

Alglerin Atık Su Arıtımında Kullanılması

B. Şen¹ M.A.T. Koçer² M.T. Alp¹ F. Sönmez¹ V. Yıldırım³

1. Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Temel Bilimler Bölümü Elazığ
2. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Elazığ
3. Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Elazığ

Özet

Algler, atık sularda azot ve fosfor başta olmak üzere nutrientler, ağır metaller, pestisitler, organik ve inorganik toksinler, radyoaktif maddeler gibi sucul ekosistemler için tehlike arz eden temel kirleticileri hücre veya hücrelerinde biriktirerek çözünmüş fazdan giderme yetenekleri nedeniyle, atık su arıtımında yaygın olarak kullanılan organizmalardır. Biyolojik arıtma metotları arasında alglerin kullanıldığı sistemler, son 50 yılda ağırlık kazanmıştır. Karmaşık ve pahalı kimyasal işlemler ve sistemlerin kullanıldığı geleneksel atık su arıtma sistemlerine eşdeğer veya daha fazla arıtma etkinliğinin elde edilmesi, daha az sermaye ve bakım masrafı gerektirmesi ve alg kültürü yapılarak gelir elde edilebilmesi, algal atık su arıtma sistemlerini kentsel ve endüstriyel atık su arıtımı için önemli bir alternatif haline getirmektedir. Atık su havuzlarından hasatlanan alglerin fermantasyonundan elde edilen metanla enerji üretilebilmesi, arıtılmış suyun sulama suyu olarak kullanılabilmesi ve selenyum gibi sucul yaşam için son derece tehlikeli olan toksinlerin uzaklaştırılabilmesi, algal atık su arıtma sistemlerinin yakın gelecekte daha geniş kullanım alanı bulacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Algler, Atık su arıtma, Alg havuzu

The Usage Of Algae in Wastewater Treatment Systems

Summary

Algae have become significant organisms in wastewater systems with their ability to absorb nutrients, heavy metals, pesticides, organic and inorganic toxins and radioactive materials in great concentrations in their cells. Thus, biological wastewater treatment systems in which algae are used have become popular and common in last 50 years. In fact, algal wastewater systems have many advantages compare to the traditional wastewater treatment systems. Algal wastewater systems are established and run at lower costs. In addition, algal biomass cultivated on wastewaters can be viewed as a valuable substrate for the production of potentially useful biological compounds.

Keywords: Algae, Wastewater treatment, Algal pond

Giriş

Atık su arıtma metotları genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma olarak üç kategoriye ayrılır. Bu üç arıtma metodunun aralarındaki kombinasyonlarla ön arıtma, birincil arıtma ve ikincil arıtma gerçekleştirilir. Ön arıtma, kaba partiküllerin atık sudan ayrıldığı ve katı atık haline dönüştürüldüğü fiziksel arıtma metodudur. Ön arıtma işleminden çıkan atık suyun içerdiği süspanse ve koloidal katılar ile yağ-gres gibi yüzücü maddeler, kimyasal ve biyolojik işlemlerle çöktürülerek ve ayrıştırılarak birincil arıtma gerçekleştirilir. İkincil arıtmada ise, çözünmüş haldeki maddeler çeşitli kimyasal ve biyolojik işlemlerle tutulur, ayrıştırılır ve patojen organizma içeriği dezenfeksiyonla giderilirler (Droste, 1997). Tüm bu arıtma adımlarının kullanıldığı bir atık su arıtma tesisinin kuruluş maliyeti yanı sıra, işletme ve bakım masrafları ve enerji gereksinimi de yüksek olmaktadır (Oswald, 1995). Alglerin fotosentezle ortama sürekli olarak oksijen kazandırması sonucu doğal suların kendi kendine arıtması (self purification) işleminde önemli bir role sahip olduğu bilinmektedir (Şen ve Nacar, 1988). Bununla birlikte, alglerin su ve atık sularda azot ve fosfor başta olmak üzere nutrientler (Reddy, 1983; Craggs ve ark., 1996; Rose ve ark., 1998), ağır metaller (Guha ve ark., 2001; Kaewsarn and Yu, 2001; Tam ve ark., 2001), pestisitler (Weber ve ark., 1981), organik ve inorganik toksinler (Shashirekha ve ark., 1997), patojen organizmalar (Lloyd and Frederick, 2000) gibi

sucul ortam için tehlikeli olan kirleticileri hücre ve hücrelerinde yapı maddesi olarak kullanmaları veya biriktirmeleriyle giderdikleri, çok sayıda araştırmacı tarafından belirlenmiştir. Alglerin bu yeteneklerinden yararlanılarak atık su arıtımında kullanılmalarının başarılı sonuçlar sağladığı da, yapılan pek çok çalışmayla kanıtlanmıştır (Oswald, 1988a).

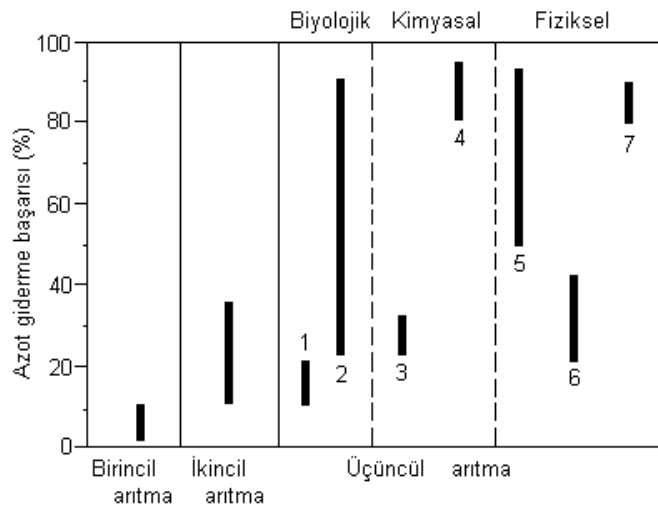
Atık Su Arıtımında Algleri Kullanmanın Avantajları

Organik maddece zengin sulara, algler ve bakteriler arasında simbiyotik bir ilişki vardır. Bu ilişkide algler, fotosentez süresince serbest oksijen üreterek organik maddenin aerobik bakteriyel oksidasyonunu desteklerken, oksidasyonla açığa çıkan karbondioksit ve nutrientler, algler tarafından yeni biyomas üretiminde kullanılmaktadır. Temel azot kaynağını amonyum, karbon kaynağını karbondioksit ve fosfor kaynağını ortofosfat kabul ederek Oswald (1988b), 1 g alg biyomasının sentezi süresince yaklaşık 1,5 g oksijenin serbest kaldığını belirlemiştir. Grobbelaar ve ark. (1990) ise bu miktarı 1,9 g O₂ olarak hesaplamıştır. Enlem, mevsim, atmosferin temizliği gibi faktörleri de dikkate alarak, Arceivala (1973) atık su arıtma havuzunun yüzeyine ulaşan ortalama güneş enerjisinin yaklaşık % 4-6'sının yeni alg biyoması üretiminde kullanılabileceğini ve 40°N enleminde (Ankara) 1 ha yüzey alanına sahip bir havuzda yaklaşık 80 kg/gün oksijen üretilebileceğini hesaplamıştır.

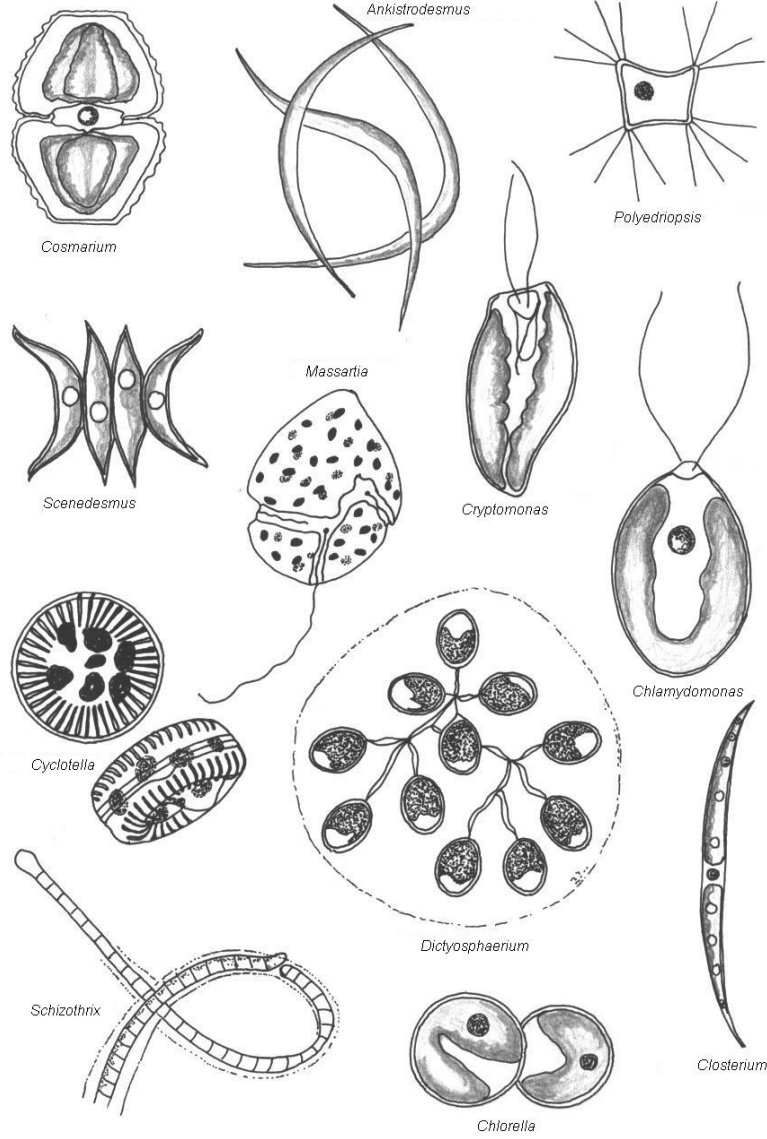
Alglerde azotun büyük bir kısmı kuru ağırlığın yaklaşık % 45-60'ını oluşturan proteinlerde bağlıdır ve fosfor nükleik asitlerin, fosfolipidlerin ve çeşitli ester fosfatların sentezi için gereklidir. Kendi gelişmeleri için azot ve fosforu kullanan algler, azot ve fosfor yükünü atık sudan birkaç saat ile birkaç gün içerisinde giderebilmektedir (Lovaie and De La Noüe, 1985). Diğer bir çok arıtma sistemine kıyasla, etkili bir nutrient arıtımı sağlayan algal atık su arıtma sistemleri ve diğer yaygın arıtma sistemlerinin organik azotu arıtma etkinlikleri Şekil 1'de, atık su arıtma havuzlarında yaygın olarak rastlanan bazı algler Şekil 2'de verilmiştir.

Fotosentez süresince havuz suyunda oksijen miktarının artması, pH'nın yükselmesine, buna bağlı olarak fosforun çökmesine, amonyağın giderilmesine ve hidrojen sülfür miktarının azalmasına neden olur. Alg havuzundaki yüksek pH değerlerinin bir çok patojen organizma için öldürücü olduğu da bilinmektedir (Laliberte ve ark., 1994).

Atık sulardaki ağır metal iyonları da, alg biyoması tarafından giderilebilir. Laboratuvar düzeyinde bir çalışmada Filip ve ark. (1979), atık su havuzundaki kadmiyum ve bakırın, alg biyoması tarafından %70-90 oranında giderildiğini belirtmiştir. Ağır metalleri sulardan uzaklaştırma etkinliği, alg türlerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin *Oscillatoria* sp. iyi bir krom gidericidir (Filip ve ark., 1979). *Chlorella vulgaris* asıl olarak kadmiyum, bakır ve çinko (Nakajima ve ark., 1981; Ting ve ark., 1989), *Chlamydomonas* sp. kurşun (Hassett ve ark., 1981), *Scenedesmus chlorelloides* molibden (Sakaguchi ve ark., 1981) giderme yeteneğine sahip bulunmuştur. Subletal düzeyde ağır metal içeren sulara alglerin metal kirliliğine adapte olacağı belirtilmekle beraber, alg hücrelerindeki ağır metal birikimi, besin zincirindeki diğer halkalar için potansiyel olarak toksiktir (Wikfors and Ukeles, 1982).



Şekil 1. Organik azotun arıtılmasında çeşitli atık su arıtma işlemlerinin etkinliği (Laliberte ve ark., 1994'ten düzenlenerek). 1-nitrifikasyon, 2-oksidasyon havuzu, 3-kimyasal koagülasyon, 4-klorinasyon, 5-amonyak giderimi, 6-filtrasyon, 7-ters ozmos



Şekil 2. Atık su arıtma havuzlerinin yaygın algleri (Şen ve Nacar, 1988).

Algal-Bakteriyel Havuz Sistemleri

Algal-bakteriyel havuzlar, önceden belirlenmiş bir sürede atık suyu tutmak ve arıtmak için tesis edilmiş su kütleleridir. Atık sular, havuz içerisinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerle ve mekanik olarak arıtmakla beraber, havalandırma pompaları gibi mekanik araçların kullanılmadığı ve arıtma işleminin tamamen doğal koşullara göre gerçekleştiği havuz sistemleri de yaygındır. Genellikle çözülmüş ve süspansiyon katı madde stabilizasyonunun tamamen aerobik koşullarda gerçekleştirildiği havuzlara “oksidasyon havuzu”, anaerobik veya fakültatif koşullarda gerçekleştirildiği havuzlara “atık stabilizasyon havuzları” denilir. Stabilizasyon havuzları, fakültatif, anaerobik, havalandırma ve olgunlaştırma havuzları olmak üzere dört tiptir (Rich, 1980).

Atık su arıtımında alglerden yararlanan en yaygın stabilizasyon havuzu tipi fakültatiftir. Fakültatif havuzlar, atık suyun bekletilme süresini kısaltmak, daha etkili bir arıtma gerçekleştirmek, alg kültürü yapmak gibi amaçlar için inşa edilmektedir. Diğer havuz tipleri ile birlikte kullanılarak yüksek oranlı alg havuzu ve ileri entegre havuz sistemleri de geliştirilmiştir.

Atık su arıtımı için kullanılan algal-bakteriyel havuz sistemlerinin prensibi, alglerin fotosentez ve bakterilerin organik maddeyi parçalama yeteneklerinden yararlanmaktır. Organik maddenin oksidasyonu, süspansiyon

maddelerin çökeltilmesi, ağır metallerin, nutrientlerin, toksinlerin, tuzların adsorpsiyonu ve çökeltilmesi ve *Escherichia coli* gibi zararlı mikroorganizmaların azaltılması amaçlarıyla kullanılan havuz sistemlerinde işlemler, bu iki önemli organizma popülasyonları arasındaki simbiyotik ilişkinin bir sonucudur (Şekil 3). Bakteriler, oksidasyonla organik karbonu, karbondioksit ve hidrolizle organik maddeleri amonyak, fosfat ve diğer nutrientlere dönüştürürler. Algler ise, fotosentezle bakteriyel oksidasyon için oksijen üretirler (NRC, 1979).

Fakültatif Havuzlar

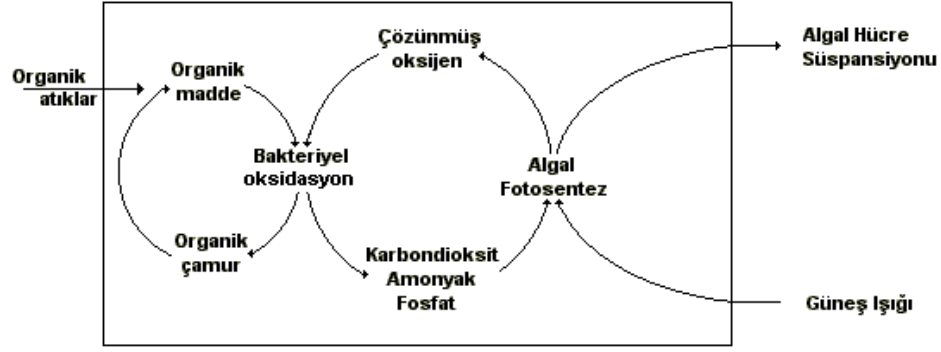
Aerobik ve anaerobik aktivite ile organik maddeyi parçalamak, atık suyu stabilize etmek, zararlı mikroorganizmaların konsantrasyonunu azaltmak için tasarlanan, iklim, sıcaklık, rüzgar, yüzey alanı gibi faktörlere bağlı olarak arıtmanın 5-30 günde gerçekleştirildiği havuz sistemleridir. Fakültatif havuzlar, genellikle 1-2,5 m derinliktedir (Tebbutt, 1998). Fakültatif havuzda üç farklı bölge oluşur. İlk iki bölge oksijenli iken, alt tabakada anaerobik koşullar mevcuttur. Üst bölgelerde oksijen kaynağı atmosfer ve algal fotosentez olup, üst bölgede atıklar aerobik, orta tabakada ise fakültatif bakteriler tarafından stabilize edilir. Buna karşılık, alt bölgede atıklar anaerobik bakteriler tarafından parçalanırlar (Mara ve ark., 1992). Havuzda oluşan zooplankton popülasyonu ise, fotosentez için karbondioksit üretimine katkıda bulunmakla beraber, alg ve bakteri popülasyonları üzerinden beslenerek, bu organizmaların aşırı çoğalmasını sınırlamaktadır. Fakültatif havuz sisteminde besin zinciri Şekil 4'te, havuzdaki temel reaksiyonlar ise Şekil 5'de verilmiştir.

Fakültatif stabilizasyon havuzlarının en önemli avantajı, düşük işletme ve bakım maliyetiyle uygun kalitede arıtılmış su üretmesidir. Fazla arazi gerektirmesi, aşırı atık girişiyle koku oluşabilmesi, azotun atmosfere kaybı ve fosfatların sedimantasyonu sonucu nutrientlerin tekrar kullanılabilirliğinin sınırlanması, buharlaşmanın yağıştan fazla olduğu mevsimlerde havuz suyunda tuz konsantrasyonunun artmasıyla sulama suyu olarak kullanımının sınırlanabilmesi ise en önemli dezavantajlarıdır (NRC, 1979). Sıcaklık atık suyun bekletme süresini etkilemekle beraber, çok farklı iklimsel bölgelerde, Almanya ve Fransa'da 3000'den ve ABD'de 7000'den fazla fakültatif havuzun atık su arıtımı için kullanılıyor olması, bu tip atık su arıtma sistemlerinin geniş bir kullanım sahasına sahip olduğunun bir göstergesidir (Mara ve ark., 1992).

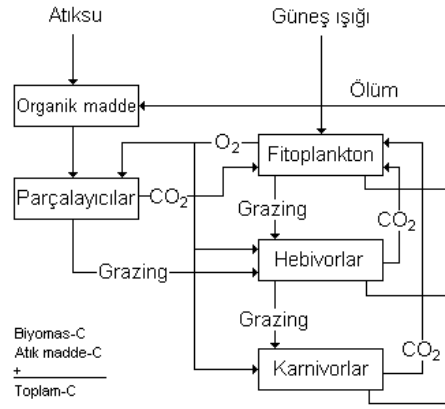
Yüksek Oranlı Algal Havuz Sistemleri

Yüksek oranlı algal havuz sistemleri ile kentsel atık su arıtımı, ilk kez Oswald ve Golouke (1963) tarafından önerilmiş ve daha sonraki yıllarda değişik araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Shelef ve ark., 1978). Yüksek oranlı algal havuzlar, sığ (genellikle 20-50 cm), mekanik karıştırıcılarla ve suyun bir yönde sürekli akışını sağlayan kanallarla donatılmıştır. Fotosentez ve mekanik karıştırıcılarla gerçekleştirilen havalandırma sonucu oksijen düzeyinin yüksek olması, atık suyun havuz içerisinde bekletilme süresinin kısılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sistemle düzenlenmiş bir arıtma tesisi, geleneksel arıtma metotlarına eşdeğer fonksiyonda, hatta daha kısa sürede, daha etkin bir arıtma gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, kuruluş maliyeti diğer arıtma sistemlerine oranla beş kat daha düşük ve enerji gereksinimi daha az olup, kullanılan arazi fakültatif havuzlar için kullanılanın yarısı kadardır (Esen and Purkas, 1991). Yüksek oranlı algal havuzlarda, birkaç gün içerisinde BOI'nin yaklaşık % 90'ı ile azot ve fosforun % 80'inden fazlası arıtılabilirken, geleneksel aktif çamur ve biyofiltrasyon metotlarıyla 5-8 saatte BOI'nin % 85-90'ı, azot ve fosforun daha az bir kısmı arıtılabilmektedir. Üstelik aktif çamur ve biyofiltrasyon gibi ikincil arıtma metotları, pahalı kimyasal maddeler ve karmaşık sistemler gerektirmektedir. Havuz suyu pH değerinin 9'un üzerine kadar çıkması, koliform bakterilerin ölmesini ve iyonik ağır metallerin ve tuzların çökmesini sağlamaktadır.

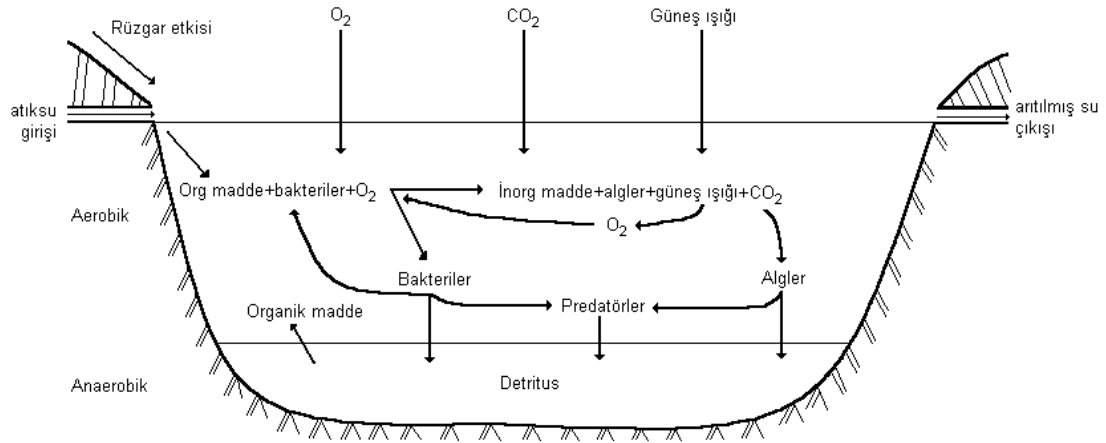
Yüksek oranlı algal havuzlarda en önemli problem, hasat masraflarıdır. Algleri hasat etmek için mekanik karıştırıcılar durdurulduğunda, alglerin yumaklaşarak tabana çökmesi arzu edilir. *Chlorella*, *Euglena*, *Chlamydomonas* ve *Oscillatoria* gibi çökelmeye karşı dirençli alglerin havuzda bulunması istenmez. İyi karışan havuzların hemen hepsinde, genellikle hızlı gelişen ve dikensi uzantıları nedeniyle zooplankton tarafından beslenmede tercih edilmeyen *Scenedesmus* veya *Micractenium* baskın organizmalardır (Oswald, 1988b).



Şekil 3. Bir oksidasyon havuzundaki temel işlemler (Oswald, 1988a).

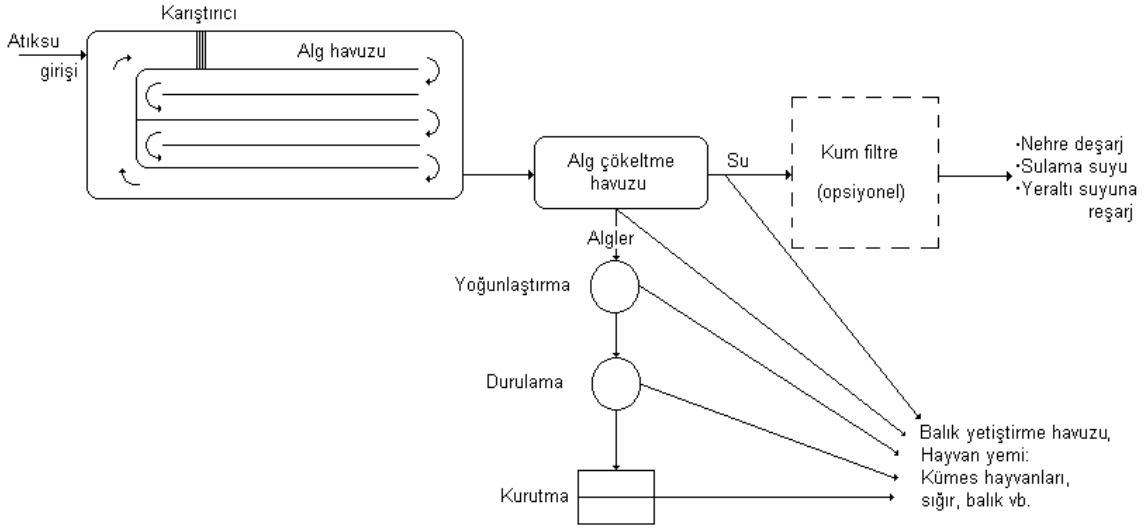


Şekil 4. Bir fakültatif arıtma havuzunda besin zinciri (Rich, 1980).



Şekil 5. Bir fakültatif oksidasyon havuzunda temel reaksiyonlar (Tebbutt, 1998).

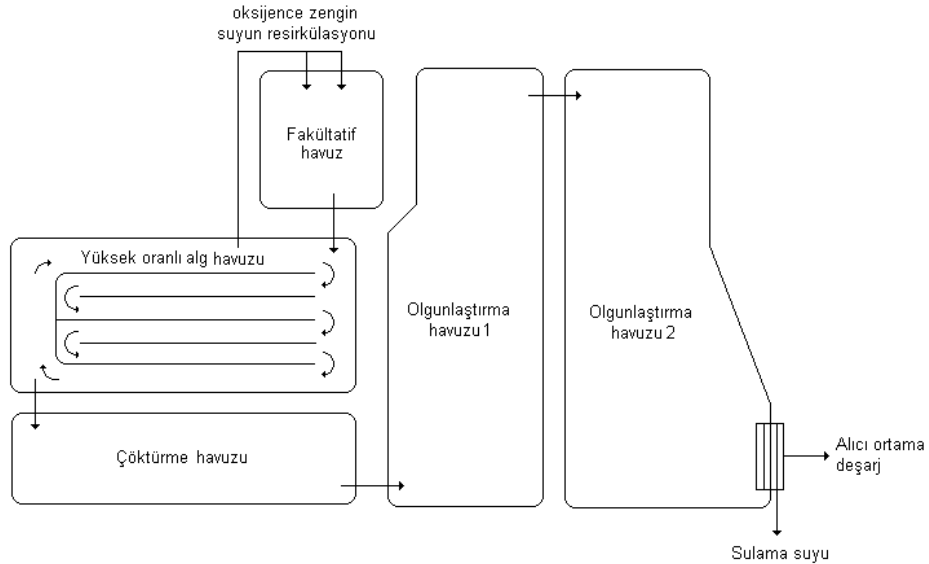
Yüksek oranlı algal havuzlarla uygulanan atık su arıtma sisteminde arıtma işleminin yanı sıra, endüstriyel amaçla alg kültürlerinin yapılmasını, alglerin yaş olarak veya kurutulduktan sonra yem rasyonlarına katılabilmesini, arıtılmış suyun sulamada ve uygun balık türlerinin yetiştiriciliğinde kullanılabilmesini (Şekil 6) sağlayacak düzenlemeler yapılmıştır (Shelef ve ark., 1978).



Şekil 6. Atık su arıtma ve algal protein üretimi için hızlandırılmış fotosentetik işlemler (Shelef ve ark., 1978).

İleri Entegre Havuz Sistemleri

Atık su arıtımı için tesis edilen ileri entegre havuzlar, anaerobik havuz, fakültatif havuz, yüksek oranlı algal havuz ve çöktürme havuzundan oluşan bir sistemdir. Ham atık su, havuzlara sırasıyla girer. Arıtma dizisindeki ilk havuz anaerobiktir ve atık su kanallar aracılığı ile yaklaşık 4-5 m derinlikteki havuzun orta bölgesine tabanından pompalanır. Anaerobik havuzda 5-10 günlük beklemeyle, organik madde anaerobik olarak ayrıştırıldıktan sonra atık su, daha sığ olan fakültatif havuza ve ardından yüksek oranlı algal havuza alınıp arıtılır. Fakültatif ve yüksek oranlı algal havuzda gelişen süspanse durumundaki algler, çöktürme havuzunda çöktürülür. Dört basamaklı ileri entegre havuz sisteminde atık su arıtımı ile, karmaşık ve pahalı işlemlerin uygulandığı ikincil arıtmaya eşdeğer bir arıtma elde edilmektedir (Oswald, 1991).



Şekil 7. Bir ileri entegre havuz sisteminin şeması (DOE, 1993).

ABD Enerji Müdürlüğü (DOE) tarafından yürütülen bir ileri entegre havuz projesinde ise, beş havuzdan oluşan bir sistem uygulanmıştır. Bu havuzların ilki, 4-5 m derinlikteki fakültatif havuzdur. Bunu çözülmüş organik

maddenin aerobik bakteriler tarafından parçalandığı yüksek oranlı algal havuz izler. Üçüncü havuz, gelişen alglerin sedimantasyonu için kullanılan bir çöktürme havuzudur. Çöktürme havuzundan çıkan arıtılmış su, iki ayrı olgunlaştırma havuzunda dinlendirildikten sonra alıcı ortama deşarj edilir veya sulama suyu olarak kullanılabilir kaliteye sahipse, tarımsal uygulamalarda kullanılır (Şekil 7).

DOE tarafından inşa edilen bu havuz sisteminin kuruluş sermayesi ve bakım masrafları, aynı fonksiyonu sağlayacak olan bir ikincil arıtma sistemine oranla çok düşüktür ve mekanik araçların kullanımı da en aza indirgenmiştir. Arıtma sisteminin diğer bir önemli avantajı, havuzda çok az miktarda kalıntı çamur birikmesidir. Yaklaşık 30 yıllık uygulama süresince atık su arıtma tesisinde henüz kalıntı uzaklaştırma işlemi yapılmamıştır. Bu sürede sistemin ilk bileşeni olan fakültatif havuzda, henüz 1 m'den az çamur birikmiştir (DOE, 1993).

Sonuç

Algler, atık sularda nutrientler, ağır metaller, pestisitler, organik ve inorganik toksinler, radyoaktif maddeler gibi doğal ortam için tehlikeli kirleticileri giderme yetenekleriyle, atık su arıtımında yaygın olarak kullanılan organizmalar arasında önemli bir yere sahiptir. Alglerin radyoaktif materyalleri vücutlarında toplama yeteneğinin anlaşılmasından sonra, atık suların biyolojik arıtımındaki önemleri daha da artmıştır. Fitoplankton içerisindeki radyoaktif fosfor konsantrasyonunun sudakinden 200.000 defa daha fazla olduğunun tespit edilmiş olması, alglerin bu yeteneğini açıkça ortaya koymaktadır.

Kentsel ve endüstriyel atık su arıtımı için algal-bakteriyel ilişkilerden yararlanılan sistemler, mekanik araçlar ve kimyasal maddelerin kullanıldığı ikincil arıtma sistemlerine eşdeğer bir arıtma gerçekleştirmeyle beraber, düşük maliyet ve işletme giderleri nedeniyle, dünyada en çok tercih edilen arıtma sistemlerinden birisidir. BOI, azot, fosfor ve patojenlerin giderilmesindeki etkinliği çeşitli çalışmalarla gösterilmiş olan bu sistemlerin, ağır metaller ve pestisitler gibi toksinlerin giderilmesinde de etkin olduğu kanıtlanmıştır. Algal atık su arıtma havuzlarında üretilen yoğun alg kültürlerinden elde edilen protein, karbonhidrat, vitamin gibi temel besin maddelerinin hayvan yemlerine veya gıda maddelerine katılarak, ürünlerin besin değerlerinin artırılması mümkündür. Gerçekten, algal atık su arıtma sistemlerinde gelişen alg biyomasından, β -karoten ve Ω -3 yağ asitlerinin üretilebilme olanakları, gelecekte pek çok biyoteknolojik ve endüstriyel araştırmanın konusu olacaktır.

Kaynaklar

- Arceivala, S.J., 1973. Simple waste treatment methods. Metu Eng. Fac. Pub. No 44, Ankara.
- Craggs, R.J., Adey, W.H., Jenson K.R., St. John, M.S., Green, F.B. and Oswald, W.J., 1996. Phosphorus removal from wastewater using an algal turf scrubber, *Water Science and Technology* 33(7):191-98.
- DOE, 1993. Alternative Wastewater Treatment: Advanced Integrated Pond Systems, US Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Technical Information Program Document No: DOE/CH100093-246, Washington. 8p.
- Droste, R.L., 1997. Theory and Practice of water and wastewater treatment, John Wiley and Sons, New York.
- Esen, I. and Puskas, K., 1991. Algae removal by sand filtration and reuse of filter material, *Waste Management*, 11:59-65.
- Filip, D.S., Peters, T., Adams, V.D. and Middlebrooks, E.J., 1979. Residual heavy metal removal by an algae-intermittent sand filtration system. *Water Res.* 13:305-313.
- Grobbelaar, J.U., Soeder, D.J. and Stengel, E., 1990. Modelling algal production in large outdoor cultures and waste treatment systems, *Biomass*, 21:297-314.
- Guha, H., Jayachandran, K. and Mauresse, F., 2001. Kinetics of chromium (VI) reduction by atype strain *Shewanella alga* under different growth conditions, *Environmental Pollution*, 115(2):209-18.
- Hassett, J.M., Jennett, J.C. and Smith, J.E., 1981. Microplate technique for determining accumulation of metals by algae. *Appli. Environ. Microbiol.* 41:1097-106.
- Kaewsarn, P. and Yu, Q., 2001. Cadmium (II) removal from aqueous solutions by pretreated biomass of marine alga *Padina* sp., *Environmental Pollution*, 112(2):209-13.
- Laliberte, G., Proulx, D., De Pauw, N. and De La Noüe, J., 1994. Algal Technology in Wastewater Treatment. In: H. Kausch and W. Lampert (eds.), *Advances in Limnology*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 283-382.
- Lloyd, B.J. and Frederick, G.L., 2000. Parasite removal by waste stabilisation pond systems and the relationship between concentrations in sewage and prevalence in the community, *Water Science and Technology*, 42(10):375-86.
- Lovaie, A. and De La Noüe, J., 1985. Hyperconcentrated cultures of *Scenedesmus obliquus*: A new approach for wastewater biological tertiary treatment, *Water Res.*, 19:1437-42.
- Mara, D.D., Mills, S.W., Person, H.W. and Alabaster, G.P., 1992. Waste stabilization ponds: A viable alternatives for small community treatment systems, *Journal of Water and Environmental Management*, 6(1):72-78.
- Nakajima, A., Horikoshi, T., and Sakaguchi, T., 1981. Studies on the accumulation heavy metal elements in biological system XVII. Selective accumulation of heavy metal ions by *Chlorella vulgaris*. *Eur. J. App. Microbiol. Biotechnol.* 12:76-83.
- NRC, 1979. Microbial Processes: Promising Technologies for Developing Countries. National Academy Press, Washington D.C. 198p.

- Oswald, W.J., 1988a. The role of microalgae in liquid waste treatment and reclamation. In: C.A. Lembi and J.R. Waalnd (eds). *Algae and Human Affairs*, Cambridge University Press, 403-31.
- Oswald, W.J., 1988b. Microalgae and Wastewater Treatment. In: *Microalgal Biotechnology*, M.A. Borowitzka and L.J. Borowitzka (eds). Cambridge University Press, New York, pp.357-94.
- Oswald, W.J., 1991. Introduction to Advanced Integrated Ponding Systems. *Water Science and Technology*, 24(5):1-7.
- Oswald, W.J., 1995. Ponds in twenty first century. *Water Science and Technology*, 31(12):1-8.
- Oswald, W.J. and Golueke, C.G. (1963). The high rate pond in waste disposal. *Devel. Indust. Microb.* 4:112-19.
- Reddy, K.R. (1983). Fate of Nitrogen and Phosphorus in a Wastewater Retention Reservoir Containing Aquatic Macrophytes. *Journal of Environmental Quality*, 12(1):137-41.
- Rich, L.G., 1980. *Low Maintenance Mechanically Simple Wastewater Treatment Systems*. McGraw-Hill, New York, 211.
- Rose, P.D., Boshoff, G.A., van Hille, R.P., Wallace, L.C., Dunn, K.M., Duncan, J.R., 1998. An integrated algal sulphate reducing high rate ponding process for the treatment of acid mine drainage wastewater, *Biodeg.* 9:247-57.
- Sakaguchi, T., Nakajima A. and Horikoshi, T., 1981. Studies on the accumulation heavy metal elements in biological system XVIII. Accumilation of molybdenum by green microalgae. *Eur. J. App. Microbiol. Biotechnol.* 12:84-89.
- Shashirekha, S., Uma, L. and Subramanian, G., 1997. Phenol degradation by marine cyanobacterium *Phormodium valderianum*, *J. Indust. Microbiol. Biotechnol.* 19(2):130-33.
- Shelef, G., Moraine, R. and Oron, G., 1978. Photosynthetic Biomass Production from Sewage. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 11:3-14.
- Şen, B. ve Nacar, V., 1988. Su Kirliliği ve Algler. *Fırat Havzası I. Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı*. 405-21.
- Tam, N.F.Y., Wong, J.P.K. and Wong, Y.S., 2001. Repeated use of two *Chlorella* species, *C. vulgaris* and *WW1* for cyclic nichel biosorption. *Environ. Pol.* 114(1):85-92.
- Ting, Y.P., Lawson, E. and Prince, I.G., 1989. Uptake of cadmium and zinc by alga *Chlorella vulgaris*: Part I. Individual ion species. *Biotechnol. Bioeng.* 34:990-99.
- Tebbutt, T.H.Y., 1998. *Principles of Water Quality Control*. 5th ed, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Weber, K., Probes, B., Lyvansky, K., Kredl, F. and Beryl, I., 1981. Removal of biogenic elements, polychlorinated diphenyls and heavy metals during the biogical final treatment of wastewaters. *Acta Microbiol. Pol.* 30:255-58.
- Wikfors, G.H. and Ukeles, R., 1982. Growth and adaptation of estaurine unicellular algae in media with excess copper, cadmium and zink and effect of metal contaminated algal food on *Crassostrea virginica* larvae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 7:191-206.