

DERLEME

Planktonlar ve Fotobiyoreaktörler

Yiğit SAHİN*, İhsan AKYURT*

* Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, GİRESUN
Sorumlu Yazar: yigitsahin@windowslive.com

Özet

Plankton, su içinde yaşayan, su hareketleriyle pasif olarak yer değiştiren organizmalar topluluğu olarak adlandırılmaktadır. Genellikle mikroskobik boyutta olan bu canlılar, göllerde, denizlerde, akarsularda ve belirli şartlar altında buzullarda bulunabilirler. Bitkisel planktona fitoplankton, hayvansal olanlarına ise zooplankton denilmektedir. Fitoplanktonik algler genellikle çok küçük boyutlarda olduğundan mikroalgler olarak isimlendirilirler. Günümüzde mikroalgler insan gıdası, beta karoten, astaksantin üretimi ve balık yemi olarak kullanıldıklarından kültüre alınıp üretilmeleri çok önemlidir. Bu tür fitoplanktonik organizmaların üretimi için teknik sistemler fotobiyoreaktörler olarak adlandırılmaktadır. Fotobiyoreaktörler açık ve kapalı sistemler olarak ikiye ayrılmakta olup, son yıllarda alg kültürü için kapalı fotobiyoreaktörlerin tasarımında ve çalıştırılmasında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu makalede plankton ve fotobiyoreaktörlerin genel özelliklerinden bahsedilmiş ve mikroalglerin biyodizel potansiyelleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plankton, Fotobiyoreaktör, Mikroalg, Lipidler, Biyodizel

Planktons and Photobioreactors

Abstract

Plankton is live in water and passively shifting by water movement in the aquatic area. These organisms which are generally in microscopic sizes can be found in lakes, seas, rivers, and under certain conditions in glaciers. Plant plankton is called "phytoplankton," while animal plankton is called "zooplankton." Moreover, plankton forms the basis of life in the sea. Phytoplankton algae are called microalgae, because of generally very small in size. Today, cultivation and production of microalgae is very important because they were used as human food, beta carotene, and astaxanthin production and fish feed. Technical systems for production of these species algae are called photobioreactors. Photobioreactors are composing of two different systems as open and closed. In recent years, significant progress and designing has been made for cultivation of algae in closed photobioreactor. In present article mention that general properties of plankton and photobioreactors and evaluated the potential production of biodiesel from microalgae.

Keywords: Plankton, Photobioreactor, Microalgae, Lipids, Biodiesel

Giriş

Plankton terimi ilk kez 1887 yılında Alman araştırmacı Victor Hensen tarafından tanımlanmıştır. Bu tanıma göre plankton, nehir, göl ve okyanuslarda su yüzeyi veya içinde asılı kalabilen ya da biraz yüzebilen 2 cm. den daha küçük bitki ve hayvanlardan oluşan organizmalar grubudur. Bu grup içine alınan canlıları, biyolojik, beslenme, boy ve pelajik hayat devirlerine, topoğrafik özelliklerine, şekillerine, dağılış derinliklerine, ışığa karşı tepki ve topluluk yapılarına göre sınıflandırmak mümkündür. Ancak planktonların sınıflandırılmasında en çok boyları ve biyolojik özellikleri kullanılmaktadır. Biyolojik olarak, fitoplanktonlar (bitkisel kökenli olanlar) ve zooplanktonlar (hayvansal kökenli olanlar) olarak sınıflandırılırken, boylarına göre picoplanktonlar (<2 µm.), ultraplanktonlar (2-5 µm.), nannoplanktonlar (5-20 µm.), mikrop planktonlar (20 µm. - 2mm.), makrop planktonlar (2mm. - 2 cm.) ve megaplanktonlar (>2 cm.) olarak sınıflandırılma işlemi yapılmaktadır (Koray, 2002).

Fitoplanktonik Organizmaların Genel Özellikleri

Hücrelerinde klorofil yardımıyla, ışıkta fotosentezle karbondioksit ve inorganik maddelerden organik maddeler sentezleyen, basit yapılı, boyutları birkaç µ ile birkaç yüz mikron arasında değişen bitkisel planktona, fitoplankton denilmektedir. Yüksek protein içeriğine sahip bu canlılar, içsular ve denizlerde hayvanların beslenmesinde önemli rol oynarlar. Akuatik sistemde birincil üreticilerdir. Fitoplanktonik algler küçük boyutlarından dolayı mikroalgler de denilmektedir. Fitoplanktonik alglerin sınıflandırılmasında hücre morfolojileri, sitolojileri, ihtiva ettikleri pigment maddeleri ve üreme şekilleri gibi özelliklerinden yararlanır. *Cyanophyta*, *Chlorophyta*, *Euglenophyta* ve *Diatomophyceae* üyelerine ait planktonik alg gruplarına tatlı sularda bol miktarda rastlanırken, *Pyrrhophyta*, *Crysoophyceae*, *Xanthophyceae* üyeleri ise nispeten daha az miktarda rastlanır. Denizel fitoplankton da en sık rastlanan grupsa birçok türleriyle *Diatomophyceae* grubudur.

Zooplanktonik Organizmaların Genel Özellikleri

Plankton, biyolojik olarak sınıflandırıldığında hayvansal kökenli olanlara zooplankton denilmektedir. Fotosentez yoluyla kendi besinini üreten fitoplanktonla beslenen bu canlılar, deniz ve tatlısularda yaşayan birçok türe sahiptir. İç sularda zooplanktonu, Protozoa, Rotifera,

Crustacea sınıfından Copepoda ve Cladocera'lara ait türler oluştururken, denizel zooplanktonu holoplankton, Protozoa'lara ait türler, Coelanteratlar, Copepoda ve Cladocera türleri ile bu türlere ait yumurta ve larvalar oluşturur. (Cirik ve Gökınar, 1993).

Fotobiyoreaktörler

Algler, sucul ortamda en önemli birincil üreticiler olup, biyolojik CO₂/O₂ döngüsünde görev alırlar. Bu nedenle organizmalar içinde en değerli ekolojik gruplardan biridir. Ayrıca son yıllarda alglerin gıda, ziraat, yem, çevre ve kozmetik gibi alanlarda kullanılmasını arttırmaya yönelik biyoteknolojik çalışmalar yapılmaktadır. Fototrofik mikroorganizmaların üretiminde kullanılan sistemlere genel olarak **Fotobiyoreaktörler(PBR)** denilmektedir. Günümüzde birçok mikroalg türü akuakültür uygulamaları için bölgesel olarak üretilmektedir. Bu üretim sistemlerinde genel olarak çeşitli plastik kaplar ve konteynırlar kullanılmaktadır. Ancak bunların verimliliklerinin yetersiz olması, tübüler fotobiyoreaktörler gibi kapalı sistemlere ekonomik önem kazandırmaktadır (Naz ve Gökçek, 2004).

Açık Kültür Sistemleri

Açık kültür sistemlerine tanklar, kanal havuzlar, dairesel havuzlar, karıştırılmayan büyük havuzlar ve doğal göller örnek olarak gösterilebilirler (Sukatar, 2002). Mikroalg kültürleri üzerine yapılan ilk çalışmalarda genellikle kapalı sistemler kullanılsa da, bu sistemlerin pahalı olması ve genişletilmelerinin zor olması nedeniyle, ticari işletmeler genellikle açık sistemleri tercih etmektedir (Yılmaz, 2006).

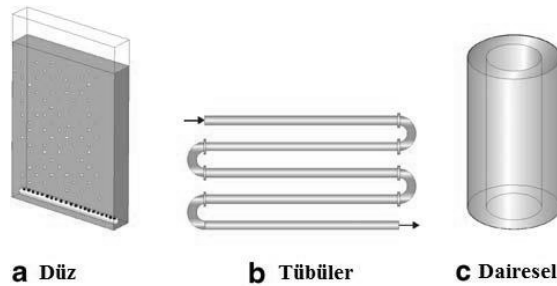
Açık havuzlar, mikroalg kütle üretiminde en eski ve en basit sistemlerdir. Bu sistemlerde sığ havuzlar yaklaşık 40 cm derinliğindedir ve algler kendi ekolojik isteklerine benzer koşullar altında üretilmektedir. Genellikle kanal şeklinde tasarlanan bu havuzlar da, sistem bir çarkla sürekli olarak karıştırılmaktadır. Açık havuzların, yapma ve işletme maliyetleri kapalı fotobiyoreaktörler göre daha düşük olsa da bu kültür sistemlerinin bazı dezavantajları vardır. Açık sistemlerde buharlaşmayla büyük miktarda su kaybı olmaktadır. Bu sebeple, açık havuzlarda mikroalgler karbondioksiti verimli olarak kullanamaz ve biyomass üretimi sınırlı kalır (Wen ve Johnson, 2009). Ayrıca bu tür sistemler bakteri kontaminasyonuna açık oldukları için, sadece kontaminasyona dirençli alg türleri üretilmektedir (Sukatar, 2002). Şekil 1'de kanal tipi havuza örnek gösterilmiştir (Wen ve Johnson, 2009).



Şekil 1. Kanal tipi havuzlar

Kapalı Kültür Sistemleri

Günümüzde alglerin ilaç, insan ve hayvan tüketimi gibi alanlarda kullanılması, alg ürünlerinin ağır metaller ve potansiyel mikroorganizmalar içermemesini gerektirmektedir. Bu nedenle, mikroalglerin üretilmesinde kapalı sistemler giderek önem kazanmaktadır. Kapalı fotobiyoreaktörlerin tasarımı üzerine yapılan son zamanlardaki çalışmalarda önemli sayılabilecek ilerlemeler olmuştur. Bu çalışmalarda ana hedef, ışık yolunu indirmek ve böylece her bir hücreye ulaşan ışık miktarını arttırmaktır. Ayrıca bu tür sistemler kültürün iyi bir şekilde karışımını sağlayacak özelliklere sahip olmalıdır (Yılmaz, 2006). Şekil 2’de Farklı kapalı fotobiyoreaktör tasarımları gösterilmiştir (Schenk ve ark., 2008).



Şekil 2. Yaygın olarak kullanılan kapalı fotobiyoreaktör tasarımları

Sukatar’a göre kapalı kültür sistemlerine örnek olarak; karboylar, torbalar, tanklar, asansörlü fotobiyoreaktörler, içten aydınlatmalı fotobiyoreaktörler, ince panel fotobiyoreaktörler, çift havalandırma sistemli fotobiyoreaktörler, tüplü fotobiyoreaktörler, heterotrofik fermentörler ve

heterotrofik/ototrofik Fotobiyoreaktörler gösterilmektedir. Kapalı kültür sistemlerinden tüplü fotobiyoreaktörlerde kontrollü bir akım sağlanarak algler karıştırılmaktadır. Bu tip sistemde karbondioksit ilavesi ve oksijen çıkışı, fotobiyoreaktörün verimine olumsuz etki yapmamakta, ışık önemli bir rol oynamaktadır. Reaktörün en önemli özelliği, içinde karanlık alan yaratan bir borunun yerleştirilmiş olmasıdır. Bu sisteme göre, dip kısımdan verilen hava, karanlık borunun içinde yükselmekte, bu sırada fotobiyoreaktör düzenli olarak karıştırılmaktadır. İçten aydınlatmalı Fotobiyoreaktörler ise genelde 40 L olup, içten aydınlatılan metal iskeletlerle desteklenmiş polietilen tüpleriyle donatılmıştır. Bu turbostat sistem günde 30-40 L yoğun hücreli kültür vermektedir. Diğer bir kapalı kültür sistemlerinden olan ince panel fotobiyoreaktörleri arasında en gelişmiş sistem “modüllü yassı panel fotobiyoreaktörleri” olarak adlandırılmakta ve her biri birbirinden 24 cm uzaklıkta olan dik olarak yerleştirilmiş 6 alveolar panelden oluşmaktadır. Bu paneller sisteme sabitlenmiş olup, istendiği zaman çıkarılabilmektedir (Sukatar, 2002). Şekil 3’de Dünyanın en büyük fotobiyoreaktörü görülmektedir. Sistem 700 m³ hacmine sahip, 500 km uzunluğunda tüplerden meydana gelmiştir ve yılda 100 tona kadar algal biyomass üretilmektedir (Schenk ve ark., 2008).



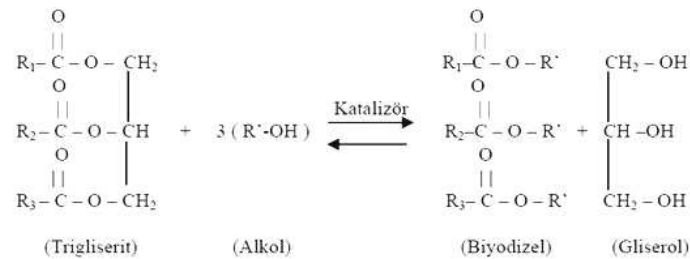
Şekil 3. Üst düzey kapalı biyoreaktör sistemi (Klötze, Wolfsburg, Almanya)

Çift havalandırma sistemli Fotobiyoreaktörler ise çiftliklerde deniz hayvanlarına yem olarak hazırlanacak alglerin kültürü için tasarlanmıştır. Sistemin de adını aldığı ikili havalandırmayla fotobiyoreaktör hem havalandırılmakta hem de karıştırılmaktadır. Kapalı kültür sistemlerindeki fotobiyoreaktörlerden bir değer örneği de tüplü Fotobiyoreaktörler olup, en büyük verimin alındığı sürekli kültür sistemlerinin başında gelmektedir. Bu biyoreaktörler bir kulecik etrafında sarmal şekilde yükselen tüplerden oluşmaktadır. Sistemin hacmi isteğe göre ayarlanmakta olup 40 – 400 L arasında değişmektedir (Sukatar, 2002).

Mikroalglerin Biyodizel Potansiyeli

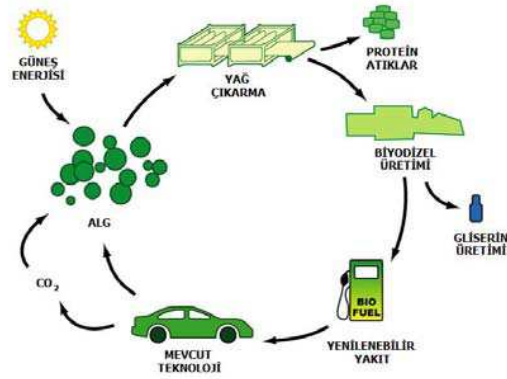
Biyoenerji, sera gazı emisyonlarını azaltacak ve fosil yakıtların yerine geçecek en önemli bileşenlerden biridir. Sanayileşme ve nüfustaki artış nedeniyle enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Bu enerjinin temel kaynağı, petrol, doğal gaz, kömür, hidro ve nükleer enerjidir. Petrol kökenli yakıtları kullanmanın en büyük dezavantajı, petrol dizeli kullanımının neden olduğu atmosfer kirliliğidir. Petrol dizelinin yanması, sera gazının en büyük kaynağıdır. Bu emisyonlar dışında petrol dizeli, NO_x, SO_x, CO, partiküler madde ve uçucu organik bileşikler kapsayan diğer hava kontaminantlarının da en büyük kaynağıdır (Hossain ve ark., 2008).

Mikroalglerden birkaç farklı tipte yenilenebilir biyoyakıt sağlanabilir. Bunları algal biyokütlenin anaerobik parçalanmasıyla metan üretimi, mikroalgal yağlardan biyodizel elde edilmesi ve fotobiyolojik olarak biyohidrojen üretimi kapsar (Hossain ve ark., 2008). Biyodizel, hayvansal ve bitkisel yağların transesterifikasyonu ile elde edilen, bir yağ asidi alkil ester karışımıdır (Bozbas, 2008). Ayrıca transesterifikasyon işlemi sonunda değerli bir yan ürün olan gliserol elde edilir. Şekil 4’de transesterleşme mekanizması görülmektedir (Şanlı ve Çanakçı, 2005).



Şekil 4. Transesterleşme Mekanizması

Mikroalglerin yakıt olarak kullanım fikri yeni değildir fakat petrol fiyatlarındaki artışlar ve fosil yakıtların yanmasıyla oluşan küresel ısınma tehlikeleri nedeniyle tekrar gün yüzüne çıkmaktadır. Biyodizel, şimdiye kadar bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilmiş olmasına rağmen son yıllarda birçok ticari kuruluşun teşebbüsüyle biyodizel üretimi mikroalg tabanlı üretime kaymıştır. Şekil 5’de mikroalg tabanlı biyodizel üretim şeması görülmektedir. (Konuralp ve ark., 2009).



Şekil 5. Mikroalg Tabanlı Üretim Şeması

Mikroalgler diğer yağ bitkileri ile mukayese edildiğinde biyodizel üretiminde yüksek potansiyele sahiptir. İlk olarak mikroalglerin yetiştirilmesi, karasal bitkilere kıyaslandığında fazla yer istemez. Mikroalglerden biyodizel üretimi gıda üretimi ve bitkilerden üretilen diğer ürünlerin üretimini tehlikeye düşürmez. İkinci olarak, mikroalgler oldukça hızlı büyürler ve çoğu alg türleri zengin yağ içeriğine sahiptir (Huang ve ark., 2010). Tablo 1’de bazı biyodizel kaynaklarının mikroalglerle karşılaştırılması görülmektedir (Chisti, 2007).

Tablo 1. Bazı Biyodizel Kaynaklarının Karşılaştırılması

Ürün	Yağ Üretimi (L/ha)
Mısır	172
Soya	446
Kanola	1190
Jatrofa	1892
Hindistan cevizi	2689
Palmiye	5950
Mikroalg (%70 yağ içerikli)	136,900
Mikroalg (%30 yağ içerikli)	58,700

Türlere bağlı olarak, mikroalgler birçok farklı türde lipit, hidrokarbon ve diğer kompleks yağlar üretirler. Tüm algal yağlar biyodizel üretmek için elverişli değildir fakat çoğunlukla uygun yağlar bulunur (Chisti, 2007). Mikroalgler bünyesinde yaklaşık %80 den fazla miktarda bulunan oleik asit (C18:1) ve palmitoleik asit (C16:1) gibi yağ asitleri sayesinde yüksek enerji içerirler. Bu sebeple mikroalgleri yakıtta çevirmek oldukça elverişlidir (Konuralp ve ark., 2009). Tablo 2’de bazı mikroalg türlerinin yağ içerikleri gösterilmiştir (Chisti, 2007).

Tablo 2. Bazı Mikroalglerin Yağ içerikleri

Mikroalg	Yağ İçeriği (% Kuru Ağırlık)
<i>Schizochytrium sp.</i>	50–77
<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
<i>Chlorella sp.</i>	28–32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis sp.</i>	25–33
<i>Nannochloris sp.</i>	20–35
<i>Nannochloropsis sp.</i>	31–68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–54
<i>Nitzschia sp.</i>	45–47
<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23

Sonuç

Dünya nüfusundaki artışa paralel olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına fosil yakıtların yetersiz kalması ve bu tür yakıtların yanması sonucu meydana gelen atmosfer kirliliği devletleri yenilenebilir yakıtların üretilmesine yöneltmiştir. Mikroalgler sahip oldukları yüksek yağ içerikleri, hızlı büyümeleri ve üretilmelerini için gereken alan ihtiyacının düşük olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynağı olarak yüksek potansiyele sahiptirler. Son yıllarda mikroalglerden biyodizel üretimi üzerine yapılan bilimsel araştırmalar artmakta olup, ticari işletmeler kurulmaya başlamıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte daha gelişmiş fotobiyoreaktörler tasarlanacak ve birim alandan elde edilen verimde artış olacaktır. Mikroalglerden elde edilen biyodizelin maliyeti ham petrolden elde edilen biyodizelden daha ekonomik olduğunda gelişmiş ülkelerde fotobiyoreaktör alanına büyük yatırımlar yapılacağı öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Bozbas, K. 2008. Biodiesel as an alternative motor fuel: production and policies in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 12: 542–52.
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25: 294–306.
- Cirik, S., Gökpinar, Ş., 1993. *Plankton Bilgisi ve Kültürü*. Ege Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:47, 274 pp. İzmir.
- Hossain, S., Salleh, A., Boyce, A. N., Chowdhury, P., Naquiuddin, M. 2008. Biodiesel Fuel Production from Algae as Renewable Energy. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 4 (3): 250-254.
- Huang, G., Chen, F., Wei, D., Zhang, X., Chen, G. 2010. Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Applied Energy* 87: 38–46.
- Konuralp, A. E., Kılıçkan, A., Avcıoğlu, A. O. Mikroalglerden Biyodizel Üretimi. 25. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, pp. 101-107, 1-3 Ekim 2009, Isparta-TÜRKİYE.
- Koray, T. 2002. *Denizel Fitoplanktonlar*. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:32, 228 pp. İzmir.

- Naz, M., Gökçek, K. Fotobiyoreaktörler: Fototropik Mikroorganizmalar için Alternatif Üretim Sistemleri. Ulusal Su Günleri, 6-8 Ekim 2004, İzmir – TÜRKİYE.
- Schenk, M. P., Thomas-Hall, R. S., Stephens, E., Marx, U. C., Mussgnug, J. H., Posten, C., Kruse, O., Hankamer, B. 2008. Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *BioEnergy Research* 1: 20–43.
- Sukatar, A. 2002. Alg Kültür Yöntemleri. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Serisi No: 184, 168 pp., İzmir.
- Şanlı, H., Çanakçı, M. 2005. Dizel motorlar için yükselen bir alternatif yakıt: Biyodizel. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21 Ekim 2005, Mersin – TÜRKİYE.
- Wen, Z., Johnson, B. M. 2009. Microalgae as a Feedstock for Biofuel Production. *Virginia Cooperative Extension Publication* 442-886. <http://pubs.ext.vt.edu/442-886/>. Web adresinden 10 Aralık 2009 tarihinde edinilmiştir.
- Yılmaz, K. H., 2006. Mikroalg Üretimi İçin Fotobiyoreaktör Tasarımları. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi* 23 (1/2): 327-332.