Türkiye’de Üretilbilirlik Potansiyeli, Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül, KoçÜniversitesi, İstanbul.
- UN DESA., (2019). World population prospects 2019: highlights. United Nations Department for Economic and Social Affairs. Erişim Tarihi: 02.09.2020, Erişim Adresi: <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-2019-highlights.html>

- Vanlı Ö.,(2007). Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ziraat Müh.Böl, İstanbul.
- Vogel M. , Gunther A., Rossberg A., Li B., Bernhard G., Raf, J.,(2010). Biosorption of U(VI) by the green algae *Chlorella vulgaris* in dependence of pH value and cell activity. Sci. Total Environ. 409 (2), 384-395.
- Volesky B., (2003). Sorption and Biosorption. Montreal, Kanada: BV Sorbex, Inc, 2003; 316.
- Volesky B.,(2007). Biosorption and me. Water Res. 41 (18), 4017-4029.
- Wang H. , Xiong H., Hui Z., Zeng X., (2012). Mixotrophic cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* with diluted primary piggery wastewater to produce lipids, Bioresour. Technol., 104, 215-220.
- Watanabe Y., Saiki H., (1997). Development of a photobioreactor incorporating *Chlorella* sp. for removal of CO₂ in stack gas, Energy Convers. Manage., 38, Supplement, S499-S503.
- Weber J.R., (1972). Physicochemical processes for water quality control. Wiley- Interscience; 640
- Wong. J.P.K. , Wong Y.S., Tam N.F.Y.,(2000). Nickel Biosorption by Two *Chlorella* Species, *C. vulgaris* (a commercial species) and *C. miniata* (a local isolate). Bioresource Technology, 73, 133-137.
- Xu M. , Bernards M., Hu Z., (2014). Algae-facilitated chemical phosphorus removal during high-density *Chlorella emersonii* cultivation in a membrane bioreactor, Bioresour. Technol., 153, 383-387,
- Yamaguchi K., (1997). Recent advances in microalgal bioscience in Japan, with special reference to utilization of biomass and metabolites: a review. J. Appl. Phycol. 8.487-502.
- Yan H., Pan G., (2002). Toxicity and Bioaccumulation of Copper in Three Green Microalgal Species. Chemosphere 49, 471-476.
- Yeh K.-L. , Chang J.-S., Chen W.-m., (2010). Effect of light supply and carbon source on cell growth and cellular composition of a newly isolated microalga *Chlorella vulgaris* ESP-31, Eng. Life Sci., 10 (3), 201-208.
- Yurdakulol E.,Cansaran D., (2004). Tohumuz Bitkiler- I Laboratuvar Kılavuzu, S: 11.
- Zeraatkar A.K., Ahmadzadeh H., Talebi A.F., Moheimani N.R., McHenry M.P.,(2016). Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review, Journal of Environmental Management 181, 817-831.
- Zhu J., Rong J., Zong B., (2013). Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel, Chin. J. Catal., 34 (1), 80-100.
- Zhu L., (2015). Biorefinery as a promising approach to promote microalgae industry: An innovative framework, Renewable Sustainable Energy Rev., 41, 1376-1384.

6. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Canan BİRİNCİ

Eğitim Durumu

Lise : Samsun İmam Hatip Lisesi ,1995

Lisans : OMÜ Fen Edebiyat Fak. Biyoloji, 2016

Yüksek Lisans : Sinop Üniversitesi , 2019 / 2022

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Iğdır, M.Sadık ŞİDE SSK Hastanesi, 2002 /2004

İş Yeri : Samsun SSK Hastanesi , 2004 /2006

İş Yeri : İzmir Alsancak Ağız Diş Sağlığı , 2006 /2008

İş Yeri : Samsun Halk Sağlığı Kurumu , 2008 /2016

İş Yeri : Samsun Gazi Devlet Hastanesi , 2016/devam ediyor