



Removal of nitrogen and phosphate by using *Chlorella vulgaris* on synthetic and organic materials waste water

Lida SHELKNANLOYMILAN¹, Tahir ATICI^{*2}, Olcay OBAL²

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Tandoğan, Ankara, Turkey

² Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Biyoloji Eğitimi Bölümü, Teknikokullar, Ankara, Turkey.

Abstract

Chlorella vulgaris, the expulsion of several compounds with heavy metals, wastewater is used for purification. The purpose of this study, the biological treatment capacity of microalgae in the water, and develop, especially with the removal of wastewater ammonium and phosphorus ions to determine whether there is a relationship between the growth-promoting. In photobioreactors was observed removal nitrogen (NO₃-N) and phosphate (PO₄-P) with the help of *C.vulgaris* for a period of thirty days. Nitrogen and phosphate, both synthetic and natural sewage wastewater, but spent a significant amount of Kl *a* concentration increased by the amount of synthetic natural sewage wastewater has decreased the starting.

Key words: *C. vulgaris*, Elimination of nitrogen, Phosphate removal, Biological purification

----- * -----

Sentetik ve Organik maddelerle kirlenmiş Atık Sulardan *Chlorella vulgaris* yardımıyla azot ve fosfatın uzaklaştırılması

Özet

Chlorella vulgaris çeşitli bileşiklerle birlikte ağır metallerin atılmasında, atıksu arıtımı için kullanılır. Bu çalışmanın amacı, mikroalglerin suda biyolojik arıtma kapasitesini geliştirmesi; özellikle atıksudan amonyum ve fosfor iyonlarını kaldırması ile büyüme destekleyici arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemektir. Otuz gün süre ile fotobiyoreaktörde azot (NO₃-N) ve fosfatın (PO₄-P) *C.vulgaris* yardımıyla giderimi gözlenmiştir. Azot ve fosfat hem sentetik atıksuda hem doğal atıksuda önemli miktarda harcanmış ancak Kl *a* konsantrasyonu sentetik atıksuda başlangıç miktarına göre artarken doğal atıksuda azalmıştır.

Anahtar kelimeler: *C. vulgaris*, azot giderimi, fosfat giderimi, biyolojik arıtım

1. Giriş

Atık sulardan azot ve fosforun uzaklaştırılması son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Hem azot hem de fosfor alıcı su ortamının kalitesini etkiledikleri için deşarjlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Azotun yanı sıra fosfor da su ortamlarında aşırı alg üremesine yol açarak ötrofikasyona neden olmakta ve aşırı organik madde birikimi ortamın anaerobikleşmesiyle sonuçlanmaktadır.

Yeryüzünün herhangi bir noktasında bir yıl içinde hidrolojik döngü tarafından sağlanan su, o bölgenin iklimsel özelliklerine bağlı olarak sınırlı bir miktardadır. Artan su ihtiyacı nedeniyle hızlanan su kirliliği, bu sınırlamayı etkilemektedir. Bunun sonucunda, insan yaşamı için vazgeçilmez bir unsur olan suyun, kullanıma uygun olan kısmı giderek azalmaktadır. Bu olumsuz gelişmenin önlenmesi için, su kirliliğinin ciddi bir biçimde kontrol edilmesi ve kullanım sonucunda niteliği bozulan suların arıtılarak hidrolojik döngüye iade edilmesi gerekmektedir.

Bu nedenlerden dolayı, birçok çalışma atık sudan azot ve fosfor giderimi üzerine odaklanmış, aerobik ve anaerobik olan biyolojik süreçlere dayanmaktadır. Mikroalgler fosfat ve azot gideriminde çok iyi bir potansiyele

* Corresponding author / Haberleşmeden sorumlu yazar: Tel.: +903122028208; Fax.: +903122228483; E-mail: tatici@gmail.com

sahiptirler. Başlıca teknikler atık sulardan hücre içine alımı, alg yardımıyla besin giderimi ve amonyağın yüksek pH ile ayrılmasıdır (Metcalf, 1991). Uygulanan bu sistemlerden biri de atık su arıtım sistemleridir. Her geçen gün yeni parametrelerin ve elementlerin keşfedilmesiyle daha ekonomik ve verimi yüksek işlemlerden oluşan yöntemler ortaya çıkarılmaktadır (Umble ve Kechum, 1997).

Atık sular; evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular, yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda gelen sulardır. Su üzerinde kötü koşullara neden olan ve suyun kullanılmasına olumsuz yönde etki eden her şey kirlenme olarak tanımlanmaktadır. Tarımda kullanılan yapay gübrelere ve bazı sanayi atıklarından gelen atık sulardaki nitrat bazı koşullar altında yosunların yetişmesini teşvik etmekte, bu da suyun kirlenmesine neden olmaktadır (Arceivala, 1998).

Evsel atık sular, daha yavaş tesirli, miktar olarak çok, endüstriyel atıklar ise miktar olarak daha az, fakat etkileme yönünden daha tesirlidir. Endüstriyel atık sular kullanım ve üretim etkilerine şekillerine göre çeşitli zararlı maddeler içermektedir. Aynı mamul ve proses farklılıklarından ötürü endüstriyel atık sular değişiklik ve farklı derecede kirlilik yükleri içerebilmektedir. Benzer sanayi kuruluşları ve proseslerinde birçok müşterek noktalar olduğu gibi, çeşitli sanayilerde tasfiye için tatbik edilebilecek birim teçhizat üniteleri mevcuttur. Kirlenmeye neden olan maddeler katı veya sıvı olabilmektedir. Katı kirlenme maddeleri kum, çakıl, lağım maddeleri, bitkiler, hayvan atıkları, yağlar v.b. dir. Sıvı kirlenme maddeleri ise lağım ve endüstriyel atıkların akarsulara karışmasıyla oluşmaktadır. İnsanların üretim ve tüketim faaliyetleri sonucunda doğaya verilen ve su kirliliğine neden olan unsurlar çok çeşitlidir (Ayers ve Westcot, 1976). Bunlar:

- Evsel: Kimyasallar, deterjanlar, diğer temizleyiciler, insektisitler, ağır metaller, su şebekesinden ve kullanımdan gelen başta kurşun olmak üzere diğer metaller evsel atık sularda bulunan kirliliklerdir.
- Kentsel: Kanalizasyon sularının arıtılmadan alıcı ortama verilmesi, çöp alanlarından yüzey ve yer altı sularına sızıntılar, kesimevi ve hastane gibi tesislerin atıklarının sucul ortama karışması kentsel kullanım sonucu suyun kirlenmesinin nedenleridir.
- Tarımsal: Anorganik ve organik tarım ilaçları (DDT gibi pestisitler), suni gübreleme sonucu yer altı sularına sızıntılar suyun tarımsal alanda kirlenmesinde rolü olan kirlilik kaynaklarıdır.
- Endüstriyel: Birçok endüstriyel işletmenin üretimi sırasında açığa çıkan ve atık sistemi içerisinde doğaya verilen kimyasallar ve ayrıca petrol yayılması da endüstriyel kirlilik kaynaklarıdır.

Biyolojik Arıtma: Biyolojik arıtmanın amacı, atık su içerisindeki organik maddenin mikroorganizmalar tarafından besin maddesi olarak kullanılıp parçalanması yolu ile organik madde miktarının azaltılmasıdır. Evsel atık sular için başlıca hedef ise, genellikle azot ve fosfor gibi besin maddeleri ve organik madde içeriğini azaltmaktır. Birçok arıtma tesislerinde toksik olabilen az miktardaki organik bileşiklerin uzaklaştırılması da önemli bir hedefdir. Endüstriyel atık sular için hedef, organik ve inorganik bileşiklerin uzaklaştırılması veya konsantrasyonun azaltılmasıdır. Bu bileşiklerin birçoğunun mikroorganizmalar için toksik olması nedeniyle önceden bir arıtmaya gerek duyulmaktadır. Biyolojik arıtmada çeşitli mikroorganizmalardan yararlanılmaktadır. Funguslar, protozoa, metazoa (rotiferler) ve algler gibi mikroorganizmaların yanı sıra bacteria ve archea gruplarına ait organizmalar da biyolojik arıtmada kullanılmaktadırlar (Chojnacka, 2007). En yaygın kullanım alanı bulan biyolojik arıtma süreçleri, aktif çamur, damlatmalı filtreler ve biyodisklerdir. Doğal sular üzerinde sucul makrofitler yardımıyla da ağır metal giderimi ile ilgili çalışmalarda yapılmıştır (Yücel ve diğ., 2010).

Evsel atık sular, biyolojik olarak parçalanabilen bileşenler ihtiva ettiği için genellikle biyolojik aktiviteden faydalanılarak arıtılmaktadır. Biyolojik olarak parçalanabilen bileşenler, kullanılan prosesle bir kısmı gaz haline dönüştürülerek atmosfere verilir, bir kısmı da biyokütle olarak çöktürülür ve sistemden çamur şeklinde uzaklaştırılmaktadır. Bu işlem, esas olarak fiziksel ve kimyasal arıtma işlemleriyle sudan ayrılmayan, ayrışabilen organik maddelerin mikroorganizma faaliyetleri ile giderilmesidir. Burada çökemeyecek kadar küçük olan askıdaki madde veya çözünmüş haldeki kirlenici unsurlar (organik maddeler, azot ve fosfor) ya okside edilerek veya biyokütle haline dönüştürülerek giderilir. Bu işlemde esas görevi yapan kontrol edilmiş bir ortamda oluşturulmuş mikroorganizmalardır (bakteriler). Biyolojik arıtma ile %90'ın üzerinde 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) giderimi elde edilir (Uygur ve diğ., 2003).

Azot ve fosfor evsel, tarımsal ve endüstriyel kaynaklı olabilmektedir. Organik ve inorganik azotlu ve fosforlu maddeler alıcı ortamlarda aşırı azot ve fosfor kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle azot ve fosforun, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve biyolojik fosfor giderimi gibi ileri arıtma yöntemleriyle arıtılarak alıcı ortama verilmesi gerekmektedir.

Azot giderimi: Biyolojik olarak azotun uzaklaştırılması için iki temel mekanizma vardır: Asimilasyon ve nitrifikasyon-denitrifikasyon. Biyolojik olarak arıtılmış çıkış sularında azotun %90', amonyak formunda bulunmaktadır. Azotun bir besin maddesi olması sebebiyle, atıksu arıtma prosesinde bulunan mikroorganizmalar amonyak azotunu asimile ederek hücre kütlelerine dönüştürmektedir. Bu amonyak azotunun bir kısmı, hücrelerin ölüm ve parçalanmasıyla atıksuya geri dönmektedir. Nitrifikasyon-denitrifikasyonda azotun uzaklaştırılması iki dönüşüm basamağıyla gerçekleştirilmektedir. Birinci basamak, nitrifikasyon ile amonyağın nitrate indirgenmesidir. Fakat bu basamakta azot sadece değişikliğe uğramış ve henüz uzaklaştırılmamıştır. İkinci basamak olan denitrifikasyonda, nitrat gaz şeklinde

ürünlere çevrilerek uzaklaştırılmış olmaktadır. Nitrifikasyondan Nitrosomonas ve Nitrobacter ile diğer bazı genoslara ait bakteri türleri sorumludur.

Fosfor Giderimi: Atık sulardaki fosfor, deterjan yapımında kullanılan fosfattan gelmektedir ve ortofosfat, polifosfat ve organik bağlı fosforlar halinde bulunmaktadır. Polifosfatlar ve organik bağlı fosfatlar hidroliz reaksiyonları ile ortofosfatlara ve serbest fosfatlara parçalanarak mikroorganizmaların kullanabileceği forma dönüşür. Mikroorganizmalar fosforları hücre zarlarındaki fosfolipitlerin, nükleik asitlerin ve ATP'nin sentezinde kullanırlar. Böylelikle, atıksudaki fosfor uzaklaştırılmış olur. Biyolojik fosfor giderimi aerobik ve anaerobik olmak üzere iki safhada gerçekleşir.

Algler, suyun olduğu her yerde (deniz, tatlı su kaynakları (göl ve su birikintileri), nemli toprak ve hayvanların vücutlarında) yaşayan tek hücreli organizmalar ve basit çok hücreli canlılardır. Algler, temel olarak hücre yapısı, pigment bileşimi, depo besini ve kamçıların varlığı, sayısı ve yapısı bakımından farklılık gösterir. Alg büyümesi için en önemli inorganik besinler azot ve fosfordur, genel olarak sırasıyla nitrat veya amonyak ve fosfat olarak bulunurlar. Tek hücreli olarak, koloni olarak veya filamentler halinde bulunabilirler (John ve diğ., 2003).

Biyosferde her yere yayılmışlardır ve çok çeşitli koşullarda yetişebilirler. Mikroalgler tatlısularından, çok tuzlu ortama kadar birçok sucul ortamda kültürlenebilirler, Mercan kayalıklarının temel bileşeni olarak bilinirler. Bu tür ekolojik gereklilikler, ürettikleri metabolik ürünlerin tanımlanmasında önemli rol oynar. Yapılan çalışmalarda tek hücreli tatlısu mikroalg *Chlorella vulgaris*'in biyosorpsiyon ile atıksudan azot ve fosfor gideriminde yüksek bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir (Corelli, 1999; Aksu 2002; Dönmez ve diğ., 1999).

Chlorella vulgaris Beijerinck çoğunlukla tatlı sulara, ağaç kabuklarında ve taşlar üzerinde yeşil örtüler oluştururlar. Mantarlarla birleşerek likenleri meydana getirirler. *Chlorella vulgaris* hücrelerinin biyokimyasal yapısı bir insan hücresinin ihtiyaç duyduğu besinlerle oldukça örtüşen besinlerden oluşur ki bu da hücrenin kendi yapısını koruma özelliğini açıklar. Yeşil besinlerin tümü içinde, *Chlorella* en yüksek nükleik asit miktarına sahiptir. *Chlorella vulgaris* başta azot ve fosfor bileşikler olmak üzere ağır metallerin atılmasında, atıksu arıtma için kullanılır.

Şimdiye kadar yapılan bu tip çalışmalarda; bir evsel atık su arıtma tesisinin ikincil arıtımından çıkan su alg yetiştirme besiyeri olarak kullanılmış ve *Botryococcus braunii*'nin bu sulara azot gideriminde etkili olduğu ve büyümesini sürdürdüğü açıklanmıştır (Sawayama ve ark, 1992). Yüksek verimli alg kültürü elde etmek için en uygun azot-fosfor oranı araştırılması yapılmış ve baskın olan türlerin *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Monoraphidium* olduğu görülmüştür (Mostert ve ark, 1987). Patil (1990), *Ankistrodesmus falcatus* (Corda) Ralfs ve *Scenedesmus quadricauda* (Breb) Environ, alglerinin atık su arıtımındaki rollerini araştırmıştır. Sonuçlara göre sekiz gün sürede *Scenedesmus quadricauda* % 85 ile % 95 fosfat giderimi, % 70 ila % 80 civarında NH₃-N giderimi, % 70 civarında BOI giderimi sağlamıştır. *A. falcatus* ise % 80 fosfat giderimi, % 60 civarında NH₃-N giderimi, % 70 civarında BOI giderimi sağlamıştır.

Voltolina ve ark (1998) yaptıkları çalışmada *Scenedesmus sp.*'nin sentetik atık suda üreterek atık sudaki NH₄-N'ün % 79,4 oranında giderimini başarmışlardır. Bu çalışmada sıcaklığa ve hidrolik bekleme süresine bağlı olarak alglerin sentetik atık su içerisinde kontrollü bir ortamda gerçekleştirdiği büyüme potansiyeli ortaya çıkarılmıştır.

Azot ve fosfat elementinden hangisinin sınırlayıcı faktör olduğu ile ilgili karar aşamasında ise bilinmesi gereken temel faktör ötrofikasyona neden olan fitoplankton türünün stekiometrisidir. Genel bir kabul olarak 1 µg Klorofil *a* oluşumu için 1 µg P ve 10 µg N gerektiği şeklinde bir kabul yapılırsa N/P<10 durumunda fitoplankton büyümesi azot tarafından N/P>10 durumunda sistem fosfor tarafından sınırlanıyor denilebilir. N/P=10 durumunda sistem ikisi tarafından da sınırlanmaz. Bu oranlar tüm fitoplanktonlar için genişletilirse N/P>20 durumunda fosfor sınırlayıcı N/P<5 durumunda azot sınırlayıcı olarak kabul edilmesi daha emniyetli bir yaklaşım olur (Muslu, 2001).

Bu çalışmanın amacı, mikroalglerin suda biyolojik arıtma kapasitesini geliştirmesi; özellikle atıksudan amonyum ve fosfor iyonlarını kaldırması ile büyüme destekleyici arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemektir. Bu iyonlar tarımsal sanayi atık suyunun büyük kirleticileri olarak, domuz ve sığır yetiştiriciliği ile mandıra endüstrisinde büyük miktarda bulunur.

2. Materyal ve yöntem

Alglerin izolasyonu, Yetiştirilmesi ve N-P miktarının belirlenmesi: Karışık bir ortamda örnekleri ayırma ya çok fazla yıkayarak indirgeme yöntemi kullanılır ya da mikro pipetler kullanılır. Bu çalışmada mikro pipetler yardımıyla tür izolasyonu yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılan *Chlorella vulgaris* alg kültürü Gazi Üniversitesi Dr. Tahir ATICI Gazi MACC laboratuvarında üretilmiştir (Atıcı ve diğ. 2006).

BG11 (besi ortamı) ve ekimini yapılacak olan alg türü (*Chlorella vulgaris*) hazırlanmış ve mikropipet yardımıyla erlene eklenmiştir. Kültür ortamının sıcaklığı 27± 2 °C civarında olmasına dikkat edilmiş ve sürekli olarak kontrol altında tutulmuştur. Kültürler 16 saat gündüz 8 saat gece periyodunda statik olarak inkübe edilmiştir. Işık kaynağı olarak 2 adet 36 umol/m²sn'lik gün ışığı lambası kullanılmıştır. Kültürler günlük kontrolleri sırasında gün içinde birkaç kez el ile çalkalanmıştır. Kültürün devamlılığı süresince mikrobiyal kontaminasyon kontrolü pasaj sırasında alınan alg örneklerinin Plate Count Agar'a ekimleri yapılarak belirlenmiştir.

Analitik Metodlar: Deneysel ortamında nutrient gideriminde kullanılacak tüm parametrelerin optimum konsantrasyonları ve bunların *Chlorella vulgaris* performansı üzerine etkileri belirlenmiştir. Biyokütle miktarı

inkübasyon süresi boyunca kuru ağırlık ve klorofil tayini ile spektrofotometrik olarak saptanmıştır. Amonyum ve fosfor iyon içeriği, standart su analiz teknikleri ve Hach DR/200 spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüştür. Amonyum salisilat metodu ile, nitrat kadmiyum indirgeme metodu ile, fosfor (ortofosfat) molibdovanadate metodu ile analiz edilmiştir (APHA, 1984). Amonyum ve fosfor iyonlarının spesifik tespiti için hazır kitler (Hach) kullanılmıştır.

Yapay Atık Suyun Hazırlanması: Yapay (steril şartlarda) atıksu çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak hazırlanmıştır. Bunlar; (mg/L): 7 NaCl, 4 CaCl₂, 33,4 Na₂HPO₄, 3 NH₄Cl, 2 MgSO₄.7H₂O, 21.7 K₂HPO₄ ve 8.5 KH₂PO₄. Kültürler için KH₂PO₄, 12-15 mg/L aralığındaki bir düzeyde tek fosfor kaynağı olarak kullanılmıştır (Becker, 1994). Organik maddelerle kirlenmiş Atık Su: Çalışmada kullanılan atık sular Ankara yakınlarında bulunan Ankara Çayı'ndan alınmıştır (Atıcı, 2005).

3. Bulgular

Laboratuvarda ekimi yapılan algerin 1 litrede maksimum seviyeye gelene kadar sayımları yapılmıştır. Maksimum hücre seviyesine gelen kültürlerde gerekli biomas analizleri yapılarak doğal atık su ve sentetik atık sudaki azot ve fosfat giderimini belirlemek için fotobioreaktörlere aktarılmıştır. Hazırlanan sentetik atık su ile Ankara Çayı'ndan alınan atık su ve saf mikroalg kültürünün Fotobioreaktörlere alınmadan önceki azot ve fosfat değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kültür ortamlarındaki *C.vulgaris* sayıları ve saf kültürün azot ve fosfat değerleri

Sentetik atıksu ile karıştırılacak olan 1 lt. kültürdeki <i>C. vulgaris</i> sayısı	6.592.000 birey/L	
Organik maddelerle kirlenmiş atıksu ile karıştırılacak olan 1 lt kültürdeki <i>C. vulgaris</i> sayısı	6.880.000 birey/L	
<i>C.vulgaris</i> Saf Kültürü	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)
	2,66	3,75

Sentetik ve organik maddelerle kirlenmiş atık su ile bire bir oranda karıştırılan alg kültürünün (*C.vulgaris*) Fotobioreaktörlerde 30 gün boyunca her 2 günde bir yapılan sayım sonuçları Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Fotobioreaktördeki organizma sayıları

	Sentetik Atıksu + <i>C. vulgaris</i>	Organik maddelerle kirlenmiş Atıksu + <i>C. vulgaris</i>	Sıcaklık °C
2. gün	6.410.000	6.440.000	27±2
4. gün	4.948.000	4.396.000	27±2
6. gün	4.032.000	3.304.000	27±2
8. gün	4.220.000	2.764.000	27±2
10. gün	5.112.000	3.784.000	27±2
12. gün	5.368.000	3.200.000	27±2
14. gün	5.104.000	3.056.000	27±2
16. gün	5.500.000	2.596.000	27±2
18. gün	5.252.000	2.564.000	27±2
20. gün	5.056.000	1.780.000	27±2
22. gün	7.116.000	1.980.000	27±2
24. gün	7.436.000	2.052.000	27±2
26. gün	7.430.000	2.042.000	27±2
28. gün	7.428.000	2.020.000	27±2
30. gün	9.924.000	1.824.000	27±2

Sentetik ve doğal atık su ile bire bir oranda karıştırılan alg kültürünün Fotobioreaktörlerde belli aralıklarla ölçülen Kl *a* değerleri ve azot-fosfat biyosorpsiyon değerleri Tablo 4' de verilmiştir.

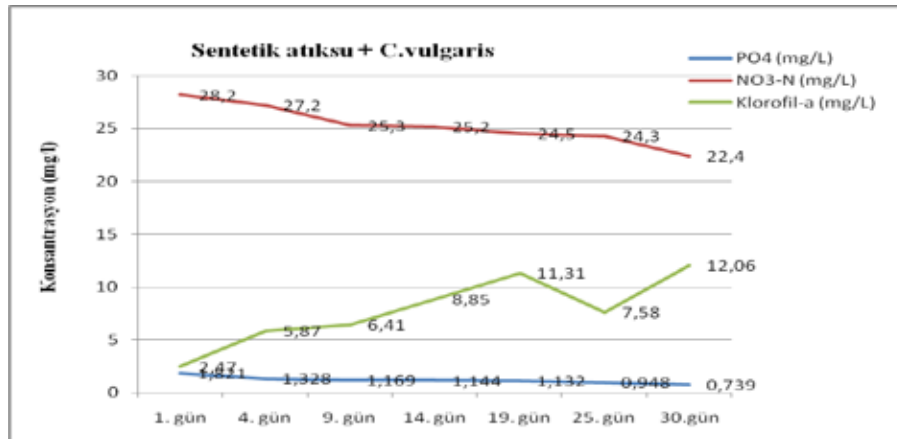
4. Sonuçlar ve tartışma

Son on yıl içinde mikroalglerin çeşitli türlerinin kullanılması üçüncül bir arıtma yöntemi olarak teklif edilmiştir, bu konuda çeşitli potansiyel iyileştirmeler bugün değerlendirilmeye devam etmektedir. Temeldeki varsayım, mikroalglerin kirleticilerin bir kısmını tehlikeli olmayan maddelere dönüştüreceği ve arıtılmış suyun güvenle tekrar kullanılabilceğidir. *C. vulgaris* tutulmuş atıksu arıtmak için öne sürülmüştür.

Tablo 4. Sentetik ve Organik maddelerle kirlenmiş atıksu Fotobioreaktöründeki Alg Biyokütlesi tarafından Azot ve Fosfat absorpsiyonu ve Kl-a miktarları

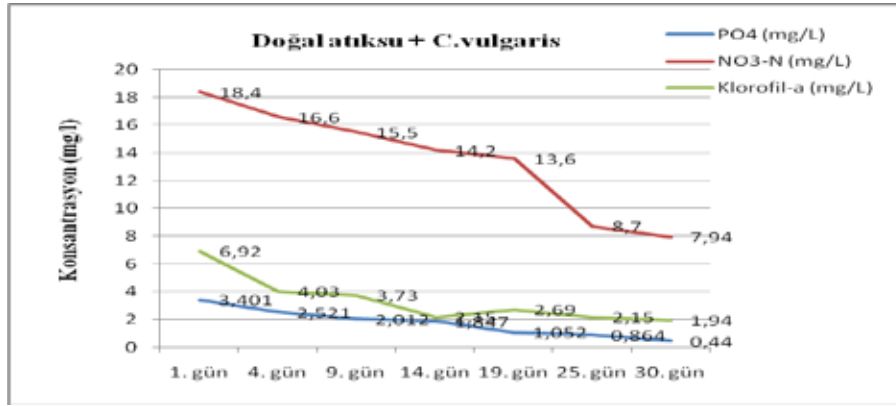
Zaman	Sentetik Atıksu + <i>C. vulgaris</i>			Organik maddelerle kirlenmiş Atıksu + <i>C. vulgaris</i>		
	PO ₄ (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Klorofil a (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Klorofil a (mg/L)
1. gün	1,821	28,2	2,47	3,401	18,4	6,92
4. gün	1,328	27,2	5,87	2,521	16,6	4,03
9. gün	1,169	25,3	6,41	2,012	15,5	3,73
14. gün	1,144	25,2	8,85	1,847	14,2	2,15
19. gün	1,132	24,5	11,31	1,052	13,6	2,69
25. gün	0,948	24,3	7,58	0,864	8,7	2,15
30. gün	0,739	22,4	12,06	0,440	7,94	1,94

Sentetik atıksuda fosforun ve azotun harcanma hızı Grafik 1’de gösterilmiştir. Büyüme ile birlikte, azot konsantrasyonu ilk on günde hızlı bir şekilde azalmıştır. Aynı sürede Kl a miktarında ani bir artış görülürken fosfat miktarındaki önemli ani düşüş ilk dört günde gerçekleşmiştir. Kl a miktarı ilk 20 günde maximum seviyeye çıkmış ancak sonra yeniden azalmış ve tekrar yükselerek dengeye gelmiştir. Toplam azot (NO₃-N) konsantrasyonu 28,2 mg/L den 22,4 mg/L ye kadar % 37 lik bir harcanma miktarı göstermiştir. Aynı şekilde son fosfat (PO₄-P)₀ konsantrasyonu, 1,821 mg/L için yaklaşık % 62’lik harcama etkinliğiyle 0,739 mg/L ye kadar düşmüştür. Buna karşın Klorofil a konsantrasyonu artış göstermiş ve 2,47 mg/l den 12,6 mg/l ye kadar yükselmiştir.

Şekil 1. Sentetik atıksu + *C.vulgaris* karışımında N-P absorpsiyonu ve Kl a konsantrasyonu

Organik maddelerle kirlenmiş atıksuda Fosforun ve Azotun harcanma hızı Grafik 2’de gösterilmiştir. Büyüme ile birlikte, fosfat konsantrasyonu hızlı bir şekilde azalmıştır aynı şekilde yirmi gün süresince azot miktarında düzenli bir azalma sergilemiştir. Kl a miktarın da on beş günden sonra azalma durmuş ve bir dengeye oturmuştur. Toplam fosfat (PO₄-P) konsantrasyonu 3,401 mg/L den 0,440 mg/L ye kadar % 85 lik bir harcanma hızı ile kullanılmıştır. Organik maddelerle kirlenmiş atıksuda Azot konsantrasyonunda azalmış ancak bu azalma fosfat konsantrasyonundaki kadar hızlı olmamıştır, son azot konsantrasyonu, (NO₃-N)₀=18,4 mg/L için yaklaşık % 65 harcanma etkinliğiyle 7,94 mg/L civarına inmiştir. Buna karşın Klorofila konsantrasyonu da azalmış ve 6,92 mg/l den 1,94 mg/l ye kadar düşmüştür.

Başlangıçtaki alg miktarlarının sentetik atıksuda sayısal olarak giderek artması ve Kl a miktarının artış göstermesi *C. vulgaris* ‘in fosfat’ı kullanarak ortamdaki uzaklaştırması ve her iki besin tuzlarının da büyümeye etki ettiğini göstermiştir. Organik maddelerle kirlenmiş atıksu da ise durum biraz farklılık göstermiş ve Kl a değerleri azalırken *C.vulgaris* sayıları da azalmış ancak buna bağlı olarak ortamdaki azot ve fosfat miktarında da önemli düşüşler görülmüştür. Bu duruma organik maddelerle kirlenmiş atıksuda azot ve fosfat iyonlarından başka diğer maddelerin varlığının sebep olduğu ve azot ve fosfatın azalmasına ortamdaki diğer elementlerle olan bağlantısının sebebiyet verdiği düşünülebilir. Ayrıca organik maddelerle kirlenmiş atıksuda diğer organizmaların (zooplankton gibi..) mevcut algleri tüketebileceği de bilinmektedir. Ancak doğal atıksu ortamında *C.vulgaris* ‘in azot ve fosfat gideriminde etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 2. Doğal atıksu + *C.vulgaris* karışımında N-F absorpsiyonu ve Kl a konsantrasyonu

Benzer çalışmada da (Karapınar ve Aslan, 2007) azot giderim performansı üzerine etkiler incelenmiş ve 10 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ derişimi ve 2,7 gün hidrolik alıkonma süresinde % 83, 20 mg/L azot derişiminde ise %75 oranında azot giderim verimi elde edilmiştir. Hidrolik alıkonma süresinin artırılması ile daha çıkış suyu kalitesinde artış sağlanmıştır. 5.4 gün alıkonma süresinde ve 20 mg/l azot derişiminde %93'ün üzerinde azot giderimi sağlanmıştır.

Otuz günlük bu alıkonma süresinde azot ve fosfatın tutulma performansı gözlenmiş ve *C. vulgaris*'in her iki ortamda da azot ve fosfatın gideriminde uygun bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Böylece biyolojik arıtım yöntemlerinde en iyi kullanılabilir mikro alg türünün *C. vulgaris* olduğu kanıtlanmıştır.

Kaynaklar

- APHA., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th edn., Washington, DC. 1989.
- Aksu, Z., Determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters of the batch biosorption of nickel(II) ions onto *Chlorella vulgaris*, Process Biochem, 38:89-99, 2002.
- Arceivala, S.J., Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Çeviri; Vahap Balman, TataMcGraw- Hill Pub.. Com. India, 1998
- Atıcı, T., Katırcıoğlu, H. ve Akın, B.S., Production and culture collection of microalgae, isolated from freshwater reserves of Middle Anatolia Region, Turkey, 3rd International Symposium on Microalgae and Seaweed Products in Agriculture, Hungary, 21-23 June 2006, Book of Abstracts, p. 45.
- Atıcı, T. ve Ahıska, S., Pollution and Algae of Ankara Stream, G.U. Journal of Science, 18(1): 51-59, 2005.
- Ayers, R.S ve Westcot, D.W., Water quality for agriculture, Food and agriculture organization of the United Nations; Rome, no:29, 1976
- Becker E.W. Microalgae biotechnology and microbiology, London Cambridge University Press. 1994.
- Chojnacka, K., Using biosorption to enrich the biomass of *Chlorella vulgaris* with microelements to be used as mineral feed supplement, World J Microbiol Biotechnol 23:1139-1147, 2007
- Corelli, D. L "Phosphorus: A Rate Limiting Nutrient in Surface Waters" Poultry Science 78:674–682, 1999.
- Dönmez, G., Aksu, Z., Öztürk, A., Kutsal, T., A comparative study on heavy metal biosorption characteristics of some algae. Process Biochem 34:885-892, 1999.
- John, D.M., Whitton, B.A. ve Brook, A.J., The Freshwater Algal Flora of the British Isles, An Identification Guide To Freshwater and Terrestrial Algae, Cambridge Univ. Press, 2003
- Karapınar, K. İ., Aslan, Ş. 7. Sürekli İşletilen Alg-Fotobiyoreaktör Sisteminde Atıksudan Azot Giderimi. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji – İzmir TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 24-27 Ekim 2007.
- Metcalf E., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, Third edition, McGraw Hill, USA, 1991
- Mostert, E.S., The Influence of Nitrogen and Phosphorus on Algal Growth and Quality in Outdoor Mass Algal Cultures, Biomass. 13, 219- 233, 1987
- Muslu, Y., "Göl ve Haznelerde su Kalitesi Yönetimi", İSKİ, 2001.
- Patil, H.S., The role of *Ankistrodesmus falcatus* and *Scenedesmus quadricauda* in Sewage Purification, Bioresource Technology, 37, 121-126, 1990.
- Sawayama, S., Minova, T., Dote, Y. ve Yokoyama, S., Growth of the Hydrocarbon-rich Microalga *Botryococcus braunii* in Secondary Treated Sewage, Appl. Microbiol. Biotechnol. 38, 135-138, 1992.
- Umble A.K., Ketchum, A.L. , A Strategy for Coupling Municipal Wastewater Treatment using the Sequencing Batch Reactor with Effluent Nutrient Recovery through Aquaculture, Wat. Sci. Tech., 35(1), 177-184, 1997.
- Uygur, A., Kargı, F. ve Başakkaya, H.S., Ardışık Kesikli Reaktör ile Nutrient Gideriminde Farklı Karbon Kaynaklarının Etkileri, DEÜ Mühendislik Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:5, Sayı:1, 9-16, 2003.
- Voltolina, D., Cordero, B., Nieves, M., Soto, L., Growth of *Scenedesmus* sp. in artificial wastewater, Bioresource Technology, 68, p265-268, 1998.
- Yücel, E., Edirnelioğlu, E., Soydam, S., Çelik, S., Çolak, G., *Myriophyllum spicatum* (Spiked water- milfoil) as abiomonitor of heavy metal pollution in Porsuk Stream/Turkey, Biological Diversity and Conservation (BioDiCon), Vol:3/2, 133-144, 2010.

(Received for publication 10 January 2012; The date of publication 15 August 2012)