

HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
AKADEMİK BİLİM DERGİSİ

**HARRAN
ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

HARRAN UNIVERSITY
JOURNAL OF ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Mikroalg Teknolojisi ve Çevresel Kullanımı

Microalgae Technology and Environmental Uses

Yazar(lar) (Author(s)): Goknur Sisman-Aydin¹

¹ ORCID ID: 0000-0003-3444-2328

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aydin-Sisman G., "Mikroalg Teknolojisi ve Çevresel Kullanımı", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(1): 81-92, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Mikroalg Teknolojisi ve Çevresel Kullanımı

Goknur Sisman-Aydin

¹Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Deniz ve İçsu Bilimleri & Teknolojisi Bölümü, 35100 Bornova/ İzmir
goknur.sisman.aydin@ege.edu.tr

Özet

Dünyamızda bu gün yaşanan en önemli sorunlardan ikisi kuşkusuz çevre kirliliği ve artan enerji ihtiyacıdır. Çevre dostu üretim, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir yeşil ekonomi ülkelerin gündemini oluşturmaya başlamıştır. Mikroalglerin çevresel uygulamalarda kullanımı giderek artmakta ve mikroalg teknolojisi hızla gelişmektedir. Mikroalglerin su kirliliğini önlemede ve biyoenerjide kullanımı, gelecek için önemli bir ekolojik yatırım olarak gözükmektedir. Bu amaçla, hızla gelişmekte olan mikroalg teknolojisinin çevresel kullanımları ve enerji ihtiyacını karşılamadaki potansiyelleri açıklanmıştır.

Makale Bilgisi

Başyuru:09/12/2018
Düzelme:04/02/2019
Kabul:03/03/2019

Microalgae Technology and Environmental Uses

Anahtar Kelimeler

Mikroalg
Fikoremediasyon
Biyoenerji

Keywords

Microalga
Phytooremediation
Bioenergy

Abstract

Two of the most important problems in our world today are undoubtedly environmental pollution and increasing energy demand. Eco-friendly production, sustainable environment and sustainable green economy have started to build the agenda of the countries. The use of microalgae in environmental applications is increasing and microalgae technology is developing rapidly. The use of microalgae in the prevention of water pollution and its use in bioenergy; it appears to be an important ecological investment for the future. For this purpose, the environmental uses of rapidly developing microalgae technology and their potential to meet the energy demands are explained.

1. GİRİŞ

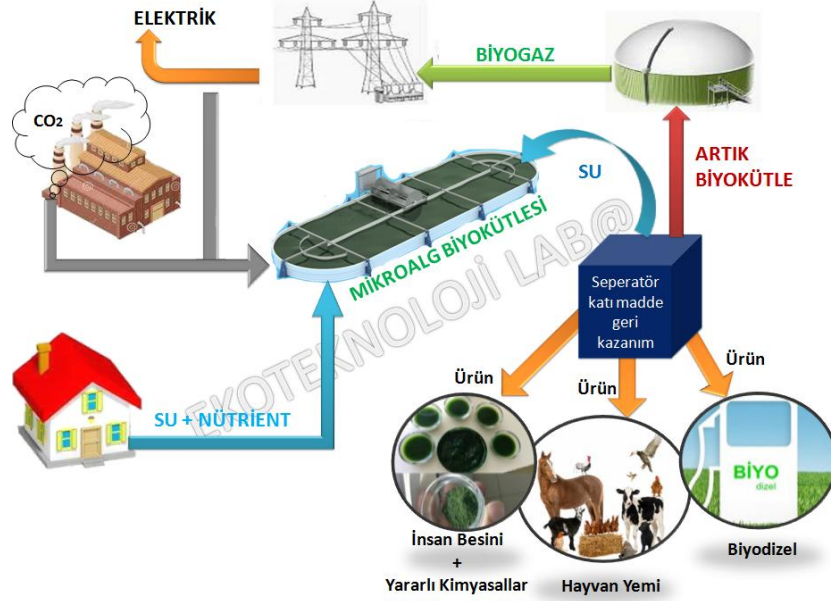
Çevre kirliliğinin küresel olarak her geçen gün daha da artması, bilinçsiz enerji tüketimi ve küresel ısınma problemleri, insanları çevresel konularda alternatif çözümler arama ve temiz-ekolojik teknolojiler geliştirme yoluna sevk etmiştir. Türkiye’de ve dünyada sosyal ve ekonomik kalkınmanın en temel girdisi olan enerjiye gün geçtikçe daha fazla gereksinim duyulmakta ve beraberinde artan çevre kirliliğine karşı sağlıklı sürdürülebilir bir çevrede yaşamaya olan talep de artmaktadır. Çevre dostu üretim, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir yeşil ekonomi ülkelerin gündemini oluşturmaya başlamıştır. Bu bağlamda, hazırlanan bu derleme çalışmasıyla, hızla gelişmekte olan mikroalg teknolojisinin çevresel kullanımları ve enerji ihtiyacını karşılamadaki potansiyelleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

2. MİKROALG KULLANIM ALANLARI VE BÜYÜMESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Algler, Cyanophyta (mavi-yeşil algler) olmak üzere 1 prokaryotik bölüm ve Rhodophyta (kırmızı algler), Phaeophyta (kahverengi algler), Chlorophyta (yeşil algler), Pyrrophyta (ateş rengi algler), Chrysophyta (altın sarısı algler), Bacillariophyta (diatomlar), Xanthophyta (sarı-yeşil algler), Euglenophyta (kamçılı algler) olmak üzere 8 ökaryotik bölüm içerir. Boyutlarına göre makroalg veya mikroalg olarak sınıflandırılır. Makroalgler (deniz yosunu) çıplak gözle görülebilen çok hücreli, büyük boyutlu alglerdir. Mikroalgler ise mikroskopik tek hücreli alglerdir. Mikroalgler, çoğunlukla ototrofik fotosentetik ökaryotlar olup, besin zincirinin ilk halkasını oluşturmaları dolayısıyla sucul ekosistemin en temel parçasıdır [1]. Karbon ve silisyum döngüsü açısından küresel karbon fotosentetik fiksasyonunun yaklaşık %20-25 ni ve küresel primer üretimin %40’ını sağladıkları [2][3] için de ekolojik önemi büyüktür [4]. En yaygın mikroalg türleri diatomlar (Bacillariophyceae), yeşil algler (Chlorophyceae) ve altın renkli alglerdir (Chrysophyceae) [5].

Mikroalglerin çok farklı kullanım alanları mevcuttur (Şekil 1). Besin olarak tüketilmeleri Çinlilerle başlamıştır. 2000 yıl önce kıtlık döneminde mikroalgleri besin kaynağı olarak tüketmişlerdir [5]. Laboratuvar ortamında yetiştirilmesi yaklaşık 168 yıl önce Cohn'un 1850 deki çalışmalarıyla [6] başlamıştır ve ticari olarak yetiştirilmesi ise sadece 60 yıllık bir geçmişe sahiptir [7][8].

Mikroalglerin insanlar tarafından başlıca besin desteği olarak kullanılmalarnın nedeni; hücre içinde biriktirdikleri protein, karbonhidrat, yağ asitleri (Tablo 1), vitamin, mineral, pigmentler ve daha pek çok önemli metabolitleridir. İçerdikleri karbonhidratlar, nişasta, glikoz sakkaroz ve diğer polisakkaritler şeklinde bulunur. Ayrıca, insan vücudunda gerçekleşen biyokimyasal süreçler için gerekli olan ancak vücutta üretilmeyen Omega-3 ve Omega-6 maddeleri ve A, B1, B2, B6, B12, C, E, folik asit gibi insan sağlığı için önemli vitaminleri içerirler. Bütün bu özelliklerinden dolayı sağlık, kozmetik, ilaç gibi alanlarda sıklıkla kullanılırlar [9]. Mikroalglerin çevresel kullanım alanları en az sağlık, kozmetik, ilaç alanlarında olduğu kadar geniştir.



Şekil 1. Mikroalg biyokütlesinin kullanım alanları

Tablo 1. Farklı mikroalglerin genel bileşenleri (% kuru madde) [32]* [46]

Mikroalg	Protein	Karbonhidrat	Lipid
<i>Aabeana cylinrical</i>	43-56	25-30	4-7
<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	62	23	3
<i>Chlamydomonas reinhardii</i>	48	17	21
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26	2
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Euglena gracilis</i>	39-61	14-18	14-20
<i>Porphyridium cruentum</i>	28-39	40-57	9-14
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	10-17	12-14
<i>Spirogyra sp</i>	6-20	33-64	11-21
<i>Arthrospira maxima</i>	60-71	13-16	6-7
<i>Spirulina platensis</i>	46-63	8-14	4-9
<i>Synechococcus sp</i>	63	15	11
* <i>Chroococcus turgidus</i>			
*BG11	13,37±0,7		35±3,27
*Eysel Çıkış	20,67±1,53		38,62±1,26
*Aktif Çamur Çıkış	38,6±2,26		28,24±0,83
*Ön Çökeltim Çıkış	29±3,04		47±1,22

Mikroalgler son zamanlarda verimli topraklara bağımlı olmayan yepyeni tarım üretim potansiyeline sahip doğal bir kaynak olarak görülmektedirler. Atıksu arıtımı, ağır metal giderimi, biyo izleme materyali, ekotoksikolojik testler, biyo-materyal (dolgu materyali gibi) ve hatta biyoplastik yapımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır [4][10].

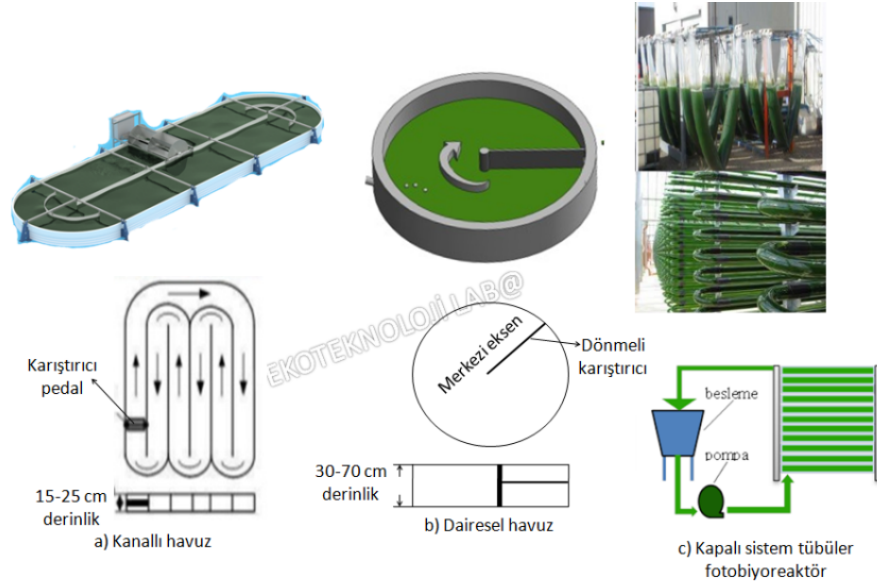
Mikroalg üretiminde, üretimi yapılacak türün üretim amacına göre seçilmesi son derece kritiktir. Genel olarak, mikroalg türü gıda amaçlı üretilecekse, protein, karbonhidrat, yağ asitleri, vitamin, mineral içerikleri yüksek olan türlerden; arıtma için kullanılacaksa, kirli bölgeden izole edilmiş türlerden [11-12] (Tablo 1); biyoyakıt üretimi için kullanılacaksa yüksek yağ içeriğine sahip olan türlerden seçilmesi uygun olacaktır [11][13]. Tablo 2' de bazı mikroalg türlerinin yağ verimliliği gösterilmiştir [14].

Mikroalglerin üretiminde biyotik ve abiyotik faktörler başta olmak üzere, işletme sisteminden kaynaklanan birçok faktör etkilidir [14] [12]. Mikroalg büyümesini etkileyen en önemli abiyotik faktörler; ışık [15-17]; sıcaklık [1] [18], fotoperiyot [19], nütrient [19-21], oksijen [22], karbondioksit [23,24], pH, tuzluluk [25][12] ve toksik kimyasallar gibi faktörlerdir [14] [26]. Bakteri, mantar, virüs gibi patojenler ve diğer alg türlerinden kaynaklanan rekabet ortamı gibi faktörler de üretimi etkileyen biyotik faktörlerdir [14][12]. Mikroalg büyümesini önemli ölçüde etkileyen diğer biyotik faktör, başlangıç yoğunluğudur. Mikroalgin yoğunluğunun daha yüksek olması, büyümenin daha iyi olması ve besin giderim verimliliğinin artması beklenir [27]. Bununla birlikte, yüksek mikroalg yoğunluğu ışık geçirgenliğinin azalmasına neden olur. Bu durum, oto-inhibitörlerin birikmesine ve fotosentez etkinliğinde azalmaya yol açacaktır [28]. Büyümesini etkileyen bir diğer etken işletme sisteminde kullanılan karıştırma yöntemidir. [11]. Seyreltme oranı ve hasat sıklığı [29][30] gibi parametreleri de büyüme ile üretim verimini etkilemektedir [14][12].

Mikroalg üretim teknolojisinde açık havuzlar ve kapalı fotobiyoreaktörler olmak üzere iki tip sistem kullanılır (Şekil 2). Açık havuzlara kıyasla, fotobiyoreaktörler ışıktan faydanlanması, yüksek biyokütle eldesi, kontaminasyonun riskinin ve su kaybının (buharlaştırma) az oluşu, karıştırma ve gaz transferi kolaylığı açısından çok daha performanslıdır [31-32]. Ancak yatırım maliyeti daha yüksektir [33-35][31]. Mikroalg üretim tahmini maliyeti, kg kuru biyokütle başına 4-300 \$ arasında değişmektedir [36]. Dış havuzlardaki alg üretimi nispeten ucuzdur, ancak sadece birkaç hızlı büyüyen tür için uygundur ve kirlilik ve/veya değişen iklim koşullarına bağlı olarak öngörülemez kültür çökmesi ile karakterizedir. İç ortamdaki mikroalg üretimi, kültür koşullarının ve yetiştirilen alg türlerinin daha iyi kontrol edilmesini sağlar, ancak enerji ve vasıflı işgücü gereksinimleri nedeniyle dış mekan kültüründen daha pahalıdır [36].

Tablo 2. Bazı mikroalg türlerinin yağ içeriği ve verimliliği [14].

Mikroalg türü	Yağ içeriği (% kuru ağırlık biyokütle)	Yağ üretkenliği (mg/L) gün	Biyokütlenin hacimsel üretkenliği (g/L) gün	Biyokütlenin alansal üretkenliği (g/m ³) gün
<i>Ankistrodesmus sp</i>	24,0-31,0	-	-	11,5-17,4
<i>Botryococcus brauni</i>	25,0-75,0	-	0,02	3,0
<i>Chlorella emersonii</i>	25,0-63,0	10,3-50,0	0,036-0,041	0,91-0,97
<i>Chlorella sorokiniana</i>	19,0-22,0	44,7	0,23-1,47	-
<i>Chlorella vulgaris</i>	5,0-58,0	11,2-40,0	0,02-0,20	0,57-0,95
<i>Chlorella sp</i>	10,0-48,0	42,1	0,02-2,5	1,61-16,47/25
<i>Chlorella protothecoides</i>	14,6-57,8	1214	2-7,7	-
<i>Dunaliella saline</i>	6,0-25,0	116,0	0,22-0,34	1,6-3,5/20-38
<i>Haematococcus pluvialis</i>	25,0	-	0,05-0,06	10,2-36,4
<i>Nannochloropsis oculata</i>	22,7-29,7	84,0-142,0	0,37-0,48	-
<i>Nannochloropsis sp</i>	12,0-53,0	37,6-90,0	0,17-1,43	1,9-5,3
<i>Oocystis pusilla</i>	10,5	-	-	40,6-45,8
<i>Phaeodactylum tricornerutum</i>	18,0-57,0	44,8	0,003-1,9	2,4-21
<i>Scenedesmus sp</i>	19,6-21,1	40,8-53,9	0,03-0,26	2,43-13,52
<i>Spirulina platensis</i>	4,0-16,6	-	0,06-4,3	1,5-14,5/24-51
<i>Spirulina maxima</i>	4,0-9,0	-	0,21-0,25	25
<i>Tetraselmis suecica</i>	8,5-23,0	27,0-36,4	0,12-0,32	19



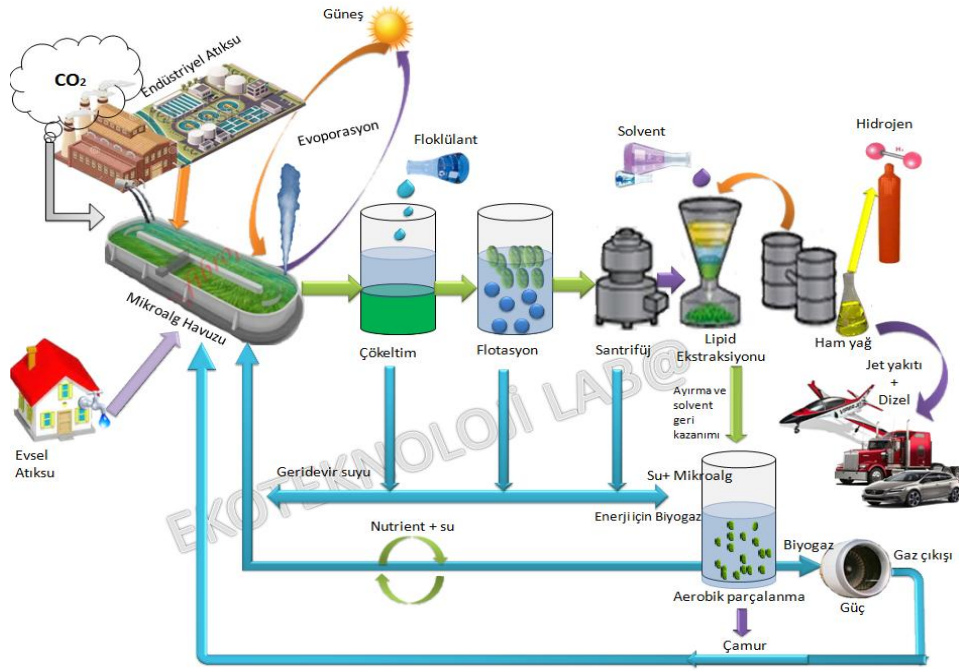
Şekil 2. Mikroalg üretim sistemlerinin şematik şekilleri

Mikroalg hasadı işletme maliyeti açısından en zorlayıcı kısımdır. İster enerji sağlamak, ister besin ya da atıksu arıtımında kullanmak için olsun, mikroalg hasadı toplam maliyetin %20-30 kadarını kapsamaktadır [37-38]. Bu durumda işletme maliyetleri açısından hala ekonomik olarak gözükmemektedir. Mikroalg hasatı katı-sıvı ayırımında kullanılan santrifüj, flokülasyon, cazibe ile çöktürme, hava flotasyonu, elektroforez ve membran filtrasyonu gibi mevcut teknolojiler kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 3). Ancak, düşük hücre yoğunluklu veya küçük hücre boyutlu mikroalg kültürünün hasadı için hem maliyetli olmakta hem de enerji sarfiyatı fazla olmaktadır [39]. Düşük maliyetle yüksek ayırma oranları elde etmek için bu yöntemlerin iki ya da daha fazlasının bir arada kullanımı yaygındır. Örneğin, flokülasyon-sedimentasyon ile santrifüjün birlikte kullanımı işletme maliyetlerini düşürebilmektedir [40-41]. Yeni geliştirilen biyolojik yöntemler ile de işletme maliyetleri azaltılabilmektedir [40]. Mikroalg hasat verimlerinin artırılması ve işletme maliyetinin azaltılması için ön işlemler uygulanabilir. Hasat yapılacağı zaman, kimyasal veya biyolojik yoğunlaştırma aşamalarından önce mekanik yöntemlerin kullanılması ile işletme ve bakım maliyetlerinin azaltılması mümkündür.

3. MİKROALGLERİN BİYOREMEDIASYONDA KULLANIMI: FİKOREMEDIASYON

Mikroalglerin arıtmada kullanılmalarının iki önemli nedeni vardır. Bunlardan birincisi: mikroalglerin fotosentezle oksijen üretme yetenekleri sayesinde çözülmüş oksijence fakir atıksu havuzlarının oksijenlenmesinde yardımcı olarak, biyosistemin ekolojisi bakımından verdiği katkıdır [4]. İkinci olarak; mikroalgler azot ve fosfatça zengin sulara hızla çoğalabilen [1] [19-20] ve bu özelliklerinden dolayı aşırı üreme olaylarında rol alabilen organizmalardır [1]. Bu özelliklerinden dolayı azot ve fosfatça kirli suların arıtılmasında kullanılmasının mümkün olduğu ve arıtma veriminin son derece yüksek olduğu çeşitli araştırmalarca ortaya konmuştur [4][28] [42-44].

Mikroalgler arıtma sistemlerinde biyoremediasyon ya da fikoremediasyon işleminde veya biyolojik arıtım prosesinde kullanılırlar. Fikoremediasyon tekniği, atık su için mikroalg türlerini kullanarak yapılan biyo-arıtma prosesi olarak tanımlanmaktadır [44-46]. Biyolojik atıksu arıtımında, nütrientlerin [47-49], ağır metallerin ve pestisitlerin [50], organik ve inorganik toksik maddeleri hücrelerinde uzaklaştırmada oldukça başarılı organizmalardır [26][50-51]. Atıksuların mikroalg kullanılarak arıtılması 1950'lerde başlamıştır [52-53]. Bugün, mikroalg atıksu arıtma/biyoremediasyon sistemleri düşük maliyetleriyle, kompleks arıtma sistemlerine bir alternatif olarak evsel ve endüstriyel atıksu arıtımında kullanılmaktadır. [47][54-55] Ayrıca, bazı mikroalg türlerinin antibakteriyel özelliklerinden dolayı patojenik bakterilerin inaktivasyonuna da katkıda bulunabilmekte [56] ve atıksu arıtma sistemlerinde yüksek pH larda dezenfektan görevi görebilmektedirler [57]. Bu nedenle, bir arıtma prosesi olarak fikoremediasyon, tekrar kullanımda sulama amaçlı sınırsız kullanılabilir veya yüzey sularına deşarj edilecek atık suyun kalitesini arttırabilir [4] [32].



Şekil 3. Mikroalg biyokütle eldesi, hasat teknolojileri ve kullanım alanları

Diğer biyolojik sistemlerle karşılaştırıldığında atıksu arıtımında mikroalg kullanılmasının birçok avantajı vardır. Etkin maliyeti, düşük enerji gereksinimi, yararlı biyokütle üretimi, çamur oluşumunda azalma, ağır metallerin uzaklaştırılmasındaki başarısı, biyokütle içinde % 50'den fazla yağ ihtiva etmesi, elde edilen biyokütlenin yeniden değerlendirilip biyodizel üretiminde kullanılabilmesi ve arıtma verimliliğinin yüksek olması; atıksu arıtımında mikroalg kullanımının avantajları arasında sayılabilir [45][4]. Ayrıca, atıksu arıtımında kullanılan mikroalg organizmalardan elde edilen biyo kütleden biyoyakıt, yem gibi farklı alanlarda yararlanılabilmektedir [58].

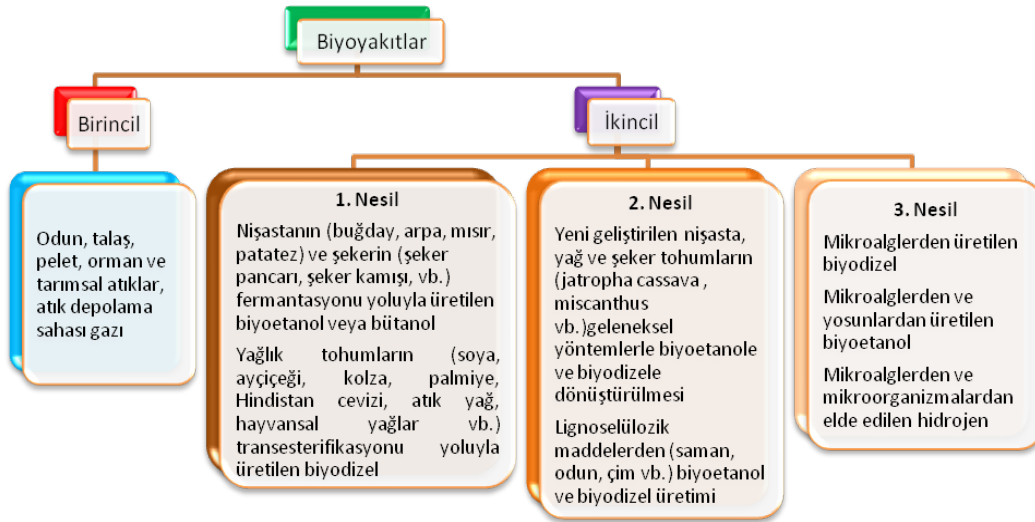
4. MİKROALG VE BİYO-ENERJİ

Sanayileşme ve nüfustaki hızlı artış nedeniyle enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Dünya nüfusu 1950' li yılların başında 2,5 milyarken, 2050 yılında tahmini nüfusun 8,9 milyar olması beklenmektedir [59]. Ülkelerin ekonomik seviyeleri ürettikleri ve kullandıkları enerji miktarı ile ifade edilmektedir. Bugün kullandığımız enerjinin temel kaynağı; petrol, doğal gaz, kömür, hidro ve nükleer enerjidir. Petrol kökenli yakıtları kullanmanın en büyük dezavantajı, petrol dizeli kullanımının neden olduğu atmosfer kirliliğidir. Sera gazı emisyonlarını azaltacak ve fosil yakıtların yerine geçecek yenilenebilir enerji üretiminde; dalga, hidro güç, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle enerjisinden yararlanmanın yolları bilimsel araştırmalar ve teknolojik yatırımlarla her geçen gün geliştirilmektedir [60-61].

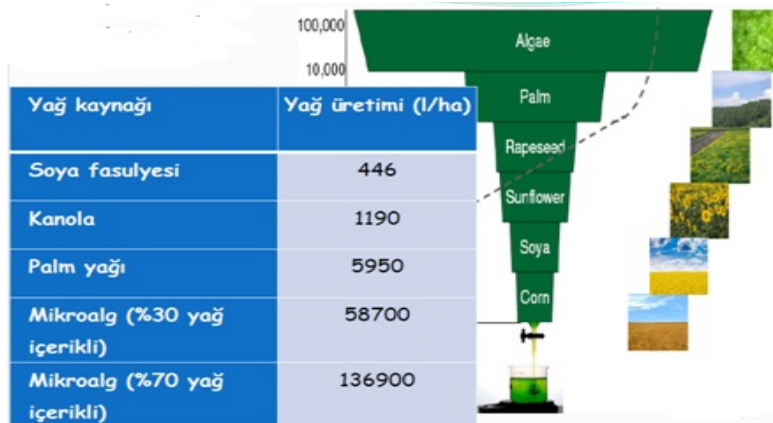
Bu bağlamda, yenilenebilir enerji üretiminde çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarının araştırılması ile biyokütle enerjisinden yararlanmanın faydaları gündemdedir. Mikroalglerin biyoenerjide kullanımı, günümüzün en önemli sorunlarından biri olan sera gazı emisyonlarını azaltacak ve fosil yakıtların yerine geçecek en önemli bileşenlerden biri olarak görülmektedir. Biyoenerji kaynağı olarak, bitkisel ve hayvansal kökenli organik maddeler ve atıkların tamamı kullanılabilir. Günümüzde biyoetanol, biyodizel, biyogaz, bitkisel biyoyakıt, biyohidrojen gibi birçok biyoyakıt üretiminde biyokütleden yararlanılmaktadır. [62]. Bu enerji kaynakları içerisinde mikroalgler, hızlı büyüebilmeleri, yüksek fotosentez yetenekleri, hızlı çoğalmaları yüksek biyokütle verimleri ve atıksuda/ bacagazında endüstriyel bazlı üretilebilmeleri gibi avantajlarıyla biyoyakıt üretimi için, 3. nesil biyoenerji potansiyeli ve çevreye duyarlı üretim fırsatı olarak umut vermektedir. [32] [63-64] (Şekil 4). Son 30 yıldır tek hücreli alglerin yağ ve yağ asidi ürünleri oldukça dikkat çekmiştir. Diğer geleneksel yağlık tohumlu bitkilere kıyasla 15 ile 300 kat daha fazla yağ ihtiva edebilmeleri [64], 3. nesil biyoenerji potansiyeli olarak görülmelerini sağlamaktadır (Şekil 5).

Mikroalglerden biyoyakıt elde etmeye yönelik küçük ölçekli ilk üretim girişimleri 1950'lerde California Berkeley Üniversitesi'nde yürütülen çalışmalarla gerçekleşmiştir [60]. Ancak 1970 li yıllara kadar pek rağbet görmeyen bu çalışmalar, 1978 yılında fosil yakıt maliyetleriyle rekabet edebilecek fiyatlarda olmayışı, geniş ölçekli alg sistemlerinden metan gazı elde edilebileceği görüşüne yerini bırakmıştır. [65] 1996' ya kadar süren araştırmalar, mikroalglerden biyodizel üretim maliyetinin petrol bazlı dizel yakıt maliyetinin iki katı olduğunu göstermiş ve çalışmalar durma noktasına gelmiştir [66]. 2008 yılı itibariyle algal biyoyakıtlarla ilgili projelere yatırım yapılmaya başlamasıyla hızlı bir gelişme kaydedilmiştir [67]. Günümüzde, algal yakıtların ticarileştirmesi için birçok şirket araştırmalarını sürdürmektedir [68].

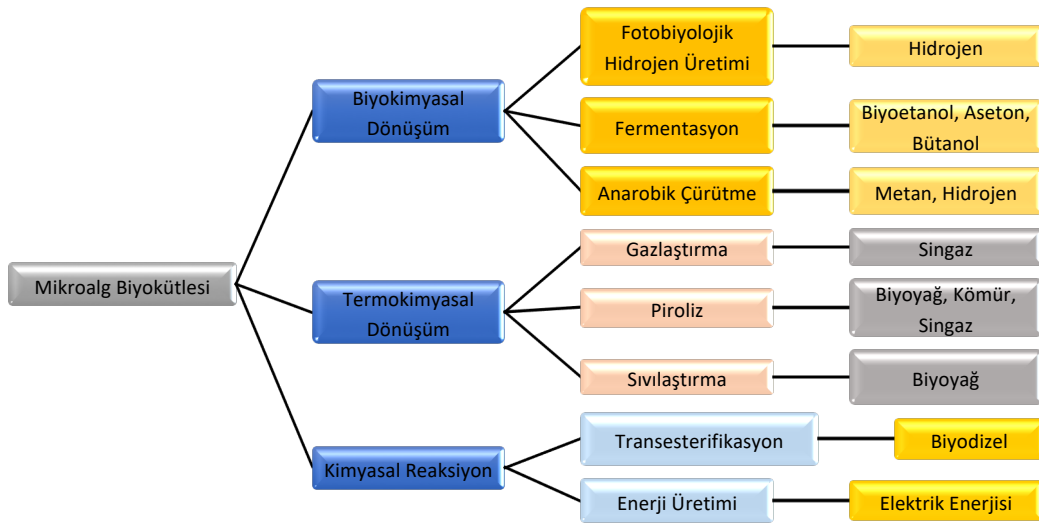
Mikroalglerden biyoyakıt üretim teknolojisi dört basamaktan oluşmaktadır ve her bir aşama ürün kalitesi için kritiktir. Bu aşamalar: mikroalglerin izolasyonu ve karakterizasyonu, mikroalgal biyokütle üretimi, hasat ve ürün işleme prosesleri şeklindedir [12] (Şekil 3). Günümüzde mikroalgler, biyokütlenin anaerobik bozunması ile metan üretimi[69] [12], mikroalgal yağlardan biyodizel eldesi [70-71], fotobiyolojik reaksiyonlar ile biyohidrojen üretimi [72-73] ve biyolojik kömür üretimi gibi birçok türde biyoyakıt için ham madde kaynağı olarak kullanılmaktadır (Şekil 6) Mikroalglerden, biyokimyasal yöntemler ile elektrik üretimi de yapılabilmektedir (Şekil 6).



Şekil 4. Biyoyakıtların sınıflandırılması [60]



Şekil 5 . Bazı biyodizel kaynaklarının karşılaştırılması [10][25]



Şekil 6. Mikroalg biyokütlesinden enerji elde etme yöntemleri ve elde edilen ürünler [22]

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

“Yenilenebilir Enerji Kaynakları Direktifi” 27 AB üye ülkesi tarafından imzalanmış, 2020 yılına kadar ulusal toplam enerji ihtiyaçlarının en az %20’sini ve ulusal ulaşımda kullanılan yakıtların en az %10’unu yenilenebilir kaynaklarla karşılamayı taahhüt etmişlerdir [74]. Türkiye’de 2016 yılında toplam birincil enerji arzı içerisinde, fosil yakıtların ithalat içindeki payı %86 oranındadır. 2008 yılında toplam birincil enerji tüketimi 106,3 milyon ton petrol eşdeğeri (tep), üretimi ise 29,2 milyon tep olarak gerçekleşen Türkiye’nin enerji arzında %91,4’lük büyük bir pay ile fosil yakıtlar (doğalgaz, petrol ve kömür gibi) yer almıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından (hidrolik dahil) %8,6’lık sınırlı bir kısmı karşılanmıştır [75-76].

Türkiye Ulusal Enerji Ar-Ge ve Yenilik Strateji Belgesi’nde “Ar-Ge ve Yenilik Kapasitesinin Güçlü Olduğu Alanlarda Ar-Ge ve yenilik kaynaklı ekonomik kazanımların artırılması” amacı altında, “Biyokütle kaynaklarından elektrik, ısı ve yakıt üretimi amacıyla gazlaştırma, sıvılaştırma, rafinasyon, kojenerasyon, biyoyakıtlar selülozik etanol üretimi teknolojilerinin geliştirilmesi ve enerji bitkileri tarımı imkânlarının araştırılması” eylemi yer almaktadır [77]. Türkiye’nin son yıllardaki artan enerji yatırımları ve taraf olduğu uluslararası anlaşmalar, ülkemizin enerji alanındaki konumunu güçlendirmektedir. Dünyada hali hazırda uygulanan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan mikroalglerin kullanılmasının ve mikroalgal yatırımlarının, ülkemizde de geliştirilip genişletilmesi ile gelecekte fosil yakıtların yerini alabilme olasılığı yüksektir.

Günümüzün en önemli sorunlarından ikisi kuşkusuz su kirliliği ve temiz su ihtiyacıdır. 20. yüzyılda, su tüketimi dünya çapında beş kat artmıştır. Türkiye için, bu tüketimin 2030 yılına kadar 3 kat artacağı öngörülmüştür [78]. Yıllık olarak 40.000 km³ tatlı su okyanuslardan karalara transfer olsa da, bu suyun büyük bir kısmı taşkın vb. nedenlerle kullanılamaz halde olup, kullanılabilir su miktarı yıllık olarak 9.000 km³ civarındadır [79]. Diğer taraftan, mevcut olan denizler, göller, akarsular insan aktiviteleri sonucu sürekli olarak kirlenmektedir.

Bu nedenle arıtma performanslarını arttıracak yeni yöntem ve tekniklerin geliştirilmesi için çalışmalar yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Ancak, yeni ve ileri arıtma sistemlerinin kullanılmasından ziyade arıtma tesislerinin yükünün azaltılmasına ve geri kazanılan suların tekrar kullanılmasına yönelik çalışmaların hız kazanması daha ekonomik, etkili ve sürdürülebilir bir çözüm yolu olarak gözükmektedir. Bu sayede hem yeniden kullanım ile su kaynaklarının korunması hem de atık su yükünün azaltılması ile atıksu arıtım veriminin artırılması ve tekrar kullanımı sağlanabilir.

Türkiye’de ticari amaçlı yapılan yetiştiricilik uygulamalarının dışında mikroalg ile yapılan çalışmalar sınırlıdır. Ancak, laboratuvar ölçeğinde birçok bilimsel araştırma mevcuttur [80-83][4][10][43-45].

Özellikle, ürün geliştirme, atıksu arıtımı [44] ve biyomas eldesi [63][45] gibi alanlarda materyal olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. Özellikle, çevre mühendisliği alanında, çoğu zaman atık su arıtımı çalışmaları ve ilerleyen mikroalg biyoyakıt projeleri bugün birçok üniversitede yürütülmektedir. Boğaziçi Üniversitesi İMBAGB, Bursa Teknik Üniversitesi ve Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Ekoteknoloji Laboratuvarı öne çıkan örneklerden üçüdür.

Sürdürülebilir çevre ve enerji için; su kaynaklarında, gıda temininde, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında ve mikroalglerden yararlanmanın faydaları aşikardır. Mikroalgler, gelecek 100 yıl boyunca ve belkide bugün öngöremediğimiz birçok yeni alanda sürdürülebilir çevre, sürdürülebilir enerji ve sürdürülebilir ekonomi için en temel konulardan biri olacaktır.

REFERANSLAR

- [1]. Aydin, G.S., Kocatas, A., Buyukisik, B. 2009. Effects of light and temperature on the growth rate of potentially harmful marine diatom: *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae), African Journal of Biotechnology 8 (19): 4983–4990
- [2]. Field C.B., Behrenfeld M.J., Randerson J.T., Falkowski P.G. 1998. "Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components". *Science* 281: 237–240.
- [3]. Falkowski P.G., Barber R.T., Smetacek V.V. 1998. "Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production". *Science* 281: 200–207.
- [4]. Şişman Aydın, G, 2017. Bioremediation Approach to Wastewater Recovery : Example of Microalgae. 2nd International Water and Health Congress. 13-17 Şubat, Antalya.371-372
- [5]. Sarıgül, T 2018. Çevreci Fabrikalar: Mikroalgler <http://www.bilimenc.tubitak.gov.tr/makale/cevreci-fabrikalar-mikroalgler>.
- [6]. Cohn F., 1850. Zur naturgeschichte des protococcus pluvialis kützing, Nova Acta Academia Leopoldensis Caroliensis, 22, 607.
- [7]. Lavens P., Sorgeloos P. 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture, FAO Fisheries, 361, 1-295.
- [8]. Borowitzka M.A., Moheimani N.R., 2013. Algae for Biofuels and Energy, India, Cilt 5, Springer, 978-94-007-5479-9.
- [9]. Naz, M., Gökçek, K. 2006. Fotobiyoreaktörler: Fototropik Mikroorganizmalar için Alternatif Üretim Sistemleri. Ulusal Su Günleri 6-8 Ekim 2006, İzmir.
- [10].Şişman Aydın, G. 2018. Fitoplankton Yağ İçeriğinde Evsel Atıksu Beslemesinin Etkilerinin Araştırılması E.Ü. Bilimsel Araştırma Projesi. Proje No:14-SÜF-030. 71sayfa.
- [11].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.
- [12].Elcik, H, Çakmakçı, M 2017. Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32:3 795-820.
- [13].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.
- [14].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.
- [15].Blanken W., Cuaresma M., Wijffels R.H., Janssen M. 2013. Cultivation of microalgae on artificial light comes at a cost, Algal Res., 2 (4), 333-340.
- [16].Hidaka T., Inoue K., Suzuki Y., Tsumori J. 2014.Growth and anaerobic digestion characteristics of microalgae cultivated using various types of sewage, Bioresour. Technol., 170, 83-89.
- [17].Zhu J., Rong J., Zong B. 2013. Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel, Chin. J. Catal., 34 (1), 80-100.
- [18].George B., Pancha I., Desai C., Chokshi K., Paliwal C., Ghosh T., Mishra S., 2014. Effects of different

- media composition, light intensity and photoperiod on morphology and physiology of freshwater microalgae *Ankistrodesmus falcatus* – A potential strain for bio-fuel production, *Bioresour. Technol.*, 171, 367-374.
- [19].Şişman Aydın,G., Büyükişik, B., Kocataş, A. 2013. “Farklı Azot Kaynağının (NO₃-N ve NH₄-N) Zararlı Denizel Diyatomu *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae) Büyümesi Üzerine Etkisi”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi Cilt 10(3)*, 90-96.
- [20].Şişman Aydın, G., Büyükişik, B., Kocataş, A. 2014. Fosfat Ve Silikatın Zararlı Denizel Diyatom Büyümesi Üzerine Etkisi: *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae). *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 11(1)*, 44-52.
- [21].Samorì G., Samorì C., Guerrini F., Pistocchi R. 2013. Growth and nitrogen removal capacity of *Desmodesmus communis* and of a natural microalgae consortium in a batch culture system in view of urban wastewater treatment: Part I, *Water Res.*, 47 (2), 791-801.
- [22].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.
- [23].de Morais M.G., Costa J.A.V. 2007.Isolation and selection of microalgae from coal fired thermoelectric power plant for biofixation of carbon dioxide, *Energy Convers. Manage.*, 48 (7), 2169-2173.
- [24].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.
- [25].Chisti Y. 2007. Biodiesel from microalgae, *Biotechnol. Adv.*, 25 (3), 294-306.
- [26].Şişman-Aydın, G., Büyükişik, B., Oral, R. 2013 (b). Bioaccumulation of Cadmium in Marine Diatom: *Thalassiosira allenii* Takano. *TRJFAS*, 13, 861-867.
- [27].Lau, P.S., Tam, N.F.Y., Wang, Y.S., 1995. Effect of algal density on nutrient removal from primary settled wastewater. *Environ. Pollut.* 89, 56–66.
- [28].Abdel-Raouf N., Al-Homaidan, A.A., Ibraheem I.B.M. 2012. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19 (3): 257–275.
- [29].Chiu S.-Y., Kao C.-Y., Tsai M.-T., Ong S.-C., Chen C.-H., Lin C.-S., 2009. Lipid accumulation and CO₂ utilization of *Nannochloropsis oculata* in response to CO₂ aeration, *Bioresour. Technol.*, 100 (2), 833-838.
- [30].Widjaja A., Chien C.-C., Ju Y.-H., 2009.Study of increasing lipid production from fresh water microalgae *Chlorella vulgaris*, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 40 (1), 13-20.
- [31].Demirbas, A. and Demirbas, M. F.2010. “Algae Technology. Algae Energy, Springer London.
- [32].Şişman Aydın H.G. 2018. Bizi Mikroalg Kurtaracak. Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi, AYDIN, TÜRKİYE, 26-28 Ekim.
- [33].Tredici, M.R. 2004. “Mass Production of Microalgae: Photobioreactors. In: Richmond A (ed.) *Handbook of Microalgal Culture*”, Blackwell Science Ltd, Oxford, pp 178-214.
- [34].Tredici M.R., Chini Zittelli G., Rodolfi L. 2010, “Photobioreactors” Editörler: Flickinger, M.C., Anderson, S. (eds) *Encyclopedia of Industrial Biotechnology: Bioprocess, Bioseparation, and Cell Technology*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. Vol 6, pp. 3821-3838.
- [35].Tredici, M.R, Biondi N, Chini Zittelli G, Ponis E, Rodolfi L. 2009. “Advances in microalgal culture for aquaculture feed and other uses”. Editörler: Burnell, G., Allan, G., *New Technologies in Aquaculture: Improving production efficiency, quality and environmental management*. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK, and CRC Press LLC, Boca Raton, FL, USA, pp. 610-676.
- [36].FAO,2018. Algal production cost. <http://www.fao.org/docrep/003/w3732e/w3732e06.htm#b7-2.3.7.%20Culture%20of%20sessile%20microalgae>.

- [37].Molina Grima E., Belarbi E.H., Acién Fernández F.G., Robles Medina A., Chisti Y. 2003. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics, *Biotechnol. Adv.*, 20 (7–8), 491-515.
- [38].Danquah M.K., Gladman B., Moheimani N., Forde G.M. 2009. Microalgal growth characteristics and subsequent influence on dewatering efficiency, *Chem. Eng. J.*, 151 (1–3), 73-78.
- [39].Zhang W., Zhang W., Zhang X., Amendola P., Hu Q., Chen Y., 2013. Characterization of dissolved organic matters responsible for ultrafiltration membrane fouling in algal harvesting, *Algal Res.*, 2 (3), 223-229.
- [40].Barros A.I., Gonçalves A.L., Simões M., Pires J.C.M. 2015 Harvesting techniques applied to microalgae: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 41, 1489-1500.
- [41]. Schlesinger A., Eisenstadt D., Bar-Gil A., Carmely H., Einbinder S., Gressel J. 2012. Inexpensive non-toxic flocculation of microalgae contradicts theories; overcoming a major hurdle to bulk algal production, *Biotechnol. Adv.*, 30 (5), 1023-1030.
- [42].Klausmeier C.A., Litchman E., Daufresne T., Levin S.A. 2004. Optimal nitrogen-to-phosphorus stoichiometry of phytoplankton *Nature*, 429 pp. 171–174.
- [43].Aslan, S., Karapinar Kapdan, I., 2006. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering* 2 8: 64–70.
- [44].Şişman., G, Şimşek. K., 2017, Kesikli Sistemde Fitoplanktonik Organizma Kullanarak Atıksu Arıtımının Araştırılması, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projei, Proje no; 014-SÜF-010, Sayfa; 52.
- [45].Şişman Aydın, G. 2018. Fitoplankton Yağ İçeriğinde Eysel Atıksu Beslemesinin Etkilerinin Araştırılması E.Ü. Bilimsel Araştırma Projesi. Proje No:14-SÜF-030. 71sayfa.
- [46].Wurochekke, A. A. R M S R Mohamed, A A S Al-Gheethi, E A Noman and A H Mohd Kassim, 2018 Phycoremediation: A Green Technology for Nutrient Removal from Greywater . *Management of Greywater in Developing Countries* pp 149-162.
- [47].Martinez, M. E., Sanchez, S. vd. 2000. "Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus*", *Bioresource Technology*, 73(3), 263-272.
- [48].Park, J., Jin, H.-F., vd. 2010. "Ammonia removal from anaerobic digestion effluent of livestock waste using green alga *Scenedesmus* sp", *Bioresource Technology* 101(22), 8649-8657.
- [49].Ting C., Stephen, Y.P., Yebo, Li. 2013. "Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae:Status and prospects", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 360–369.
- [50].Abdel-Raouf N., Al-Homaidan, A.A., Ibraheem I.B.M. 2012. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19 (3): 257–275.
- [51].Jinsoo Kim, B. P. L., Rachael R., Joo-Youp L., Kaniz F. S. 2010. "Removal of Ammonia from Wastewater Effluent by *Chlorella Vulgaris*", *Tsinghua Science And Technology* 15(4), 391-396.
- [52].Oswald, W.J., Gotaas, H.B., 1957. Photosynthesis in sewage treatment. *Trans. Am. Soc. Civil. Eng.* 122, 73–105.
- [53].Oswald, W.J., 1988. Micro-algae and wastewater treatment. In: Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J. (Eds.), *Micro-algal Biotechnology*, Cambridge Univ. Press, pp. 305–328
- [54].AL-Rajhia S., Raut N., AL-Qasmi F., Qasmi M. and Al Saadi, A.. 2012. Treatments of Industrials Wastewater by Using Microalgae. *2012 International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology IPCBEE* vol.41. 217-221.
- [55].Martinez A. R., Garcia N. M., Romero I., Seco A., Ferrer J.. 2012. Microalgae cultivation in wastewater: Nutrient removal from anaerobic membrane bioreactor effluent. *Bioresource Technology* 126 :247–253
- [56].Al-Gheethi AA, Ismail N, Efaq AN, Bala JD, Al-Amery RM., 2015, Solar disinfection and lime stabilization processes for reduction of pathogenic bacteria in sewage effluents and biosolids for agricultural purposes in Yemen. *J Water Reuse Des* 5(3):419–429.
- [57].Laliberte, G., Proulx, D., De Pauw, N. and De La Noüe, J. 1994. "Algal Technology in Wastewater Treatment". Editörler: Kausch, H. and Lampert, W. *Advances in Limnology*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. Sayfa: 283-382.
- [58].Pittman, J. K., Dean, A. P., vd. 2011. "The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources." *Bioresource Technology* 102(1), 17-25.

- [59].Andreev, K., Kantorov, V.. and Bongaarts,J. 2013. “Demographic Components of Future Population” Growth. Population Division Technical Paper No. 2013/3 United Nations New York.
- [60].Amponsah N.Y., Troldborg M., Kington B., Aalders I., Hough R.L., 2014, Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations, Renewable Sustainable Energy Rev., 39, 461-475.
- [61].Singh B., Guldhe A., Rawat I., Bux F., 2014 Towards a sustainable approach for development of biodiesel from plant and microalgae, Renewable Sustainable Energy Rev., 29, 216-245.
- [62].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.
- [63].Soydemir G., 2016 Atıksu Ortamında Yetiştirilen Mikroalgelerin Yağının Karakterizasyonu ve Değerlendirilmesi. Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilim. Ens. D.Tezi.142 sayfa.
- [64].Dragone G, Fernandes B, Vicente AA, Teixeira JA. Third generation biofuels from microalgae. Applied Microbiology. 2010;:1355-1366.
- [65].Benemann, J., Pursoff, P. ve Oswald, W. J., 1978. *Engineering design and cost analysis of a large-scale microalgae biomass system* [Final Report to the US Department of Energy (NTIS# HCP/T1605-01 UC-61)].
- [66].Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J. ve Roessler, P., 1998. *A look back at the U.S. Department of Energy's aquatic species program-biodiesel from algae* [<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24190.pdf>].
- [67].Deng X., Li Y., Fei X., 2009, Microalgae: A promising feedstock for biodiesel, African Journal of Microbiology Research, 3 (13), 1008-1014.
- [68].Chisti Y., Yan J., 2011. Energy from algae: Current status and future trends: Algal biofuels – A status report, Appl. Energy, 88 (10), 3277-3279.
- [69].Hossain A.S., Salleh A., Boyce A.N., Chowdhury P., Naqiuddin M., 2008. Biodiesel fuel production from algae as renewable energy, Am. J. Biochem. Biotechnol., 4 (3), 250-254.
- [70].Cheng J., Huang R., Li T., Zhou J., Cen K. 2014. Biodiesel from wet microalgae: Extraction with hexane after the microwave-assisted transesterification of lipids, Bioresour. Technol., 170, 69-75.
- [71].Ma G., Hu W., Pei H., Jiang L., Song M., Mu R. 2015. In situ heterogeneous transesterification of microalgae using combined ultrasound and microwave irradiation, Energy Convers. Manage., 90, 41-46.
- [72].Oncel S.S. 2013. Microalgae for a macroenergy world, Renewable Sustainable Energy Rev., 26, 241-264.
- [73].Bahadar A., Bilal Khan M., 2013. Progress in energy from microalgae: A review, Renewable Sustainable Energy Rev., 27, 128-148.
- [74].AEBIOM. 2011. Annual Statistical Report on the Contribution of Biomass to the Energy System in the EU27 [Internet]. Brussels: 2011. erişim: <http://form.jotform.com/form/12090607658>.
- [75].Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Resmi İnternet Sitesi., 2010. “Enerji”. İnternet sitesi: <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerji&bn=215&hn=12&nm=384&id=384>).
- [76].Anonim, 2017. Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Sayı 15, 1 Ocak 2017, Ankara.
- [77].TUBİTAK, 2011. Ulusal Su Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi. Ek2. TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı Ankara http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/ek2_ulusal_su_ar_ge_yenilik_stratejisi.pdf
- [78].DSİ,2017, toprak Su kaynakları. <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> S.E :02.10.17
- [79].Anonim, 2015. Türkiye Biyoteknoloji Strateji Belgesi ve Eylem Planı2015-2018, Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, MAYIS, 2015, 68 SAYFA)
- [80].Say AN, Keriş ÜD, Şen Ü, Gürol M. 2010. Mikroalglerden Biyokütle Üretimi ve Türkiye. In: 8. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES'10). Bursa:. p. 263-271.
- [81].Eliçin, K, Koç, C., Gezici, M, Gürhan, R. 2013. Biyoyakıt Amaçlı Nannochloropsis Salina Mikroalg Türünün Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi. 9(2): 99-107

- [82].Atıcı T., Khawar, K.M., Ozel, C.A., Katircioglu, H., Ates, M.A. 2008. Use of psyllium (isubgol) husk as an alternative gelling agent for the culture of prokaryotic microalgae (Cyanobacteria) *Chroococcus limneticus* Lemmermann and eukaryotic green microalgae (Chlorophyta) *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brebisson African Journal of Biotechnology, 7(8), 1163-1167
- [83].Shelknanloymilan, L, T. Atıcı, O. Obal, 2012. Removal of nitrogen and phosphate by using *Chlorella vulgaris* on synthetic and organic materials waste water. Biological Diversity and Conservation. 5/2: 89-94.