

MERSİN İÇİN MİKROALG ÜRETİMİNİN ÖNEMİ

Yrd. Doç. Dr. Hilal KARGIN YILMAZ

hilal@mersin.edu.tr,

Mersin Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yenişehir Kampüsü, Mersin

Tel: 0(324)3412815/2107, Fax: 0(324)3412530, GSM: 0533 772 95 64

ÖZET:

Mikroalglerin ticari üretimleri birçok amaçla, yaklaşık 40 yıldır yapılmaktadır. Mikroalgal üretim günümüzde artık bir sanayi kolu haline gelen atık su arıtımı ve güneş enerjisinin biyomasa dönüştürülmesi gibi alanlarda bilinen en etkili ve en ekonomik yoldur. Diğer taraftan mikroalgler, enerji ve bazı kimyasal maddelerin (metan gazı) üretiminde değerlendirilmektedir. Tek hücreli mikroalglerin birçoğu gıda sektöründe değerlendirilir ve içerdikleri pigment maddeleri, antibiyotikler, vitaminler nedeniyle tıp, eczacılık alanlarında ve kozmetik ürünlerinde katkı maddesi olarak kullanılırlar. Aynı zamanda insan ve hayvan gıdası olarak değerlendirilirler. Tarım alanlarında organik gübre olarak da kullanılmaktadır. Mikroalgler akuakültürde bivalv, krustase ve balık türlerinin büyüme safhalarında kullanılan önemli bir besin kaynağıdır. Bunun yanında bazı krustase ve balık türlerinin juvenil ve larva safhalarında tükettiği zooplanktonun üretiminde besin kaynağı olarak kullanılırlar. Bu nedenle mikroalgler su ürünleri yetiştiriciliğinin ilk ve vazgeçilmez besinidir.

Günümüzde ticari mikroalg üretiminde, genellikle insan gıdası olarak değerlendirilen ve tıp-eczacılık alanında kullanılan *Chlorella* - *Spirulina* mikroalglerin kültürü yapılmaktadır. Mikroalglerden *Dunaliella salina* β -caroten için, *Hematococcus pluvialis* astaksantin pigmenti için 30 yıldan beri üretilmektedir. Bu nedenlerle, Dünyada ticari mikroalg üretimi hızla yayılmış ve çeşitli sanayi kolları oluşmuştur.

Ticari öneme sahip mikroalglerin üretimi ve alge dayalı çeşitli sanayi kollarının (gıda, tıp, eczacılık, kozmetik, gübre, hayvan yemi, su ürünleri yetiştiriciliği, vb) yaygınlaştırılması, Mersin yöresinin gelişimi için de son derece önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Mikroalg, Sucul Yetiştiricilik, Mersin

IMPORTANT OF MICROALGAE PRODUCTION FOR MERSIN

ABSTRACT:

Microalgae are cultured commercially for many purposes for approximately 40 years. Microalgae in aquaculture are important food source which are used in growth phase of Bivalves, Crustaceans and some species of fish. In addition, Microalgae are also used in the culture of zooplankton as food source. On this account, Microalgae are first and indispensable food in the culture of fishery products. For this reasons, commercial microalgae production has become widespread speedy worldwide and miscellaneous industrial branches have formed up.

Also for Mersin, production of commercially important microalgae and becoming widespread industrial branches (food, medicine, pharmacy, cosmetic, fertilizer, feed, aquaculture, etc) which dependent on microalgae are very important.

Key Words: Microalgae, aquaculture, Mersin

1.GİRİŞ

Mikroalgler, gerek yapısal olarak gerekse de dış görünüşleri bakımından oldukça farklı görünüme sahiptirler. Yapısal olarak eukaryotik (gelişmiş hücre tipi) ve prokaryotik (basit yapılu hücre tipi) olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar. Buna göre Mavi-Yeşil algler göstermiş oldukları hücre organizasyonları bakımından prokaryot hücre özelliği taşımaktadırlar. Belirgin bir hücre çekirdeğinin olmaması ve çok basit olan kromatofor yapısındaki pigmentlerin dağılımı ve prokaryotik hücre özellikleri bakımından diğer alglerden ayrılırlar. Dış görünüşleri bakımından tek hücreli ve iplikli formlardan karışık olarak gelişmiş bireylere kadar değişik biçimlerde gözlenebilmektedirler (Round, 1973:278).

Mikroalgler fotosentetik organizmalardır. Ekolojik olarak algler, karlı alanlar, tamamen buzla kaplı alanlarda da bulunabilirler. Fakat % 70'nin dağıldığı asıl yayılım alanı sulardır. Bu ortamlarda organik karbon bileşiklerinin major primer üreticisidirler. Mikroskobik fitoplankton formunda meydana gelebilirler. Makroskobik ve mikroskobik formların her ikisi de kara ve su hattı boyunca ve bu ortamların her ikisinde de yaşamlarını devam ettirirler. Göllerde ve denizlerde yüzeyden 100 m aşağıda ya da daha düşük ışık yoğunluğu ve yüksek basınç altında yaşayabilirler. Denizlerde yüzeyden 1 km aşağıda da yaşayabildikleri görülmüştür.

1.1. Mikroalglerin Önemi ve Kullanım Alanları

Mikroalgler, su içinde yaşayan, suyun hareketi ile pasif olarak yer değiştirebilen, mikroskobik canlılar olup; sucul ortamlardaki primer üreticilerdir. Yapılarındaki pigmentleri sayesinde karbondioksiti, suyu ve inorganik besin maddelerini ışığın etkisi ile karbonhidratlara çevirirler, böylece su ortamındaki organik besin değerinin ve çözülmüş oksijen oranının artmasını sağlarlar. Sonuçta kendi gelişimlerini sağlayarak besin zincirinin ilk halkasını oluştururlar. Bu şekilde organik üretime olan katkıları ve üst basamaktaki canlılarla olan ilişkileri açısından hayati önem taşımaktadırlar (Sharma, 1986: 395).

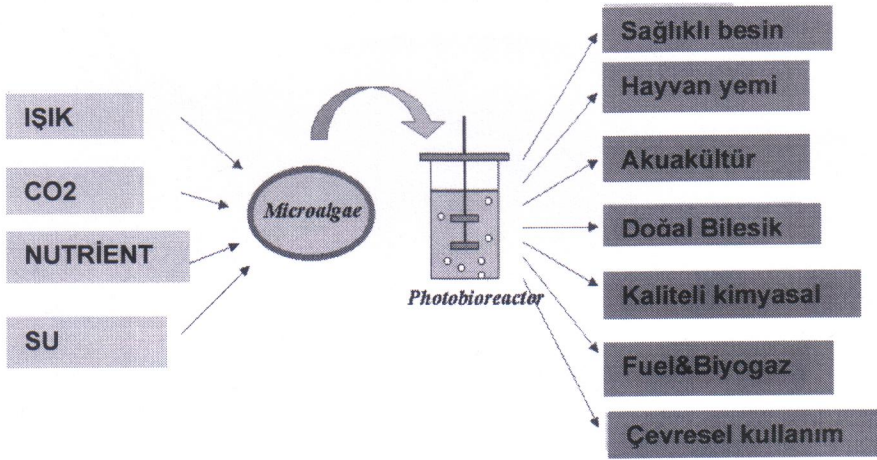
Okyanuslarda bulunan diatomlar ve diğer mikroskobik algler, tüm dünyanın ihtiyacı olan fotosentetik karbon ihtiyacının üçte ikisini üretirler. Mikroalgler enerji hammaddesi olarak üretilme potansiyelleri çok yüksek olan fotosentetik organizmalardır. Farklı agro-klimatik koşullarında yetiştirilebilirler ve ticari değere sahip olan yağlar, şekerler, biyoaktif bileşikler gibi birçok yan ürünü üretebilirler. Gelecekteki yenilenebilir enerji senaryolarında önemli bir yere sahiptirler (www.wikipedia.org 2008) .

Mikroalgler fazla CO₂ 'i uzaklaştırarak ortamın pH' sını ayarlarlar ve ortamdaki fazla besin tuzlarının (nutrient) uzaklaştırılmasıyla su kalitesinin kontrolüne yardımcı olurlar. Ayrıca bazı kimyasal maddelerin üretiminde ve enerji eldesinde (metan gazı) de kullanılırlar.

Besin değeri yüksek olan algler sucul canlı toplulukları için makronutrient, vitamin ve iz elementlerin en önemli kaynağıdır. Aynı zamanda balık ve diğer su canlılarında renklenmenin gelişmesinde gerekli temel pigmentleri sağlarlar. Klorofil-c taşırlar ve bitkilerde bulunmayan başka pigment maddelerini bulundurlar. Çeşitli gruplara özel renkleri veren, bu pigment maddeleridir.

Yetiştiricilik yapılan tesislerde larva beslenmesinde alg kültür üniteleri sistemin kaçınılmaz ve en önemli basamağıdır. Bu ünitelerdeki başarı kurulan zincirin diğer halkalarına yansır.

Alglerle besleme bivalv molluskların (midye, istiridye vb) bütün gelişim safhaları ve bazı balık türlerinin çok erken gelişim safhaları için gereklidir. Ayrıca algler, balık ve Krustasenlerin (karides, kerevit, yengeç, vb) larval ve erken juvenil safhaları için besin olarak kullanılan rotifer, artemia, kopepod gibi zooplanktonik organizmalar için besin (protein) kaynağı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1 Mikroalgelerin kullanıldığı çeşitli endüstri alanları (www.postech.ac.kr/ce/Biotech 2007)

Algler ticari olarak diyet takviyesi olarak kullanılırlar. En önemli türlerden bir tanesi olan Spirulina (*Arthrospira platensis*), bir siyanobakteridir ve "süperbesin" olarak tanımlanır (Demirel ve Özpinar, 2003:103–108). Besin değerleri sebebiyle kültürleri yapılan diğer alg türleri; *Chlorella* (yeşil alg), ve beta-karotene ve C vitamince yüksek değere sahip *Dunaliella salina*'dır. Çin'de yaklaşık 70 alg türü Çin sebzesi (aslında bir siyanobakteri türüdür) olarak tüketilmektedir. Kabaca 20 alg türü Japonya'da yemeklerde kullanılır (Bigogno ve diğ., 2002:991-994).

1.3. Tıp ve Eczacılıkta Mikroalgelerin Kullanımı: "Chlorellin" adındaki bir antibiyotik, yeşil algler grubundan olan *Chlorella*'dan elde edilir. Bunların yanısıra kahverengi ve diğer alglerden elde edilen birçok ilaç tıp alanında kullanılmaktadır.

Chlorella algi karaciğer üzerinde çok etkili olduğu kan kolesterolü ve trigliseritlerin düzeylerini düşürücü özelliği olduğu bilinmektedir. *Chlorella* ile *Scenedesmus* birlikte yenildiğinde, bağırsak tarafından elimine edilen atıkların miktarında artış görülüyor. *Chlorella*'nın, kolon sağlığını yükselten bakterilerden biri olan *Lactobacillus*'un büyümesini hızlandırdığını Japon bilim adamları kanıtlamış. *Chlorella* büyüme faktörü, hasarlı dokuların onarımını teşvik eder. Cilt, bağırsak, böbrek rahatsızlıkları, akciğer ve bronşlara ait sorunları da iyileştirdiğine dair bulgular mevcuttur. Bu mikroalg, vücuttan zehirlerin uzaklaştırılmasında anahtar rol oynar, bütün olarak savunma sisteminin yeniden yapılandırılmasına ve canlandırılmasına olanak sağlar. Çeşitli kanıtlara dayanarak, *Chlorella*'nın, şeker hastalarının iyileşmesine yardım ederken, fazla düşük kan şekeri düzeyini de yeniden normal düzeye getirdiği anlaşılmış durumdadır. Yara iyileştirici özelliğiyle *Chlorella*, ülser tedavisinde de kullanılır. Ürettiği "chlorellin" maddesiyle antibiyotik olarak, kanser hastalarındaki lökopeniyi (beyaz kan hücresi sayısının azalması) önlemede, yaşlanma sürecini yavaşlatmada, nezle ve soğuk algınlığından korunmada, zarar görmüş genetik malzemenin onarımında, bağışıklık sisteminin gelişmesinde işlev görür.

Spirulina, şişmanlık tedavisinde, krem ya da pomat olarak yaraların kabuk bağlamasını hızlandırmada ve cilt metabolizmasının gelişiminde kullanılır. Ayrıca hayvan ve insan tarafından salgılanamayan bir yağ asidi olan linolenik asit salgılar. Bu yağ asidi, başka bir yağ asidi olan prostaglandinlerle birleşerek; su

1.2. Beslenmede Mikroalgler: Toksik madde oluşturmeyen ve patojen olmayan birçok mikroalgden protein elde edilir. Bu proteine "Tek Hücre Proteini (THP)" denir. Elde edilen bu proteinler de, insan ve hayvan gıdalarına protein kaynağı olarak eklenir.

Bunun yanısıra Protozoa, Krustasen'ler, balıklar ve diğer sucul canlıların en önemli besin kaynağı mikroalglerdir. Mikroalglerin üretiminde ışık gereklidir; ışığın %12-20'si kimyasal bileşimde enerjiye dönüşür. Mikroalgler üremeleri için, karbon kaynağı, azot kaynağına gereksinim duyarlar. Gelişimleri içinse, fosfat, sodyumklorür, magnezyum, bakır, klor ve sülfat iyonları gerekir. Göllerde kalsiyum karbonat yüksektir, THP üretiminde göllerin kullanılması uygundur. THP üretiminde en yaygın kullanılan alg türü ise *Spirulina maxima*'dır.

Karotenoidler, birçok bitkide, algde ve fotosentez yapabilen bakteride bulunan, doğal çözünebilen yağ pigmentlerinin bir sınıfıdır.

Alglerin bileşiminde bulunan pigmentler (β -karoten, likopin, zeoksantin, astaksantin ve lutein ksantofil, fikobilin) yağ, protein, karbonhidrat ve vitaminler sayesinde, balıkların deri ve yüzgeçlerinde dengeli gelişim ve pigment miktarında artış gözlenmektedir. Ayrıca alglerin bileşiminde bulunan bu pigmentler besin renklendirme ve gıda tamamlayıcısı olarak da kullanılmaktadır. Alglerin kullanım avantajlarından biri, gıda atıklarının giderimidir.

Günümüzde alglerin endüstriyel düzeyde üretimi için, üstü açık, betondan yapılmış, karıştırıcı ve santrifüjleme düzenekleriyle donatılmış havuzlar kullanılmaktadır. Beton havuzların içi tatlı su ve kanalizasyon suyu ya da endüstriyel ve tarımsal atık maddeleri ile doldurulur, derinliği 20–30 cm kadar olan bu havuzlara farklı bir ortamda geliştirilmiş alg kültürleri aşılanır. Havuz ortamındaki atık su, alg gelişimi için azot ve fosfor kaynağını sağlarken, bakteriler tarafından parçalanan organik maddeler de algin yararlanabileceği küçük yapıtaşlarına dönüştürülürler. Böylece hem alglerin kolayca üremeleri, hem de atık maddelerin proteine çevrilmesi sağlanırken; çevre kirliliği ortadan kalkmış olur. Elde edilen alg ürününün bileşiminde de değerli gıda maddeleri bulunur.

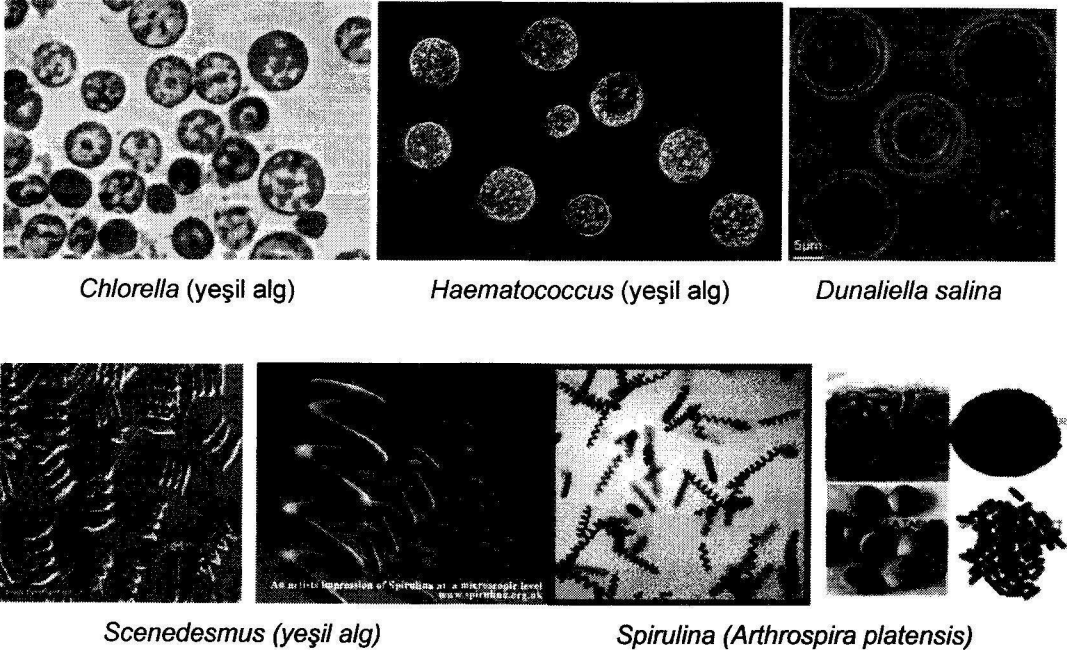
Alg hücreleri %60'a varan ham protein, %16–55 karbonhidrat (selüloz ve nişasta), yağ ve vitaminleri içerirler. Özellikle, içerdikleri vitaminler bakımından dikkat çekicidirler. A vitamini öncüsü olan β -karoten ve astaksantin, bir alg ürünüdür. Bunun yanısıra E, B1 (tiyamin), B2 (riboşavin), B3 (niasin), B6, B12 vitaminlerini de mikroalg içerir. Alg ürünleriyle beslenmek gelişim bakımından da avantaj sağlar (Demirel ve Özpınar, 2003: 103,108). Örneğin *Spirulina*'yı et, yumurta ve soya fasulyesiyle, protein ve yağ içeriklerine göre karşılaştıralım.

Protein: yumurtada %47, ette %43, soya fasulyesinde %37, *Spirulina*'da ise %60–71.

Yağ: yumurtada %41, ette %34, soya fasulyesinde %20, *Spirulina*'da %6–7.

Görüldüğü üzere algler, bilinen birçok besinden daha fazla oranda protein içerirler. Bu da onların kullanım alanlarını arttırır (Akbaba, 2003: 28–32).

konsantrasyonu, insülin sentezi ve gastrik asit sentezini etkiler. Spirulina'nın içerdiği tüm pigmentler büyümeyi teşvik edicidir.



Şekil 2 Gıda sektöründe kullanılan mikroalgler (Borowitzka ve Brown, 1974 :37–52)

Dunaliella sp. gliserol ve β -karoten üreticisi olarak bilinir. β -karoten, A vitamini öncü maddesidir ve eksikliğinde körlüğe kadar giden göz rahatsızlıkları ortaya çıkar. Ateş, ısı kırılabilirliği ve çözünürlük üzerinde sabitleyici etki yapar.

Haematococcus sp., Alzheimer, Parkinson hastalıklarının tedavisinde, omurilik zedelenmeleri ve sinir sistemi incinmelerinde, zarar görmüş retinanın iyileştirilmesinde kullanılır. Damar sertliği, koroner rahatsızlıkları engellemede etkilidir. Anti-tümör (kanser) ajanı olarak ve bağışıklık sisteminin kuvvetlendirilmesinde etkilidir.

Scenedesmus sp. Kadın hastalıklarının tedavisinde, ülser yaralarında ve çocuklarda egzama tedavisinde kullanılır. Bu mikroalg ile yapılan merhemlerin kullanılması ile varis, çiban ve iyileşmeyen yaralarda %90 oranında düzelme olduğu saptanmıştır (Akbaba, 2003 :28–32).

1.4. Tarımda Algler: Mikroalgler atmosfer azotunu bağlamak, organik atıkları parçalamak, toprak ve bitki kökenli patojenleri baskılamak, bitki besin maddelerinin yararlılığını ve dönüşümünü sağlamak, zehir etkisi yapan bileşiklerin bozunumunu sağlamak, antibiyotik ve diğer biyoaktif maddeleri üretmek, ağır metal iyonlarını bağlamak ve bitkilerce daha az alınımını sağlamaktadır. Son yıllarda da biyogübre olarak mikroalgler üzerindeki çalışmalar oldukça yaygınlaşmıştır (Borowitzka, 1995: 3–15; Borowitzka, 1992 :267–269). Algler, tüm dünyada, tarımsal alanda, biyogübre olarak kullanım bulur. Eski yıllardan beri, alg gübreleri çok özen isteyen, özel kültürler için kullanılır. Mesela, Fransa'nın Atlantik kıyılarındaki seralarda sebze yetiştiricileri tarafından çilek gübrenmesinde mikroalglerden yararlanılır.

Tallus, kök ve gövde şeklinde özelleşmemiş vücut yapısı anlamına gelir. Alg tallusları, toprakta uzun süre kaldıkları zaman, kolayca parçalanarak bol miktarda azot ve kalsiyum ortaya çıkarılırlar. Ayrıca iz element olarak magnezyum, mangan, bor, brom, iyot, çinko, bakır ve kobalt da içerirler. Dolayısıyla algler buldukları ortamda toprak bakterilerinin (*Rhizobium* vb) gelişmesini kolaylaştırır ve etkinliğini artırır. Böylece alg ürünleri, diğer bitkilerin büyümesini geliştirir.

Toprak ve sulara serbest yaşayan mikroorganizmaların tesbit ettiği azot miktarı yılda 45-100kg/hektar'ken yalnızca mavi-yeşil alglerin tespit ettiği miktar 29 kg/hektar olarak tespit edilmiştir. Bunun gibi, biyogübre çalışmalarında kullanılan mavi-yeşil algler de havadaki serbest azotu bağlayarak, inorganik azota (amonyağa) indirgerler. Bu sınıfa giren algler, tek hücreli mavi-yeşil algler (*Gloeocapsa*, *Dermocarpa*, *Synechococcus*, *Synechocystis* vb.) ve filamentli mavi-yeşil alglerdir (*Nostoc*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nodularia* vb.). Böylece, gübre gereksinim olmadan bitkilerin azot gereksinimlerini kendilerinin karşılaması sağlanabilir (Akbaba, 2003 :28–32).

Dünyanın birçok sahil yöresindeki yosunlar, fosfor, potasyum ve bazı iz elementlerin varlığından dolayı gübre olarak kullanılırlar.

Tarımsal savaşmada, yararlı bitkilere zarar veren bitki, böcek vb zararlılarla savaşmak için kullanılan ilaçlara alglerden elde edilen bir yan ürün olan alginat katılması, büyük yarar sağlamaktadır (Akbaba, 2003 :28–32).

1.5. Atıkların Arıtılmasında: Evsel ve endüstriyel kaynaklardan gelen atıklar, çözünmüş ya da askıdaki organik ve inorganik bileşiklerin temizlenme prosesleri oksijenli bir ortamda gerçekleşir ve bu oksijenlendirme bazı algler tarafından sağlanır. Temizlenmesi güç olan azot ve fosfor gibi bileşikler alglerin bulunduğu tanklara alınarak, algler tarafından besin kaynağı olarak kullanılarak ortamdan uzaklaştırılabilir.

Alg biyoreaktörleri, CO₂ emisyonlarının azaltılmasında bazı işletmelerde kullanılabilirler.

1.6. Biyodizel Üretiminde: Biyodizel bitkisel yağlardan yapılan ve modifiye edilmemiş tüm dizel motorlarda çalışabilen bir yakıttır.

Biyodizel soya, ayçiçeği, koza, hindistan cevizi ve kenevir gibi doğrudan tohumun ezilmeside dâhil (saf yağlar) tüm bitkilerden, restoranlardaki kullanılmış yağlardan, hatta donmuş yağ, balık yağı gibi hayvansal yağlardan biyodizel yakıt yapımında yararlanılabilir. Yağ içeriği yüksek olan mikroalgler de biyodizel üretiminde kullanılan oldukça değerli kaynaklardır.

Yapılan çalışmalar sonucu alglerden elde edilen bazı kuru lipid ağırlıklarının, *Scenedesmus* %12–40, *Chlorella* %14–22, *Dunaliella* %6–8, *Synechococcus* %11, *Botryococcus* %90 bulunmuştur. En yüksek değerlere sahip olan *Botryococcus*'un potansiyel yakıtlarla karşılaştırılması sonucu, diğer yakıtlardan daha fazla yenilenebilir likit yakıtları elde edilebileceği ortaya çıkıyor. *Chlorophyceae* ve *Cyanobacteria*'larda kuru materyalin ağırlığının %5'inden az bir miktarına denk gelen oran, *Botryococcus braunii*'de %90'a ulaşıyor.

Geleceğin yakıtı olarak nitelendirilen biyodizelin karbondioksit kaynağı alan jeotermal alanlarda, yağ düzeyi yüksek fotosentez yapabilen mikroalgler kullanılarak, verimsiz ve atıl arazilerde inşa edilen ve içerisinde arıtılmış atık su bulunan havuzlarda kolay ve ekonomik yollarla üretilmesi mümkündür. Öncelikle biyodizel eldesinde kullanılacak olan mikroalgler (*Cyanophyceae*) laboratuvar koşullarında üretilir. Daha sonra şeffaf kapalı havuzlar içerisine aşılır ve ışık etkisiyle üremeleri sağlanır. Kapalı havuzlara karbondioksit borular aracılığıyla pompalanır. Algler bu karbondioksiti besin üretiminde kullanır ve biyokütle

artar. Üretilen alglar havuzlardan belirli aralıklarla süzülerek alınır, preslenip biyoreaktörde biyodizel dönüştürülmek üzere gönderilir. Preslenip biyoreaktörlere getirilen alglerden çeşitli çözücülerle ürettikleri yağlar açığa çıkarılır. Bu alglerin ürettikleri yağlar transesterleşmeye bırakılır bir dizi kimyasal işlem sonunda biyodizel üretilir. Biyodizel gliserinin yağ ve bitkisel yağdan ayrıldığı transesterleşme adı verilen bir dizi kimyasal süreçle elde edilir. Bu işlem sonucunda iki ürün kalır: metil esterler (biyodizelin kimyasal adı) ve gliserin (sabun ve diğer ürünlerde kullanılmak üzere satılan bir yan ürün).

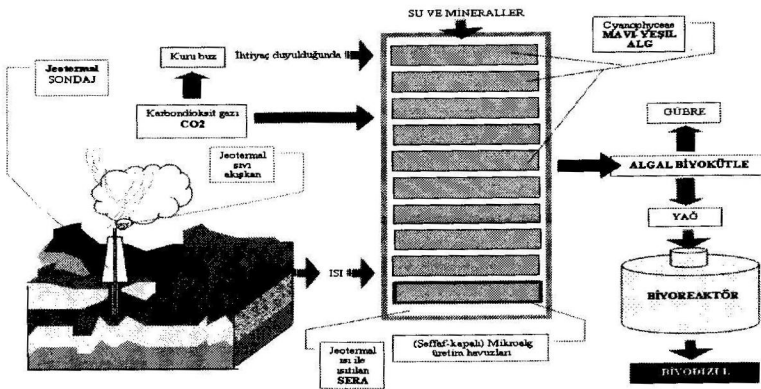
Jeotermal alanlarda mikroalglerden biyodizel üretiminin avantajları

- Algal yağdan kısa zamanda, az masrafla, daha çok biyodizel üretimi,
- Mikroalg üretiminde en büyük mali yükü getiren karbondioksiti kolayca elde edilmesi,
- Atık karbondioksiti alg üretme havuzlarında kullanarak, çevresel geri dönüşüm sağlayıp jeotermal santrallerin çevreye zarar vermesine engel olur,
- Atıl arazileri değerlendirip metrekairelerce havuzlar kurularak, havuzlarda kullanılan atık sular sayesinde suyun geri dönüşümü sağlanır (Akbaba, 2003:28–32).

1.7. Enerji eldesinde: Alglerden ısı, elektrik ve yakıt üretimi için kullanılabilir biyokütle elde edilebilir. Algler hidrojen üretimi için de kullanılabilirler. Alg kültür ortamında sülfür kısıntısı olduğunda üretimin oksijenden (normal fotosentez) hidrojene döneceği bulunmuş ve bu reaksiyondan sorumlu enzimin hidrogenaz olduğunu ancak bu enzimin oksijen varlığında fonksiyonunu kaybettiği bulunmuştur.

1.8. Diğer alanlarda: Algler tarafından elde edilen doğal pigmentler, kimyasal boyalara ve boyama ajanlarında alternatif olarak kullanılırlar. Bugün kâğıt sanayindeki pek çok ürün, kullanılan boyalar yüzünden geri dönüştürülemede ancak alglerden elde edilen boyaların imhası çok daha kolay olmaktadır. Gıda endüstrisinde de boyama amaçlı katkı maddelerinin yerini bu alg türevi boyalar almaktadır.

İsrail'de su tanklarında yetiştirilen bir yeşil alg türü, doğrudan güneş ışığı ve ısıya maruz bırakılarak parlak kırmızı bir pigment biriktirmesi sağlanmaktadır. Hasat edildikten sonra Somon gibi balıkların yemlerinde doğal pigment olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3 Jeotermal alanlarda mikroalgden biyodizel üretimi (www.inepo.com 2008)

2. Mikroalg Üretimi ve Üretim Sistemleri

Her mikroalg türü, en ideal gelişimi kendine özgü spesifik koşulların sağlandığı kültür ortamlarında gösterir. Fakat genel olarak mikroalg üretimi için gerekli başlıca unsurlar şunlardır:

Su, ışık kaynağı, besin, sıcaklık, karbondioksit, havalandırma ve saf alg kültürü. Bu unsurların farklı şekillerde tasarlandığı farklı mikroalg üretim sistemleri mevcuttur. Mikroalgler tatlı sulardan, çok tuzlu sulara kadar birçok sucul ortamda kültüre alınabilir; havuz, göl gibi açık sistemlerde ya da ticari anlamda kontrollü kapalı sistemlerde üretilebilirler.

Bazı mikroalgler, koşulların çok spesifik olduğu durumlarda (yüksek tuz yada alkali) açık üretim için çok uygundur. Bu sistemlerin avantajı düşük yatırım ve yüksek üretim maliyetine sahip olmaları ve kolay düzenlenebilmeleridir (Vonshak ve diğ., 1986:117-145).

Diğer taraftan kapalı sistemler, çok ciddi yatırım ve işletme maliyeti gerektirirler ancak tüm değişken koşullardan bağımsızdırlar, yüksek performans ve kalite için çok kontrollü bir üretim yapılabilir.

2.1. Dış mekânda biyoreaktör üretimi: Dış mekânda mikroalg üretim sistemlerinde doğal güneş ışığından yararlanılır. Ancak bu sistemler hava değişikliklerinden kolaylıkla etkilenirler.

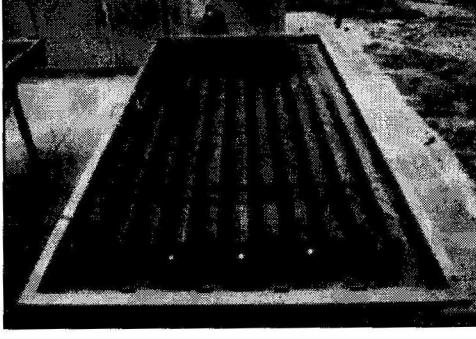
Fotosentetik mikroorganizmaların üretimi için kullanılan teknik tasarımlardan oluşan sistemler fotobiyoreaktörler olarak adlandırılır. Mikroalg üretimi için kontrollü-kapalı sistem olarak fotobiyoreaktörler kullanılır. Bazı yeni fotobiyoreaktörler ticari ve mali verimliliği bir araya getirmektedirler.

Dış mekânlardaki mikroalg üretim sistemleri doğal gölet, havuzlar ve tanklardan (konteynırlar) oluşmaktadır. Tübüler fotobiyoreaktörler ve düz- panel reaktörler de mikroalg üretiminde yeni tasarımları oluşturmaktadır (Pirt ve diğ., 1983:35-58).

Son zamanlara kadar açık havuz sistemleri mikroalg üretimi için en önemli prensipti, ancak eczacılık ve kozmetik alanındaki uygulamalarda mikroalgden yüksek kalitede ürünlerin hazırlanmasına yönelik tasarımlar sadece kapalı fotobiyoreaktörlerle uygulanabilir. Kapalı sistem fotobiyoreaktörler, mikroalg üretimi için tasarlanmış, güneş ışığının yeterli olduğu dış mekânlarda, saydam silindirik borular içinde algin bulunduğu, sürekli dolaşım sistemine dayanan bir modeldir (Acien Fernandez ve diğ. 1998: 605-616).

İç mekânlardaki mikroalg üretim sistemleri, küçük ölçekli torbalardan, biyobobin (biocoil) sistemlerden, tübüler fotobiyoreaktörlerden, düz-panel reaktörlerden oluşmaktadır (Pirt ve diğ., 1983:35-58; Miyamoto ve diğ., 1988:703-708; Torzillo ve diğ., 1993:891-898).

Düz-panel şeklindeki reaktörlerin ya da ince çaplı boru fotobiyoreaktör tasarımında temel ilke, yüzey genişliğini artırarak ışığın etkin kullanımını sağlamaktır (Pulz, 1994: 113-117; Anderson ve Fakin, 1985:533).



Şekil 4. Dış mekânda túbüler fotobiyoreaktör



Şekil 5. Dış mekânda düz panel reaktör (Torzilla ve diğ.,1993: 891-898) (Tredici, 1999: 395-419)

Kapalı reaktörlerin mikroalg üretiminde kontaminasyonu önlemek ve yüksek yoğunluktaki ışığın etkin kullanımı ile yüksek üretim sağlamak, ısı kontrolü ve dış mekânda tasarlanan kapalı biyoreaktörlerde güneş ışığının kullanılabilme özelliği gibi birçok avantajı vardır. Elde edilen ürün istenilen kalite ve verimlilikte olabilmektedir (Chrismadha ve Borowitzka, 1994: 67-74). Kirlilik riskinin önlenmesi çok daha geniş türlerin üretilebileceği ve dış ortamda da biyoreaktörlerin kullanılabilmesi anlamına gelmektedir.

Borulu fotobiyoreaktörlerin içindeki çap önemli bir biçimde azaltılmış ve düz-panel şeklindeki biçimler tercih edilmiştir. Borulu ya da çubuk reaktör tasarımları tamamen cam ve plastik borulardan oluşmuştur.

Düz panel reaktörler (Pulz, 1994 :113-117; Tredici ve Zitelli 1997: 117-130) ve túbüler fotobiyoreaktörler iki temel tasarımda oluşur. Bütün bu tasarımların temel ilkesi ışık yönünü azaltmak böylelikle her hücreye düşen ışık miktarını arttırmaktır. Gaz değişimini arttırmak ve hücrelere uygun ışığı sağlamaktır.

2.2. İç mekânlarda biyoreaktörde üretimi: Ticari ölçekli mikroalg üretimi için genelde üretim çiftlikleri túbüler fotobiyoreaktörleri tercih etmektedir. Bunun nedenleri ise, üretimin kontrol altında tutulabilmesi, üretimi önceden tahmin edebilme, yer-işçilik bakımından ekonomik yararlar sağlamadır.

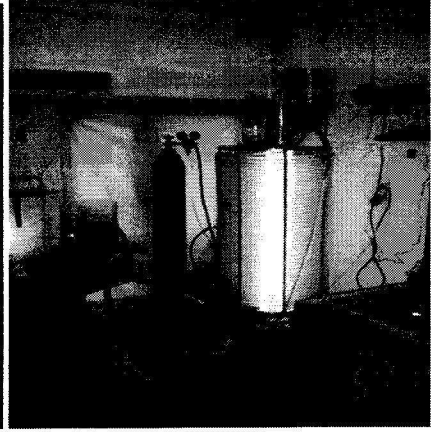
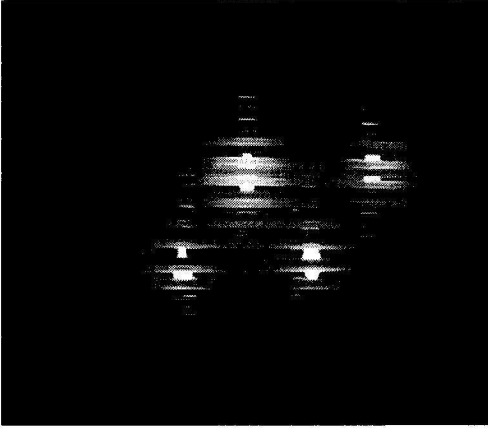
Túbüler fotobiyoreaktörde şeffaf boru biçimindeki reaktörler büyük ölçekli olarak geliştirilebilir. Biyoreaktörler farklı şekillerde tasarlanarak büyük ve kapsamlı sistemler inşa edilebilir.

Diğer önemli husus ise, alglerin biyoreaktör içerisinde pompa yardımıyla dolaşımını temin etmektir. Biyoreaktörde dolaşımı temin etmek için en ucuz pompa diyafram pompadır. Ancak diyafram pompaların büyük ve gelişmiş yapılı olanları pahalıdır.

Algler özellikle sert hücre yapısına sahip *Nannochloropsis* sp., *Chlorella* sp. gibi türler ile *Tetraselmis*, *Isochrysis* gibi disk şeklinde hücre yapısı olan algler için uygunken, bu türlerin fotobiyoreaktörde istenilen yoğunlukta üretimi sağlanabilmektedir.

2.3. Biyobobin (biocoil) sistemlerde üretimi: Biyobobin "Biocoil", kuleyi saran küçük çaplı (2,4 – 5 cm arası) şeffaf plastik hortumdan oluşturulmuş sarmal túbüler fotobiyoreaktördür. Santüfjü, diyafram ya da peristaltik pompalar ya da hava kaldırımı olabilen pompalama sisteminden yararlanır. Biyobobin "Biocoil" sistemde *Spirulina*, *Tetraselmis* sp., *Isochrysis galbana*, *Phaeodactylum tricorutum* ve *Chaetoceros* sp., gibi büyük ölçüde deniz mikroalgi türleri yetiştirilebilir (Ogbonna ve Tanaka, 1995: 43-49).

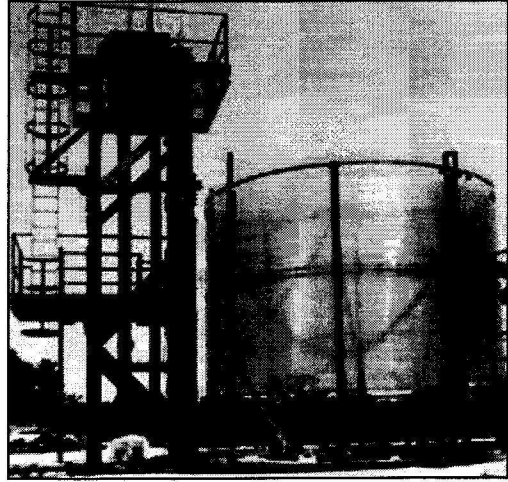
Biocoil tasarımı eşit karışım sağlamakta ve alglerin tüplerin iç yüzeylerine yapışmasını en aza indirmektedir. Ayrıca biocoil sistemi kolaylıkla taşınabilmektedir, böylece iş gücü en aza indirgeyerek ve güvenilirliği artmaktadır. Üretim sürecini otomatikleştirir. Biyobobin "Biocoil" sistemide güneş ışığının ya da yapay ışık kaynağının olduğu fotobiyoreaktörde hafif çevrim sistemine dayalı olmaktadır. Biyobobin "Biocoil" sistemlere yine algin toplanabileceği bir tankın ya da kabın ilave edilmesi uygun olabilir.



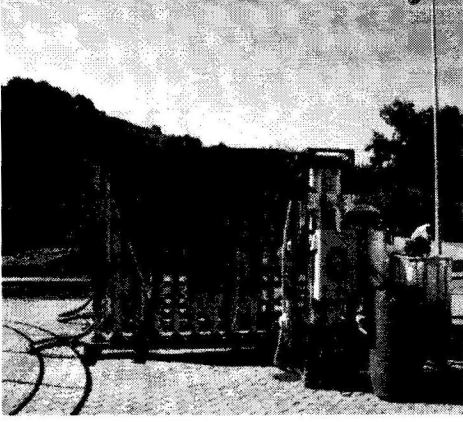
Şekil 6. İç Mekânda tübüler fotobiyoreaktör

Şekil 7. İç Mekânda Sarmal Fotobiyoreaktör

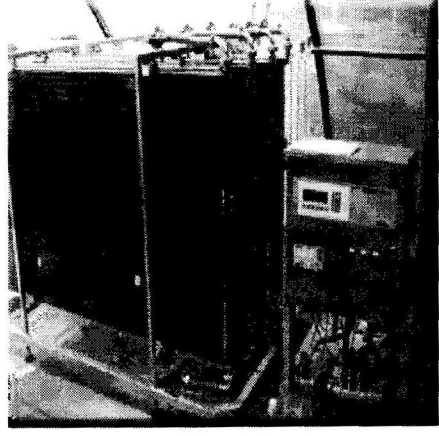
(www.addavita.demon.co.uk/howthe.2007htm) (Kargın Yılmaz, 2007-1)



Şekil 8. Dış ortamda tübüler ve sarmal fotobiyoreaktör (www.spirulinasource.com 2007)

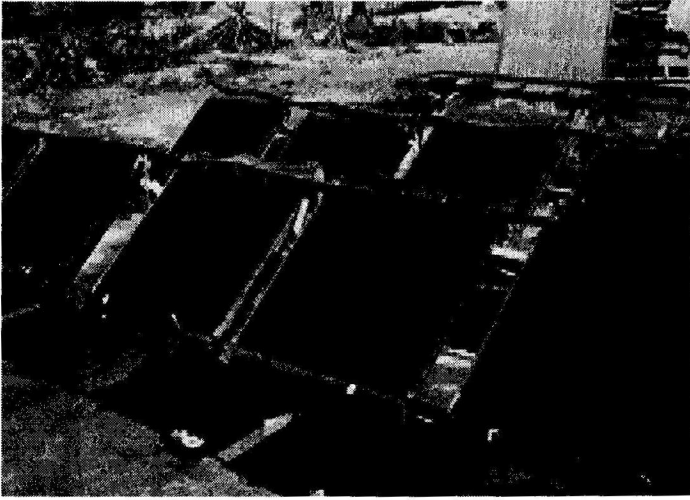


Şekil 9. Dış mekânda düz panel reaktör



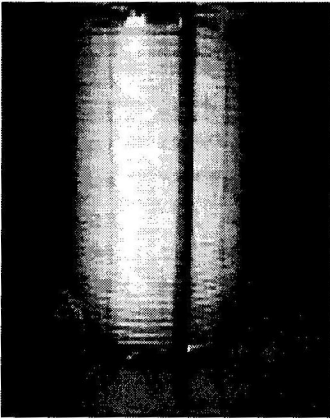
Şekil 10. İç mekânda düz panel reaktör

([freenergynews.com/news/twife/archive 2007.htm](http://freenergynews.com/news/twife/archive%202007.htm)) (www.mareinitiative.com 2008)

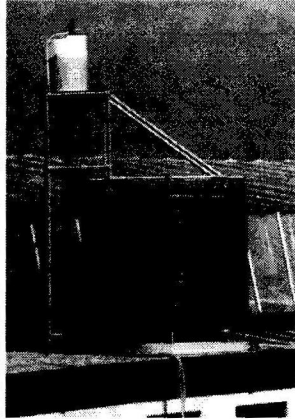


Şekil 11. Dış mekânda düz-panel tip biyoreaktör

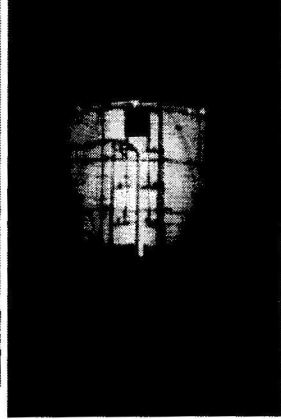
(www.bgu.ac.il/BIDR/research/biotech/algal/amos.html - 4k -, 17.10.08)



Şekil 12. İç Mekânda Biocoil sistem



Şekil 13. Dış Mekânda Biocoil sistem



Şekil 14. Dış Mekânda Biocoil sistem

(www.scieng.murdoch.edu.au/centres/algae/BEAM-Net/BEAM-App14a.htm, 27.05.05)

3. Sonuç

Mersin ilinde ve çevresinde, tipik sıcak ve ılıman iklim hâkimdir. Yaz ayları sıcak ve aşırı nemli ortalama 28 °C, kış ayları ise 14 °C ılık ve yağışlıdır. Türkiye'nin en sıcak kesimidir ve bu sıcaklık aralığı mikroalg üretimi için oldukça uygundur.

Mikroalgler çeşitli endüstri alanlarında değerlendirilen, ekonomik öneme sahip birçok alg türünü içerir ve Mersin ili ve çevresinde ticari öneme sahip birçok algin farklı agro-klimatik koşullarda yetiştiriciliği yapılabilir. Gıda, tıp ve eczacılık ve kozmetik alanında değerlendirilebilen birçok ticari mikroalg türü yüksek kaliteli üretim için genelde kapalı fotobiyoreaktörlerde üretilebilmektedir. Bunun nedenleri ise, üretimin kontrol altında tutulabilmesi, üretimi önceden tahmin edebilme şansını sağlaması, yer-işçilik bakımından ekonomik yararlar sağlamasıdır.

Bu bağlamda yeni iş alanlarının doğması ve dış piyasaya açılabilme gibi Mersin ili ve çevresine sosyo - ekonomik katkı sağlayacak olan mikroalg üretimi önemli bir kazanç kaynağı olma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

Acien Fernandez, F. G., Garcia Camacho, F., Sanchez Perez, J. A., Fernandez Sevilla, J. M. & Molina Grima (1998), "Modelling of biomass productivity in tubular photobioreactors for microalgal cultures: Effects of dilution rate, tube diameter and solar irradiance". *Biotechnology and Bioengineering*, 58; Yıl:1998, ss 605–616.

Akbaba G. (2003), "Biyoteknolojide Mikroalgler", *Bilim Teknik Dergisi*, Yıl: 2003, ss 28–32.

Anderson, D. B. and Eakin, D. E. (1985), "A process for the production of polysaccharides from microalgae", *Biotechnol. Bioeng. Symp.*, Yıl: 1985,15, ss 533.

Bigogno, C., Khozin-Goldberg, I., Boussiba, S., Vonshak, A. & Cohen, Z. (2002), "Lipid and fatty acid composition of the green alga *Parietochloris incisa*", *Phytochemistry*, 60, Yıl: 2002, ss 497–503.

Borowitzka, L. J. and Brown, A. D. (1974), "The salt relations of marine and halophilic strains of the unicellular green alga, *Dunaliella*", The role of glycerol as a compatible solute. *Arch. Of Microbiol.* , 96, Yıl: 1974, ss 37–52.

Borowitzka, M. A. (1992) "Algal biotechnology products and processes: matching science and economics", *J. Appl. Phycol.* 4, Yıl: 1992, ss 267–279.

Borowitzka, A. M. (1995), "Microalgae as source of pharmaceuticals and biologically active compounds", *J. Appl. Phycol.*, 7, Yıl: 1995, ss 3-15.

Chrismadha, T., Borowitzka, M. A. (1994), "Effect of cell density and irradiance on growth, proximate composition and eicosapentaenoic acid production of *Phaeodactylum tricornutum* grown in a tubular photobioreactor", *J. Appl. Phycol.* 6, Yıl: 1994, ss 67–74.

Demirel G., Özpınar H. (2003), "Yosunlar ve Hayvan Beslemede Kullanımları", *Uludağ Üniv.J. Fac.Vet. Med.* 22, 1.2.3, Yıl: 2003, ss 103–108.

Kargın Yılmaz, H. (2007–1), "Nannochloropsis oculata (Droop) Hibberd'nin Sarmal Fotobiyoreaktörde Üreimi ve *Brachionus plicatilis* Müler 1786'in Ürün Verimliliğine Etkisinin Araştırılması" Mersin Üniv. BAP-SÜF.TB(HKY), Yıl: 2007-1, Mersin.

Miyamoto, K., Wable, O. and Benemann, J. R. (1988), "Vertical tubular reactor for microalgae cultivation", *Biotech. Lett.* 10, Yıl: 1988, ss 703–708.

Ogbonna, J. C.; Tanaka, H. J. (1995), "Industrial- size Photobioreactors", *Chemtech*, 27,Yıl: 1995, ss 43-49.

Pirt, S. J., Lee, Y. K., Walach, M. R., Pirt, M. W., Balyuzi, H. H. M. and Bazin, M. J. (1983), "A tubular bioreactor for photosynthetic production of biomass from carbon dioxide: design and performance", *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 33B, Yıl: 1983, ss 35-58.

Pulz, O. (1994), "Open-air and semi-closed cultivation systems for the mass cultivation of microalgae". In: Phang, S. M., Lee, K., Borowitzka, M. A., Whitton, B. (eds.), "Algal Biotechnology in the Asia- Pasific Region", *Institute of Advenced Studies, University of Malaya*, Kuala Lumpur; Yıl: 1994, ss113-117.

Round, F. E. (1973), "*The Biology of Algae*", Ed. Edward Arnold Pub., 2 nd., Ambridge University Press, London, ss 278.

Sharma,O. P. (1986), "Text Book of Algae", *New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing*, Yıl:1986, ss 395,

Torzillo, G., Carozzi, P., Pushparaj, B., Montaini, E., Mat-erassi, R. (1993), "A two plane tubular photobioreactor for outdoor culture of Spirulina", *Biotechnol. Bioeng.* 42, Yıl: 1993, ss 891-898.

Tredici, M. R. (1999), "Bioreactors, photo". In: Flickinger M. C., Drew S. W., (Eds) "Encyclopedia of bioprocess technology: fermentation", *biocatalysis and bioseparation*, vol 1. Wiley, New York, Yıl: 1999, ss 395-419.

Tredici, M. R., Zitelli, G. C. (1997), "Cultivation of Spirulina (Arthrospira) platensis in flat plate reactors". In: Vonshak, A. (ed.), "Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology", *cell-biology and biotechnology*, Taylor and Francis, London; Yıl: 1997, ss117-130.

Vonshak, A. (1986), "Laboratory Techniques for the cultivation of microalgae". In Richmond, A.(ed.),"CRC Handbook of Microalgal Mass Culture".*CRC press, Inc. Boca Raton, Florida.* 117-145.

(www.wikipedia.org 2008)

(www.postech.ac.kr/ce/Biotech 2007)

(www.inepo.com 2008)

(www.addavita.demon.co.uk/howthe.2007htm)

(www.spirulinasource.com 2007)

(www.freeenergynews.com/news/twife/archive 2007.htm)

(www.mareinitiative.com 2008)

(www.bgu.ac.il/BIDR/research/biotech/algal/amos.html - 4k -, 17.10.08)

(www.scieng.murdoch.edu.au/centres/algae/BEAM-Net/BEAM-Appl4a.htm, 27.05.05)