MİKROALGLERİN ÇEVRE TEKNOLOJİLERİNDEKİ YERİ

Kadriye OKTOR

Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak., Çevre Mühendisliği Bölümü,
Kocaeli / Türkiye

Öz: İleri teknolojiler kullanılarak üretilen ürünün kullanıldıktan sonra atık formunda (katı, sıvı, gaz) atılmasıyla çevre kirliliği oluşur. Oluşan kirliliğin çevresel etkilerini en aza indirmek, çevre kirliliği yaratmayacak şekle dönüştürme işlemleri için uygulanan materyal ve yöntemler Çevre Teknolojileridir. Bu teknolojilerin de tekrar kirlilik yaratmaması çok önemlidir. Mikroalglerin çevre teknolojilerinde kullanımı yenilikçi bir yaklaşım olup sürdürülebilir temiz bir teknolojidir. Mikroalgler basit hücresel yapıya sahip fotosentez yapabilen en küçük mikroorganizmalardır. Mikroalgler son 75 yıldır çeşitli kullanım amaçlarına göre araştırılmaktadırlar. Atık sulardan kirletci maddeleri uzaklaştırma, karbondioksit azaltma kapasitesi, oluşan biyokütleden biyoyakıt, biyo-jet yakıt, biyogübre, hayvan yemi eldesi gibi çevre biyoteknoloji uygulamalarının yanı sıra tıp, gıda, eczacılık, tekstil ve kozmetik teknolojilerinde de kullanım alanı bulmaktadır. Beslenmelerinin atık sularla yapılması geleneksel arıtma yöntemlerine eşdeğer veya daha etkin bir arıtmayı da beraberinde getirerek ekonomiklik sağlamaktadır. Aynı zamanda mikroalg kültürleri de yapılarak gelir elde edilebilen algal atıksu arıtma sistemleri önemli bir seçenek haline gelmiştir. Gelecekte evsel atık suların mikroalglerle arıtılarak tekrar kullanım suyu olarak ve mikroalglerden elde edilen enerjinin aydınlatmada ve ısıtmada kullanılacağı yeşil binalar inşa edilecektir. Çevre dengesini koruyarak kirliliği önlemek ve sürdürülebilirliği sağlamak için her alanda geleneksel teknolojilerin dışına çıkılıp temiz yeşil teknolojilere geçilmesi gerekmektedir.

THE ROLE OF MICROALGAE IN ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES

Abstract: Environmental pollution occurs as a result of the disposal of advance manufactured goods in waste forms (solid, liquid, gas). Environmental technologies are the methods and materials used to minimize the environmental impacts of the pollution and converting them to non-pollutants. It is essential that these technologies should not cause another contamination. It is a sustainable and clean technology, and an innovative approach to use microalgae in environmental technologies. Microalgae are the tiniest photosynthetic microorganisms having simple sell structure and their intended purposes have been being researched for the last 75 years. Alongside of the environmental biotechnology applications such as bioremediation of wastewaters, carbon dioxide capture, conversion of the algal biomass into biofuel, bio-jet fuel, biofertilizer, animal feed production; microalgal biomass has fields of use in medicine, food, pharmaceuticals, textile and cosmetics industries. Feeding them with wastewaters provides economical treatment bringing equal or better treating than the conventional treatment methods. The algal wastewater treatment ponds, which can genarate economical benefits by producing microalgae cultures concurrently, have become a substantial option. The green buildings reusing wastewaters treated with microalgae and illuminated or heated with the microalgal energy will be built in the future. To prevent pollution and maintain the sustainability while preserving the balance of the environment, it is a necessity to go beyond the ordinary technologies in every field and transform to green technologies.

GİRİŞ

Günümüz dünyasının en önemli sorunları olarak artan nüfus artışı ve buna paralel doğal kaynakların korunamaması, enerji krizi ve bunun ekonomiye getirdiği yükler, küresel ısınma ve sonuçlarını sayabiliriz. Bu sorunların sonucu olarak gelecek 30-50 yıl içinde korkunç senaryolar ortaya çıkmaktadır. Nüfus artışı doğal kaynakların tükenmesine neden olmaktadır. Atmosfere salınan CO_2' in her geçen yıl artması küresel ısınmanın etkilerini daha da artırmaktadır. Bu etkilerin en önemlilerinden biri olan temiz su kaynaklarının azalması su kıtlığını doğurmaktadır. Günümüzde temiz su kaynaklarına olan talebin artmasıyla insanoğlu yenilikçi arıtım teknolojilerini geliştirmeye yönelmiştir. Su stresi al-

tında olan ülkeler su kaynaklarını bilinçli kullanma ve atık sularını arıtarak geri kazanma çalışmalarına başlamışlardır. Yeşil teknolojiden yararlanarak su konusunda yenilikçi bir yaklaşımla sürdürülebilirliğin sağlanmasını amaçlamaktadırlar. Bu nedenle yeni doğal metodlar, yeşil teknolojiler atıksu arıtımında dikkat çekmeye başlamıştır.

Fosil yakıtların tükenmek üzere olması ve çevreye zararlı emisyon vermesi gibi nedenler yenilenebilir enerji kaynaklarına eğilimi arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütleden bitkisel yağ, biyodizel, biyoetanol, biyogaz, biyohidrojen gibi birçok biyoyakıt üretilebilmektedir. Biyokütlenin üretimi, hasatlanması, hücrelerden lipitin ekstraksiyonu ve lipitin biyodizele dönüşümü sıralı bir süreçtir. Geleneksel enerji kaynaklarına göre çevre dostu olan biyoyakıtların karasal bitkiler ve mikrolalglerden eldesi ilgi odağı olmuştur. Özellikle mikroalglerin bir çok avantajları vardır. Karasal bitkiler gibi özel alanlara ihtiyaç duymadan küçük alanlarda yetişebilmeleri, baca gazlarından karbondioksiti absorblayabilme yetenekleri, atık sularda büyüyebilme özellikleri, çok çabuk büyüyebilmeleri, hızla yeniden üretilebilmeleri, yağ içeriklerinin yüksek olmaları sebebiyle şu an dünyada mikroalgler ümit vaat etmektedirler (Abdelaziz et al 2014, Klinthong et al 2015, Tan et al., 2018).

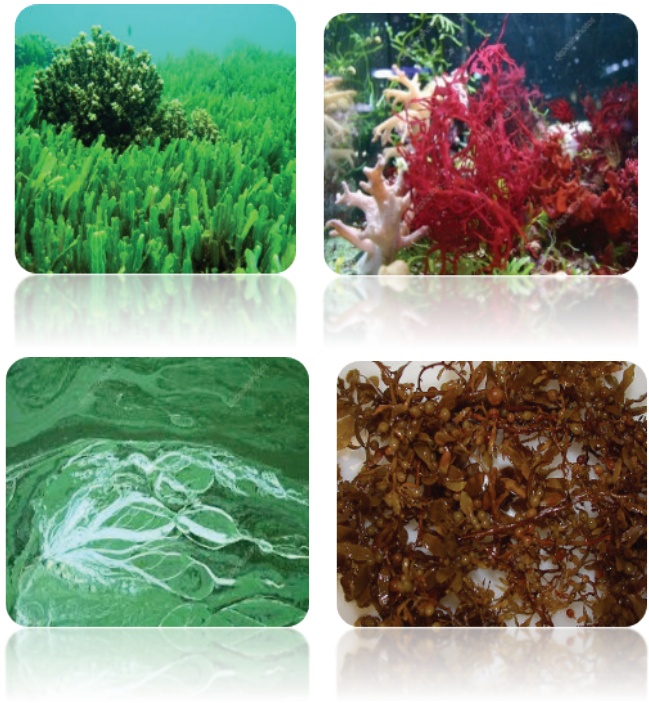
KURAMSAL ÇERÇEVE ve LİTERATÜR TARAMASI

Mikroalg Tanımı ve Önemi

Algler, fotosentetik yapıya sahip, dünya üzerindeki en eski mikroorganizmalardır. Hücre boyutlarına göre Mikroalg ve Makroalg olmak üzere temel olarak iki gruba ayrılır. Geleneksel olarak renklerine göre sınıflandırılırlar (Şekil 1.):

- Cholophyceae (yesil renkli algler),
- Rhodophyceae (kırmızı renkli algler),
- Cyanophyceae (mavi yesil algler),
- Pheophyceae (kahverengi algler)

En bilinenlerinden olan yeşil algler 8000 farklı türü ile alglerin en büyük gruplarındandır. Tek hücreli ve ticari olarak kullanımı yaygın olan Chlorella bu gruptandır. Koloni oluşturarak yaşarlar. Boyutları 3-10 µ'dan 70cm uzunluğa kadar çıkabilir.



Şekil 1. Yeşil, Kırmızı, Mavi-Yeşil, Kahverengi Algler

Mikroalgler, tek hücreli (prokaryot) türlerden çok hücreli (ökaryot) formlara kadar uzanan çok çeşitli ve çok sayıda olan mikroskobik organizmalardır. Mikroalgler klorofil içeren basit yapılı canlılardır. Deniz ve taze su kaynakları gibi birçok çevre ortamından izole edilen ve inorganik karbonu enerjiye çeviren birincil üreticilerdir. Yüksek büyüme hızlarına (ikiye katlanma süresi=24 saat) ve yüksek yağ içeriğine sahip olarak yaklaşık 40000 türü belirlenebilmiştir.

Mikroalg'in en yaygın stokiyometrik formülü $C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P$ 'dır ve optimal bir büyüme için bu elementler belirtilen oranlarda ortamda bulunmalıdır. Mikroalg yetiştirilmesinde karbon kaynağı (karbondioksit ve bikarbonat gibi), azot kaynağı (üre, nitrit, azot gazı gibi), sülfür kaynağı (sülfat gibi), fosfor kaynağı (hidrofosfat, fosfat gibi), inorganik tuz (K, Ca, Mg gibi), eser elementler (Fe, Zn, Mn, Pb gibi) ve vitamin (B, C, E gibi) ihtiyacı vardır. Mikroalglerin yapısında başlıca lipitler (% 4-55), karbonhidratlar (% 6-57), proteinler (% 10-63) olmak üzere birçok bileşen yer almaktadır. Fotosentez yaparak karbondioksit,

su ve güneş ışığını biyokütleye dönüştürürler. Ürettikleri önemli pigmentler; Klorofil a ve b, Karoten, Astaksantin, Fitosiyanin, Ksanthofil, Fitoeritrosin'dir. Bu pigmentler gıdalarda, eczacılıkta, tekstilde ve kozmetik sanayinde sıklıkla kullanılmaktadırlar (Brennan et al 2010, Christenson et al 2011, Elcik ark 2017, Gökpınar ark 2013, Kiepper 2013, Richmond 2004, Li et al 2011).

Mikroalg Üretim Sistemleri

Mikroalg Üretiminde Etkili Olan Faktörler

Mikroalgler yaşadıkları çevre ile sıkı bir etkileşim halindedir. Işık, sıcaklık, besinler ve pH, mikroalgleri etkileyen en önemli parametreler arasında sıralanabilir. En uygun üretim için bu parametrelerin optimum seviyelerde olması gerekmektedir. Bu parametreler sadece fotosentezi ve verimliliği etkilemezler, aynı zamanda hücresel aktiviteyi dolayısıyla hücresel kompozisyonu da etkilerler.

Işık

Işık, fotosentez sürecinde mikroalg gelişimindeki en önemli unsurdur. Genellikle, 400-700 nm dalga boyundaki ışığı kullanırlar. Absorbe edilen dalga boyu mikroalg türüne bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin, yeşil mikroalgler fotosentez sırasında klorofil (yeşil) pigmentleri ile en iyi 450-475 nm ve 630-675 nm aralığındaki ışık enerjisini absorbe etmektedir. Işık, mikroalglerin yaşamı için sınırlayıcı bir çevre koşuludur. Aşırı ışık şiddeti hücrelere zarar vererek mikroalg gelişimine, düşük ışık seviyeleri de büyümeye etki etmektedir. Büyüme hızı ve lipit üretimleri aydınlatma düzeyine göre değişebilmektedir. Işık şiddeti ve ışığın mikroalglere verimli ulaşması önemli faktörlerdir.

Sıcaklık

Sıcaklık, her canlı gibi mikroalgler için de önemli bir parametredir. Özellikle hücre morfolojisi ve fizyolojisini etkileyen yüksek sıcaklıklar metabolizma hızını artırırken düşük sıcaklıklar büyümeyi kısıtlamaktadır. Her mikroalg türü için optimum sıcaklık değişmekle beraber genel olarak endüstriyel açıdan dikkat çeken çoğu mikroalg türü için 20-30 ^{o}C' aralığındadır. Mikroalgler için sıcaklık; hücrenin lipit kompozisyonunu, besin maddesi-karbon alımını ve büyüme hızını etkileyen stres faktörüdür.

Besin Maddesi

Mikroalgler ~% 50 karbon,% 10 azot ve % 2 fosfordan oluştuklarından dolayı büyümeleri için en temel besinler karbon, azot ve fosfordur. Ayrıca potasyum, magnezyum, demir, çinko, kalsiyum, molibden, kobalt, selenyum ve nikel gibi mineraller eser miktarda gereken besinlerdendir. CO_2/O_2 dönüştürücüsü olan fotosentetik canlılar olduklarından karbondioksiti atmosferden veya sanayi tesislerinden alabilirler. Bacadan karbondioksitin azaltılması için mikroalglerin kullanımı araştırılmakta olup hem çevre kirliliğinin önlenmesi hem de biyodizel üretimi açısından yararlı olacaktır.

Azot tüm canlılarda olduğu gibi mikroalgin büyümesinde de en kritik besindir. Büyüme, çoğalma ve diğer fizyolojik aktiviteler için gereklidir. Mikroalg türleri, farklı azot kaynaklarını kullanmakla beraber azotu en çok 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 bir besin olup enerji transferi, hücresel sinyal iletimi, fotosentez ve solunum gibi süreçlerde önemli rol oynamaktadır. Fosforun lipit üretimi üzerinde de etkili olup düşük fosfor konsantrasyonlarında mikroalglerin lipit içeriklerinin ve lipit üretimlerinin arttığı yapılan çalışmalarda gösterilmiştir.

pH

Mikroalglerin besin alımı ve metabolik aktiviteleri için pH değeri önemlidir. Karbondioksit ve nitrat alımında pH yükselirken, amonyak alımında düşmektedir. Genel olarak bir çok mikroalg türü gelişimi için uygun pH değerleri 7-9 aralığındadır. Aşırı pH değerlerinde, hücresel işlemlerin bozulması sebebiyle, kültürün tümden çökme tehlikesinden ötürü kültür pH değerinin en uygun aralıkta tutulması büyük önem taşımaktadır.

Karıştırma

Karıştırma, mikroalg gelişiminde önemli rol oynar. Yüksek yoğunluklu mikroalg yetiştirilmesinde ışık iletimi azalır, çözünmüş karbondioksit tüketimi, çözünmüş oksijen birikimi ve kültür sıcaklığı artar. Karıştırma işlemi ile; mikroalg hücrelerinin çökmesi engellenir, ortamdaki her hücrenin ışık ve besin öğeleri ile buluşması sağlanır, ısı transferine olanak sağlayıp tabakalaşma engel-

lenir, kültür ile hava arasındaki gaz değişimi geliştirilir. Bu nedenle karıştırma, mikroalg yetiştirme sistemlerindeki üretkenlik üzerinde kilit bir değişkendir.

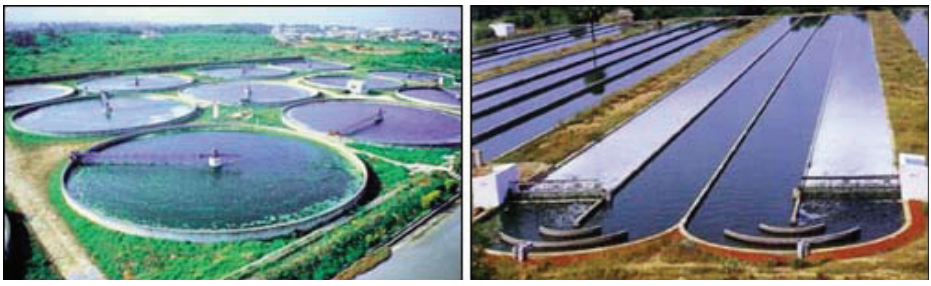
Mikroalg Üretim Sistemleri

Mikroalgler çeşitli amaçlar için yetiştirilmektedirler. Büyük ölçekli ticari sistemlerde az maliyetle yüksek verim elde edilmek istenmektedir. Işığın etkin kullanımı, sıcaklık, alg kültüründe hidrodinamik dengeyi sağlama, kültürün devamlılığı gibi etkenlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir

Mikroalg yetiştirilmesi genel olarak açık sistemler ve kapalı sistemler olarak yapılmaktadır. Açık sistemler, açık havuzlar olarak, kapalı sistemler ise fotobiyoreaktörler olarak isimlendirilebilmektedir.

- **Açık Sistemler (Açık Havuzlar)**

Açık havuzlar, en yaygın, en eski, en basit üretim yöntemidir ve büyük ölçekli biyokütle üretimi için en ucuz yöntemdir. Dairesel (circular), karıştırmasız (unmixed) ve yarış pisti (raceway) gibi çeşitli havuzlarda gerçekleştirilir. Düşük maliyetlidir fakat iklim koşulları açık havuz üzerinde önemli rol oynar. Ticari mikroalg biyokütlesinin % 98 ‘inden fazlasının üretimi açık havuzlarda gerçekleşmektedir. Açık sistemlerde, mikroalglerin doğal yaşamlarına benzer bir süreç söz konusudur. *Chlorella sp., Spiriluna platensis, Hematococcus sp.* ve *D. salina* yarış pisti tipi havuzlarda ticari olarak üretilen en yaygın türlerdir (Şekil 2.) (Amotz 2009).



Şekil 2. Japonya Dairesel Karıştırmalı Havuz ve Yarış Pisti Tipi Havuz Örnekleri

Açık sistemlerin çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük olması, atıksuların besin kaynağı olarak kullanılması ile üretim maliyetinin azaltılması, soğutma ihtiyacının olmaması, tarıma

uygun olmayan alanlar kullanılabilmesi en önemli avantajlarıdır. Açık havuz yetiştiriciliğinde sistem kontrolü zayıftır. İstenilen sonuçlara ulaşmak da bu sebepten zor olmaktadır. Sisteme olan hakimiyetin yetersizliği, istenilen miktarda mikroalgin üretilememesi ve istenmeyen türlerin çoğalması gibi sonuçlar doğurabilmektedir. Sıcaklık ve güneş ışığının günlük ve sezonsal değişimleri de mikroalg üretimini etkilemektedir. Işığın sınırlayıcı etkisinden dolayı derinlik 20-30 cm arasında olmalıdır.

- **Kapalı Sistemler (Fotobiyoreaktörler)**

Bu teknoloji temel olarak açık havuz sistemlerinin bazı dezavantajlarını gidermek için uygulanmıştır. Kapalı sistemlerde mikroalg yetiştirilmesinde kullanılan reaktörler geometrilerine göre; yatay tübüler, düz plaka, sarmal tübüler fotobiyoreaktörlerde gerçekleşir (Şekil 3.). Fotobiyoreaktörler mikroalg kültürleri için korumalı bir ortam sunmaktadır. Açık havuzlara göre daha iyi pH ve sıcaklık kontrolü, daha iyi karıştırma, daha az buharlaşma kayıpları, yüksek biyokütle üretimi, yüksek yüzey hacim oranı gibi avantajlara sahiptir. Bunların yanında aşırı çözünmüş oksijen seviyesinin fotosentezi engellemesi, aşırı ısınma, hücre hasarı, ışıklandırma için kullanılan malzemelerin bozunumu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır



Şekil 3. Yatay Tübüler, Sarmal Tübüler, Düz-Plaka Fotobiyoreaktörler

Tübüler Fotobiyoreaktörler; kontaminasyonu minimize etmesi, sürekli kültüre uygun olması, açık sistemlere göre daha küçük alana ihtiyaç duyulması, parametrelerin kontrolünün, sterilizasyonunun kolay olması, sonuçta yüksek hücre yoğunluklarına ve yüksek verimliliğe ulaşılması ile ticari ölçekli mikroalg üretimi için üretim çiftlikleri tarafından tercih edilmektedir.

Düz-Plaka Fotobiyoreaktörleri, kapalı sistemlerin en eskisi olup maliyeti ucuz, yapımı ve temini kolaydır. Işık kaynağının reaktöre temasını arttırmak için şeffaf malzemeden üretilir. Kısa ışık yolu olan ve aydınlatılan yüzey ile hacim oranının yüksek olduğu fotobiyoreaktörlerdir. Ancak yüzey alanlarının büyük olması sıcaklık ve CO_2 dağılım hızı kontrolünü zorlaştırarak mikroalglerin yüzeye yapışma eğilimini doğurur (Cai et al 2013, Christenson et al 2011, Elcik ark 2017, Gezici ark 2012, Richmond 2004).

Hasat

Hasat, yetiştirilen mikroalgal biyokütlenin sonraki kurutma, yağ ekstraksiyonu vb. işlemler için hazırlanmasıdır. İstenilen mikroalg konsantrasyonuna ulaşmak için bir veya iki hasat uygulaması gerçekleştirilebilir.

Hasat işleminin de bazı zorlukları vardır. Kültür ortamının yoğunluğunun düşük olması, mikroalglerin boyutunun küçük olması, büyük hacimli sulara uygulama gibi zorluklar üretim maliyetini arttırmaktadır.

Uygulanan hasat yöntemlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Kimyasal bazlı – Flokulasyon
- Elektrik bazlı – Elektroforez
- Biyolojik bazlı – Doğal Flokulasyon
- Mekanik bazlı – Santrifüj, Filtrasyon, Ağırlıkla Çökelme, DAF (Çözünmüş Hava Yüzdürme)
- Membran Filtrasyonu

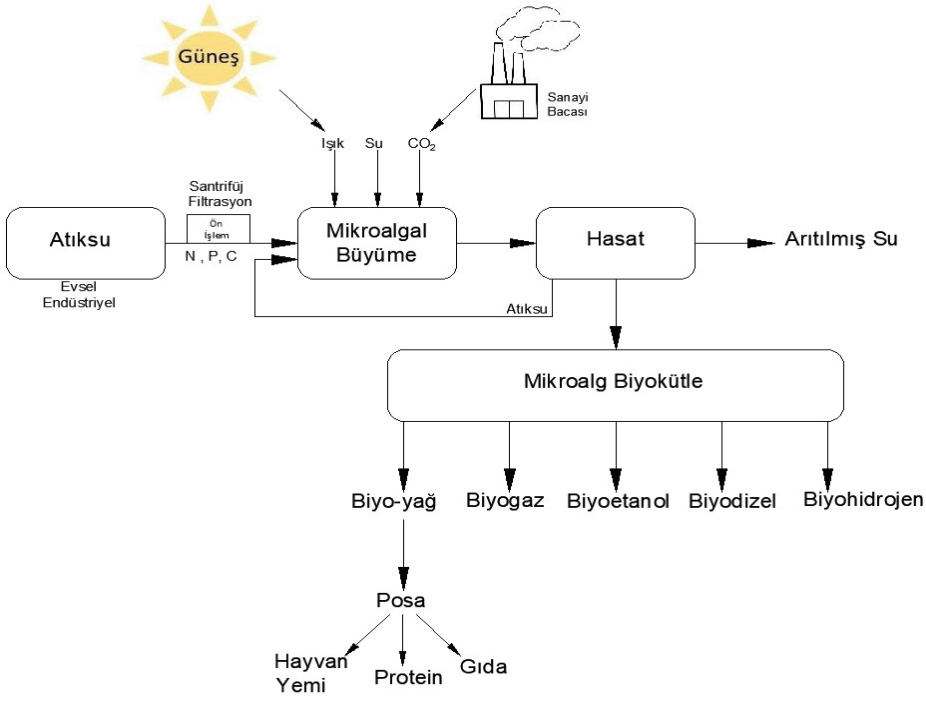
Mikroalg hasadı fiziksel, kimyasal, biyolojik yöntemler ile yapılmaktadır. Santrifüj, flokülasyon, yer çekimi ile çöktürme, hava flotasyonu ve elektroforez gibi katı-sıvı ayırımında kullanılan mevcut teknolojiler, düşük hücre yoğunluklu mikroalgal kültürün hasadı için hem maliyetli olmakta hem de enerji sarfiyatı fazla olmaktadır Düşük maliyetle yüksek ayırma oranları elde etmek için bu yöntemlerin iki ya da daha fazlasının bir arada kullanımı yaygındır. Doğru hasat yönteminin seçimi elde edilecek ürün özelliğine bağlıdır. Mikroalgal hasat prosesi, hasattan sonraki işlemler için zararlı olmamalı ve kontaminasyona sebep olmamalıdır.

Listelenen yöntemler arasında membran filtrasyonu, son yıllarda mikroalglerin hasat işleminde maliyet ve enerji sarfiyatını azaltabilme avantajlarından

dolayı umut verici görülmektedir (Chisti 2007, Elcik 2017, Faried et al 2017, Oswald 1988, Richmond 2004, Sen ark 2013).

Mikroalglerin Atıksu Arıtımında Kullanımı

Mikroalgler, insan ve hayvan beslenmesi, kozmetik, ilaç, CO_2 tutma, biyo-enerji üretimi, atık sudan besin eldesi gibi çeşitli uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Şekil 4).



Şekil 4. Mikroalgal Biyokütle Dönüşüm Sistemi (Atıksu Arıtımı, CO_2 Azaltımı ve Değerli Ürünler Eldesi)

Arıtma teknolojileri evsel ve endüstriyel atık sulardaki kirleticilerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler ya da ileri arıtma teknolojileri kullanılarak, genellikle kirleticilerin bulundukları ortamdan ayrılması ve çevreye daha az zararlı olacakları formlarda başka ortamlara aktarılmaları amacıyla uygulanan teknolojilerdir.

Organik maddece zengin atık sularda mikroalgler ile bakteriler arasında ortak bir ilişki vardır. Mikroalgler fotosentez yaparak oksijen ürettiklerinde aerobik bakterilerin oksidasyonunu desteklemiş olurlar. Böylece oksidasyon sonucu açığa çıkan karbondioksit ve nütrientler, mikroalgler tarafından büyüme ve biyokütle üretimi için kullanılırken aynı zamanda ilave bir atıksu arıtımı da sağlanmış olur. Buna ek olarak mikroalglerin Ni, Cu, Co, Zn, Cd vs. gibi ağır metalleri biyosorpsiyon işlemi ile hücre yüzeylerinde adsorbe etme kapasiteleri de vardır. Bu sayede mikroalgler atık su arıtımına ve metal giderimine önemli ölçüde katkıda bulunurlar.

Mikroalg hücrelerinin, inorganik maddeleri kullanarak yaşamlarını sürdürmesi esası ile atıksu arıtımında kullanılabilmeleri, ilk kullanım alanlarından biridir.

- Karmaşık ve pahalı kimyasal sistemlerin kullanıldığı geleneksel atıksu arıtma sistemlerine eşdeğer veya daha fazla arıtma etkinliğinin elde edilmesi,
- Daha az sermaye ve bakım masrafı gerektirmesi,
- Oluşan mikroalgal kütleden enerji ve değerli ürün kazanımı,
- Arıtılmış suyun sulama suyu olarak kullanılabilmesi

Mikroalgal atık su arıtma sistemlerini kentsel ve endüstriyel atıksu arıtımı için önemli bir alternatif haline getirmektedir (Abdel-Raouf et al 2012, Cai et al 2013, Kiepper 2013, Richmond 2004).

SONUÇ

Mikroalgler; atık su arıtımında; koliform inhibisyonu, KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) ve BOİ (biyolojik oksijenin ihtiyacı) giderimi, N ve / veya P giderimi ve ayrıca ağır metaller uzaklaştırılması gibi amaçlar için kullanılabilirler. Bununla birlikte mikroalgler atık suları arıtırken aynı zamanda bünyesinde önemli pigmentler üretirler bunlardan başlıcaları Klorofil a, b ve c, β-Karoten, Astaksantin, Fikosiyanın, Ksantofil, Fikoeritrosin'dir. Bu pigmentler gıdalarda, eczacılıkta, tekstilde ve kozmetik sanayinde sıklıkla kullanılmaktadır. Biyoyakıt, biyogübre ve hayvan yemi olarak geri kazanılabilmektedir. CO_2 tutarak "sıfır karbon" a büyük katkısı vardır. Biyodizel üretimi için hammadde kaynağı olarak mikroalglerden yararlanma konusunda çalışmalar özellikle Avrupa ülke-

lerinde artmaktadır. Yağ içeriği ve büyüme hızı yüksek mikroalg türlerinin belirlenerek arıtmada kullanılması tamamen yenilikçi bir çevre teknolojisi olacaktır.

Günümüzde mikroalglerle kentsel ve endüstriyel atıksu arıtımı için önemli çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle ekmek mayası (Oktor 2018), gri su (Wurochekke et al 2016), deri (Fontura et al 2017), peynir (Girard et al 2014), domuz atıkları (Zhu et al 2013) atıksularında farklı mikroalglerle yapılan bir çok çalışmada KOI, BOI, TN, TP ve spesifik kirleticilerin (Zhou et al 2014) gideriminde yüksek verimler elde edilmiştir. Sıcak çöl iklim kuşağında bulunan Uzak doğu ülkelerinde, kimi mikroalg türleri ile tuzlu veya acı su gibi zirai bitkilerin yetişmesine uygun olmayan kaynaklar kullanılarak ticari mikroalgal biyokütle çalışmaları yapılmaktır (Amotz 2009).

Biyodizel üretimi için mikroalg kütle yetiştiriciliği, gelecekte pazarlanabilir biyoyakıt olabilir. Bununla birlikte, aşılması gereken en büyük zorluk, düşük maliyetlerde yağlı mikroalglerin büyük ölçekli üretimi için yüksek verimlilik stratejilerinin geliştirilmesidir. Yakın gelecekte teknolojinin bu hızla devam etmesiyle mikroalg teknolojisi ürünleri evlerimizde olacaktır.

KAYNAKÇA

Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A.A., Ibraheem, I.B.M., (2012). Microalgae and wastewater treatment, Saudi Journal of Biological Sciences, 19, ss.257-275.

Abdelaziz, A.E.M., Leite, G.B., Belhaj, M.A., Hallenbeck, P.C., (2014). Screening microalgae native to Quebec for wastewater treatment and biodiesel production, Bioresource Technology 157, ss.140–148.

Amotz, A.B., (2009). Bio-fuel and CO2 Capture, Seambiotic, Israel.

Brennan, L., Owende, P., (2010). Biofuels from microalgae — A review of technologies for production, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, ss.557–577.

Cai, T., Park, S.Y., Li, Y., (2013). Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae:Status and prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews 19, ss.360–369.

Chisti, Y., (2007). Biodisel from microalgae, Biotechnology Advances, 25, ss.294-306.

Christenson, L., Sims, R., (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts, Biotechnology Advances 29, ss.686–702.

Elcik, H., Çakmakcı, M., (2017). Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32:3, ss.795-820.

Faried, M., Samer, M., Abdelsalam, E., Yousef, R.S., Atilla, Y.A., Ali, A.S., (2017). Biodiesel production from microalgae: Processes, technologies and recent advancements, Renewable and Sustainable Energy Rewiews 79, ss. 893-913.

Fontoura, J.T., Rolim, G.S., Farenzena, M., Gutterres, M., (2017). Influence of light intensity and tannery wastewater concentration on biomass production and nutrient removal by microalgae Scenedesmus sp., Process Safety and Environmental Protection, 111, ss.355-362.

Gezici, M., Eliçin, K., Gürhan, R., (2012). Biyoyakıt Amaçlı Mikroalg Üretimi İçin Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi, Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 8(2): ss.223-231.

Girard, J.M., Roy, M.L., Hafsa, M.B., Gagnon, J., Faucheux, N., Heitz, M., Tremblay, R., Deschênes, J.S., (2014). Mixotrophic cultivation of green microalgae Scenedesmus obliquus on cheese whey permeate for biodiesel production, 00112, ss.1-8.

Gökpınar, Ş., Işık, O., Göksan, T., Durmaz, Y., Uslu, L., Ak, B., Önalan, S.K., Akdoğan, P., (2013). Algal Biyoteknoloji Çalışmaları, Yunus Araştırma Bülteni, 4, ss.21-26.

Kiepper, B.H., (2013)., Microalgae Utilization in Wastewater Treatment, UGA Cooperative Extension Bulletin 1419, The University of Georgia, ss.1-6.

Klinthong, W., Yang, Y.H., Huang,C.H., Tan, C.S., (2015). A Review: Microalgae and Their Applications in CO_2 Capture and Renewable Energy, Aerosol and Air Quality Research, 15, ss.712–742.

Oktor, K., (2018). Treatment of Baker's Yeast Wastewater with Freshwater Microalga and Its Green Chemistry Evaluation, Hacettepe J. Biol. & Chem., 46 (3): ss.457-463.

Oswald, W.J., (1988). Micro-algae and waste-water treatment, in Micro-algal biotechnology, M.A. Borowitzka and L.J. Borowitzka, Editors. Cambridge University press: Cambridge, ss. 305–328.

Richmond, A., (2004). Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing Company, ISBN 0–632–05953–2, Oxford, UK, p.1-545.

Li, Y., Zhou, W., Hu, B., Min, M., Chen, P., Ruan, R.R., (2011). Integration of algae cultivation as biodisel production feedstock wlth municipal wastewater treatment: Strains screening and significance evalution of environmental factors, Bioresource Technology 102, ss. 10861-10867.

Sen, B., Alp, M.T., Sonmez, F., Kocer, M.A.T., Canpolat, Ö., (2013). Relationship of Algae to Water Pollution and Waste Water Treatment, Water Treatment, Chapter 14, Published by Intec Open Access, ss.335-354.

Tan, X.B., Lam, M.K., Uemura, Y., Lim, J.W., Wong, C.Y., Lee, K.T., (2018). Cultivation of microalgae for biodiesel production: A review on upstream and downstream processing, Chinese Journal of Chemical Engineering 26, ss.17-30.

Wurochekke, A.A., Mohammed, R.M.S., Al-Gheethi, A.A., Atiku, H., Amir, H.M., Matias-Peralta, H.M., (2016). Household greywater treatment methods using natural materials and their hybrid system, Journal of Water and Health, 14. 6, ss.914-928.

Zhou, G.J., Ying, G.G., Lio, S., Zhou, L.J.,Chen, Z.F., Peng, F.Q., (2014). Simultaneous removal of inorganic and organic compounds in wastewater by freshwater green microalgae, Environmental Science Processes & Impacts, 16, ss.2018-2027.

Zhu, L., Wang, Z., Shu, Q., Takala, J., Hiltunen, E., Feng, P., Yuan, Z., (2013). Nutrient removal and biodiesel production by integration of freshwater algae cultivation with piggery wastewater treatment, Water Research, 47, ss.4294-4302.