

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

ATIK SULARDAN AZOT VE FOSFORUN *Chlorella vulgaris*
Beijerinck YARDIMIYLA DENEYSEL OLARAK UZAKLAŞTIRILMASI

LİDA SHELKNANLOYMILAN

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2013

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Lida SHELKNANLOYMILAN tarafından hazırlanan “ **Atık Sulardan Azot ve Fosforun *Chlorella vulgaris* Beijerinck Yardımıyla DeneySEL Olarak Uzaklaştırılması** ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı’nda **DOKTORA** tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : **Prof. Dr. E. Olcay OBALI**

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Osman KETENOĞLU

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Anabilim Dalı

Üye: Prof. Dr. E. Olcay OBALI

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Anabilim Dalı

Üye: Prof. Dr. Sibel ATASAĞUN

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Anabilim Dalı

Üye: Doç. Dr. Tahir ATICI

Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Biyoloji Anabilim Dalı

Üye: Doç. Dr. Hikmet KATIRCIOĞLU

Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Biyoloji Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

ATIK SULARDAN AZOT VE FOSFORUN *Chlorella vulgaris*
Beijerinck YARDIMIYLA DENEYSEL OLARAK UZAKLAŞTIRILMASI

Lida SHELKNANLOYMILAN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. E. Olcay OBALI

Chlorella vulgaris çeşitli bileşiklerle birlikte ağır metallerin atılmasında, atıksu arıtmı 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 ($\text{NO}_3\text{-N}$) ve fosfatın ($\text{PO}_4\text{-P}$) *C.vulgaris* yardımıyla giderimi gözlenmiştir. Azot ve fosfat hem sentetik atıksuda hem kentsel atıksuda önemli miktarda harcanmış ancak Kl-a konsantrasyonu sentetik atıksuda başlangıç miktarına göre artarken kentsel atıksuda azalmıştır. Kentsel ve sentetik atıksularda azotun büyüme sınırlayıcı etkisi olduğu görülmüştür.

Ocak 2013, sayfa 73

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

ABSTRACT

EXPERIMENTAL REMOVING OF NITROGEN AND PHOSPHATE BY USING *Chlorella vulgaris* Beijerinck FROM WASTE WATER

Chlorella vulgaris is used for purification of wastewater in the removing of the heavy metals with the several compounds together. The purposes of this study is to determine that the microalgae develop the biological capacity of microalgae in the water, and especially if there is a relationship between the removal of ammonium and phosphorus ions from wastewater and the growth-promoting. It was observed the removal nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) and phosphate ($\text{PO}_4\text{-P}$) with the help of *C. vulgaris* in photobioreactor for a period of thirty days. Nitrogen and phosphate were spent significant amount both in urban wastewater and synthetic wastewater but when K1-a concentration increased according to the initial amount in wastewater, decreased in the urban water. The effect of limiting the growth of nitrogen was observed in Urban and synthetic wastewaters.

January 2013, pages 73

Key Words: *C. vulgaris*, elimination of nitrogen, phosphate removal, biological purification

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, araştırmanın her aşamasında görüş ve önerileriyle beni yönlendiren, ilgisi ve desteğiyle her zaman yanımda olan danışman hocam Prof. Dr. E.Olcay OBALI'ya,

Araştırmanın deneysel çalışmalarının yapılmasında ve geliştirilmesinde bana zaman ayırarak katkıda bulunan ve her aşamada yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Tahir ATICI'ya,

Deneysel sonuçların okunması için laboratuvarlarını açan ODTÜ çevre mühendisliği Bölümüne, çalışmada verilerin okunmasına yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Didem AYDIN 'a

Veri toplama araçlarının hazırlanması aşamasında yapılan pilot çalışmalarda ve deneysel çalışmalarının yürütülmesinde emeği geçen hocalarıma ve arkadaşlarıma,

Ayrıca bana her türlü desteği sabırla gösteren, Eşim Nadir SHELKNANLOYMILAN' a ve oğlum Emir'e teşekkürlerim sonsuzdur.

Lida Shelknanloymilan

ANKARA, Ocak 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	3
1.2 Atık Su Özellikleri.....	5
1.2.1 Fiziksel özellikler.....	5
1.2.2 Kimyasal özellikler.....	5
1.2.3 Biyolojik özellikler.....	10
1.3 Biyolojik Arıtma	13
1.4 Azot Giderimi	15
1.5 Fosfor Giderimi	16
1.6 Algler	16
1.61. Alglerin Genel Özellikleri	16
1.6.2. Alglerin Kullanım Alanları	18
1.6.3. Alglerin Fizyokimyasal Yapıları	19
1.7 <i>Choleralla vulgaris</i> Beijernick	20

1.8. N/P Oranı	24
2. KAYNAK ÖZETLERİ	25
3. MATERYAL ve METOD	28
3.1. Alglerin Yetiştirilmesi	28
3.1.1 Kültür ortamının hazırlanması	28
3.1.2. Kültür kapları	28
3.1.3. Kültür ortamında sıcaklık ve ışık	28
3.1.4. İzolasyon tekniği	29
3.1.5. Kültür oluşturma ve bakımı	29
3.2. Kültür Ekimi ve Besiyerinin Hazırlanması	29
3.2.1. Alg kültürleri	30
3.3. Biyokütle miktarının belirlenmesi	33
3.3.1. Klorofil a ölçümü	34
3.3.2. Alg sayımı	33
3.4. Sentetik ve kentsel atık suyun hazırlanması	36
3.4.1. Sentetik atık suyun hazırlanması	36
3.4.2. Kentsel atık suyun hazırlanması	36
3.5. Deney ortamı	36
3.5.1. Deneysel Tasarım ve İstatistik Analiz	37
3.6. Analitik Metodlar	37
3.6.1. Nitrat azotu tayini	38

3.6.2. Fosfat iyonu tayini	38
4. BULGULAR	40
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	43
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER DİZİNİ

BG11	Mavi - yeşil algler için kullanılan besiyeri
°C	Santigrat derece
CaCl ₂ .2H ₂ O	Kalsiyum klorid dehidrat
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
cc	Santimetre küp
cm	Santimetre
CO ₂	Karbondiyoksit
dk	Dakika
Fe	Demir
g	Gram
H ⁺	Hidrojen iyonu
H ₂ S	Hidrojen sülfür
KH ₂ PO ₄	Monopotasyum fosfat
K ₃ HPO ₄	Tripotasyum fosfat
L	Litre
lüx	Aydınlanma şiddeti
log	Logaritma
mg	Miligram
mg/L	Miligram/ litre
ml	Mililitre

MgSO ₄	Magnezyum sülfat
µg /L	Mikrogram/litre
mL/h	Mililitre/ yükseklik
µmol / m ² /s	Mikromol / metrekafe / saniye
Mn	Mangan
N	Azot
Na ₂ CO ₃	Sodium carbonate
Na ₂ -EDTA	Disodium Ethylenediaminetetraacetic acid
NH ₃	Amonyak
NH ₄	Amonyum
OH ⁻	Hidroksil iyonu
P	Fosfor
pH	Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimi
rpm	Dakikadaki devir sayısı
UV	Ultraviyole
>	Büyük
<	Küçüktür
%	Yüzde
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Sularda Fosfor Devri	9
Şekil 1.2: Alg-bakteri havuzlarındaki biyolojik arıtma işlemi.....	11
Şekil 1.3: <i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck Hücresi ve kısımları	18
Şekil 1.4: <i>Chlorella vulgaris</i>	19
Şekil 1.5: Kültüre alıp üretilmiş saf <i>Chlorella vulgaris</i>	22
Şekil 1.6: Saf <i>Chlorella vulgaris</i> Kültürü	23
Şekil 3.1 ve 3.2: Kültür koşullarının hazırlanması	31
Şekil 3.3 ve 3.4: Kültür koşullarının hazırlanması	32
Şekil 3.5: <i>Chlorella vulgaris</i> ' in pipetle alımı	34
Şekil 3.6 ve 3.7: <i>Chlorella vulgaris</i> 'in Thoma lamı kullanarak sayımı	35
Şekil 3.8: Fotobiyoreaktör hazırlanışı	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1: Evsel atık sularındaki parametreler.....	12
Çizelge 1.2: Göller için sınırlayıcı besi maddesi oranları	24
Çizelge 3.1: BG11 (besiyeri) hazırlamada kullanılan maddeler ve miktarları	29
Çizelge 3.2: Sentetik atık su hazırlamada kullanılan maddeler ve miktarları	36
Çizelge 3.3 : Örnek alınan yerler, tarih, saat, sıcaklık ve örneklerde uygulanılan metod ve deney	39
Çizelge 3.4: Sentetik atıksu başlangıç azot ve fosfat değerleri, tarih, sıcaklık ve örneklerde uygulanılan metod ve deney	39
Çizelge 4.1: Kültür ortamlarındaki <i>C.vulgaris</i> sayıları ve saf kültürün azot ve fosfat değerler	40
Çizelge 4.2: Fotobioreaktördeki organizma sayıları	41
Çizelge 4.3: Sentetik ve Doğal atık su Fotobioreaktöründeki Alg Biyokütlesi tarafından Azot ve Fosfat absorpsiyonu ve klorofil a miktarları	42

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 5.1: Sentetik atıksu + <i>C.vulgaris</i> karışımında N-P absorpsiyonu ve Kl-a konsantrasyonu	43
Grafik 5.2: Sentetik atıksu fosfat giderim hızının zamana göre doğrusal artışı	44
Grafik 5.3: Sentetik atıksu azot giderim hızının zamana göre doğrusal artışı.....	45
Grafik 5.4: Kentsel atıksu + <i>C.vulgaris</i> karışımında N-F absorpsiyonu ve Kl-a konsantrasyonu	46
Grafik 5.5: Kentsel atıksu fosfat giderim hızının zamana göre doğrusal artışı....	47
Grafik 5.6: Kentsel atıksu azot giderim hızının zamana göre doğrusal artışı.....	48
Grafik 5.7: Sentetik atıksu azot fosfat giderim hızları zamana göre orantısal dağılımı	49
Grafik 5.8: Kentsel atıksu azot fosfat giderim hızları zamana göre orantısal dağılımı	50
Grafik 5.9: Kentsel ve Sentetik atıksu fosfat giderim hızlarının zamana göre orantısal dağılımı	51
Grafik 5.10: Kentsel ve Sentetik atıksu azot giderim hızlarının zamana göre orantısal dağılımı	52

1. GİRİŞ

Çevre kirlenmesi insanların çeşitli faaliyetleri sonucu ortaya çıkmakta, insanlar çoğaldıkça çevre kirliliği de artmaktadır. Bu kirlenme sürecinden en fazla etkilenen doğa elemanı “su” dur. Su kaynaklarımızın önemli kısmı tarımda sulama amacı ile kullanılmaktadır. Su verimli şekilde kullanıldığı halde yine de atık su oluşuyorsa evsel ve endüstriyel atık sular çok iyi şekilde yönetilip arıtılmalıdır.

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.

Algler, tüm sucul habitatlarda yaşayan tek hücreli organizmalar ve basit çok hücreli canlılardır. Alg büyümesi için en önemli inorganik besinler azot ve fosfordur, genel olarak sırasıyla nitrat veya amonyak ve fosfat olarak bulunurlar. Tek hücreli olarak, koloni veya filamentler halinde bulunabilirler (John ve diğ., 2003).

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. Birçok çalışma mikroalglerin fosfat ve azot gideriminde çok iyi bir potansiyele sahip olduklarını göstermektedir. Başlıca teknikler atık sulardan hücre içine alımı, alg yardımıyla besin giderimi ve amonyakın 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, 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 gübrelerden ve bazı sanayi atıklarından gelen atık sulardaki nitrat bazı koşullar altında alglerin gelişimini 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 göre çeşitli zararlı maddeler içermektedir. Atık sular ve giderim prosesleri 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. dır. 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 kaynaklarındandır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı, mikroalglerin suda biyolojik arıtma kapasitelerinin belirlenmesi; özellikle atıksudan azot ve fosfor iyonlarının kaldırması ile büyüme destekleyici arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemektir. Azot ve fosforun tarımsal sanayi atık suyunun büyük kirleticileri olarak bulunduğu alanlar, domuz ve sığır yetiştiriciliği ile mandıra endüstrisidir.

Çalışmada kullanılan mikroorganizma, pratik anlamda çevresel uygulamalar için kullanılmış; azot ve fosfor bakımından zengin, diğer önemli kirleticilerden eksik tarımsal ve endüstriyel üretimle ilgili atık suların iyileştirilmesinde önemli bir ilk adımdır. Mikroalgin suda biyolojik arıtma kapasitesini geliştirmesi; özellikle atık sudan amonyum ve fosfor iyonlarını kaldırması ile büyüme destekleyici arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemektir.

Algler biyosferde her yere yayılmışlardır ve çok çeşitli koşullarda yetişebilirler. Mikroalgler tatlısulardan 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 mikroalgi *Chlorella vulgaris*'in biyosorpsiyon ile atıksudan azot ve fosfor gideriminde yüksek bir potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir (Corelli, 1999; Aksu 2002; Dönmez ve diğ., 1999).

Bu çalışma, atık su içeriğindeki maddelerin değerlendirilmesi ve su kirliliğinin kontrolü gibi konularda, ülke ekonomisine ve bilimsel literatüre yapacağı katkılar yönünden önem taşımaktadır. Ayrıca bunların yanı sıra atık su arıtım uygulama altyapısının geliştirilmesine de katkı sağlayacaktır.

Çalışmada, atık sudan fosfor ve azot bileşenlerinin giderimi için *Chlorella vulgaris*' in performansını laboratuvar ortamında;

1. Farklı $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonlarında *Chlorella vulgaris*'in nutrient giderimi performansına etkisini incelemek
2. Farklı KH_2PO_4 , konsantrasyonlarında *Chlorella vulgaris*'in nutrient giderimi performansına etkisini incelemek
3. Nutrient giderimi performansının aydınlık/karanlık döngüsünden nasıl etkilendiğini bulmak
4. Nutrient giderimi üzerinde optimum N / P oranının belirlemek
5. Başlangıç klorofil a konsantrasyonunda *Chlorella vulgaris*' in nutrient giderimi performansını araştırmak

6. Etkili nutrient giderimi için gereken minimum hidrolik bekletme süresini belirlemek
7. Etkili nutrient giderimi için gereken optimum sıcaklığı belirlemek
8. Etkili nutrient giderimi için gereken optimum pH derecesini belirlemek
9. Başlangıç ve sonuçta oluşan *Chlorella vulgaris*'in biyokütle miktarını ve bunların arasındaki ilişkiyi belirlemek
10. Deney sonucunda atık olarak ortaya çıkan *Chlorella vulgaris* biyokütlesinin en verimli şekilde kullanımını sağlayacak geri dönüşümsel işlem önerileri oluşturmak (örneğin; gübre olarak kullanılabilir, gibi) işlemleri araştırılmıştır.

1.2 Atık Su Özellikleri

Atık su fiziksel, kimyasal ve biyolojik unsurları içermektedir.

1.2.1 Fiziksel özellikler:

- a) **Toplam katı madde:** Ortalama olarak evsel atık sular 720 mg/L toplam katı madde içermektedir. Toplam katı maddenin yaklaşık 500 mg/L' si çözünmüş halde, geri kalanı ise askıda katı durumda bulunmaktadır. Çözünmüş ve askıdaki katılar sabit ve uçucu halde olabilmektedir. Arıtma işlemlerinin çoğu, askıdaki katı madde ve uçucu çözünmüş katı maddelerin uzaklaştırılması için tasarlanmaktadır.
- b) **Sıcaklık:** Genellikle atık su sıcaklığı, kış aylarında hava sıcaklığından daha yüksektir. Yaz aylarında ise hava sıcaklığından daha düşüktür.

1.2.2 Kimyasal özellikler:

- a- Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) :** Atık sudaki organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu sırasında mikroorganizmalar tarafından kullanılan çözünmüş oksijenin miktarıdır. Biyokimyasal oksidasyon yavaş bir işlemdir ve teorik tamamlanma süresi sonsuzdur. 20 günlük bir süre içerisinde, oksitlenme % 95-99 tamamlanmakta, BOİ testi için kullanılan 5 günlük sürede ise oksitlenme % 60-70 arasında gerçekleşmektedir (Arceivala, 1998).
- b- Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) :** KOİ testi atık suların organik madde içeriğini ölçmek için yapılmaktadır. Oksitlenebilen organik madde kimyasal oksitleyici olan potasyum dikromat kullanılarak ölçülmektedir. Bir atık suyun KOİ' si genel olarak BOİ' sinden daha yüksektir. Çünkü biyolojik olarak oksitlenemeyen birçok bileşik kimyasal olarak oksitlenebilmektedir. KOİ testi 3 saatte yapılabilirken, BOİ testi 5 gün içinde sonuçlanmaktadır. Bu nedenle KOİ ile BOİ arasında bağlantı kurulabilmektedir. Aradaki bağlantı bir kere belirlendiğinde KOİ ölçümleri atık su karakterizasyonunda kullanılabilir. Ülkemizde yapılan deneysel çalışmalara göre KOİ/ BOİ oranının 1,6 - 2,5 arasında değiştiği belirlenmiş olup, bu değer ortalama 2 olarak kabul edilmektedir (Metcalf, 1991).
- c- pH:** Atık sudaki hidrojen iyonu konsantrasyonunun parametresidir. Atık suyun pH değeri biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinin belirlenmesinde önemlidir. İçme suyunun pH değeri 6- 8 arasında, deniz suyunun 8, doğal suların 7 ve evsel atık suyun ise 7- 8 arasındadır (Metcalf, 1991).
- d- Klorür:** Evsel atık sularda, klorürlerin belli başlı kaynağı insan idrarıdır. Su sertliğinin yüksek olduğu yörelerde, su yumuşatıcılarının kullanılması ile büyük miktarda klorür atık suya karışmaktadır. Alıcı ortamda yüksek miktarda klorür konsantrasyonlarının bulunması, alıcı ortamın atık su deşarjına maruz kaldığının bir göstergesidir (John ve diğ., 2003).

e- **Alkalinite:** Atık suda alkalinite; kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum gibi elementlerin hidroksit, karbonat ve bikarbonatlarının varlığından veya amonyaktan oluşmaktadır. Atık su genelde alkalidir (John ve diğ., 2003).

f- **Azot:** Atık sudaki mikroorganizmalar için bir besin maddesidir. Azot yeterli olmadığı durumlarda, atık suyun arıtılması için azot ilavesi gerekebilir. Evsel atık suda azot biyolojik arıtım için gerekli miktarda vardır. Alıcı ortama deşarj edilen arıtılmış suda azot varsa, alıcı ortamda hem oksijen tüketimine hem de ötrifikasyona sebep olabilir. Suda besin maddesi miktarının aşırı artması sonucu oluşan kirliliğe ötrofikasyon denir.

Buna sebep olan iki ana besin maddesi azot ve fosfor bileşikleridir. Bu maddelerin ortamda çok bulunması özellikle mavi yeşil alglerin aşırı gelişmesine ve çoğalmasına sebep olur, suyun tadı kokusu rengi değışir. Atık sudaki azot başlıca, proteinli maddelerden ve üreden kaynaklanmaktadır. Bakteriler tarafından parçalanan bu bileşikler amonyak oluşumuna sebep olurlar. Oksijenli bir ortamda bakteriler amonyağı nitrit ve nitrat' a oksitlerler. Nitrat azotu atık sudaki azot bileşiklerinin son oksidasyon kademesidir (Umble ve Kechum, 1997).

g- **Nitrat:** Azot döngüsünün doğal bir parçası olan organik bir iyondur. Azot döngüsü dört evre içerir. Bunlar; amonifikasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fiksasyondur. Denitrifikasyon bağı azotu kullanılamayan azot gazına tekrar çevirir. Diğer üçü ise gaz azotu kullanılabilir forma dönüştürür. Bizim ilgilendiğimiz evre fiksasyondur (Umble ve Kechum, 1997).

Amonifikasyon



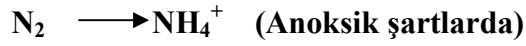
Nitrifikasyon



Denitrifikasyon



Azot Fiksasyonu

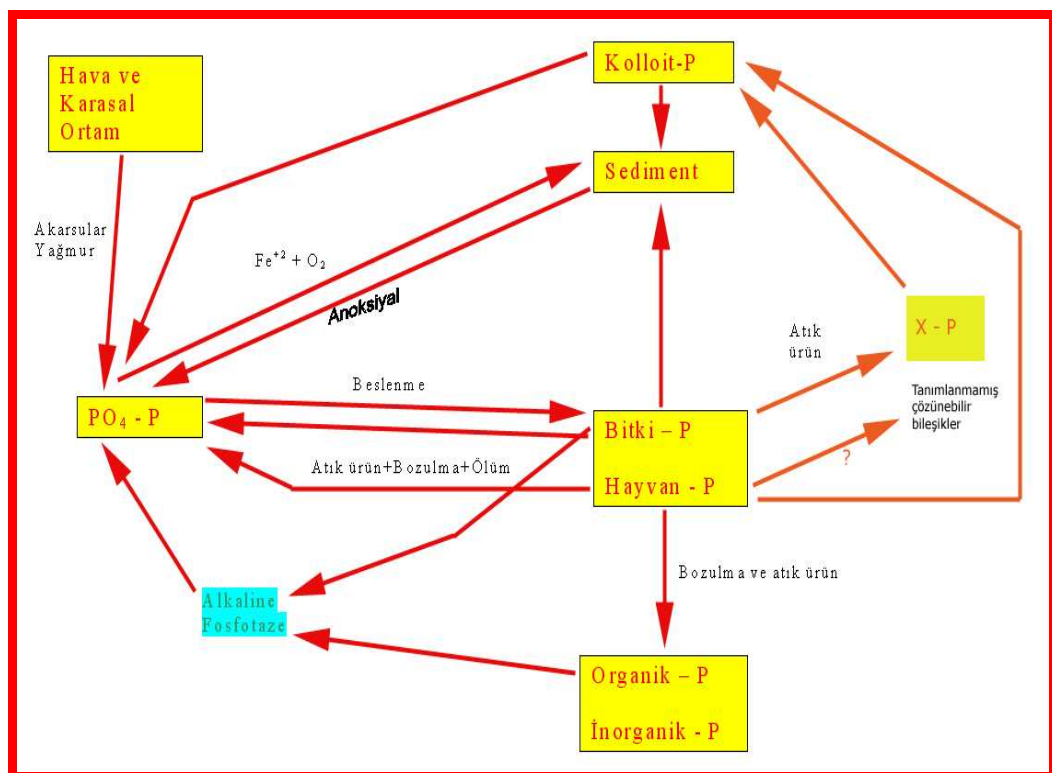


Azot fiksasyonu, gaz halindeki azotun amonyak veya nitrata dönüşmesidir. Bir seri farklı mikroorganizma fiksasyon evresini gerçekleştirir. Bazı serbest yaşayan aerob bakteriler serbestçe azotu toprağa bağlar. Mavi- yeşil algler hem suda hem de toprakta azot bağlayabilirken son ve kararlı ürün olarak amonyak üretirler.

Nitrit hemoglobinle birleşince, oksijen bağlayamayan ve dokulara taşıyamayan methemoglobin oluşturur. Methemoglobin oluşumu asfeksiye (oksijen yokluğuna bağlı boğulma) neden olabilir. Methemoglobin vücuttaki globinin %1-2' sini kapattığı için, %3' ten daha fazla bir methemoglobin seviyesi methemoglobinemi olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, vücutta nitrat nitrite dönüştüğünde, dokulara oksijen taşımayan methemoglobin oluşturmak üzere globinle reaksiyona girer. Oksijen olmazsa, boğulma oluşur.

Hayvanlardaki erken veya kronik zehirlenmenin semptomları (erken veya kronik nitrat zehirlenmesi); sulu gözler, iştah kaybı, kirli görünüm, kilo kaybı veya kilo alınmaması ve A vitamini eksikliği belirtilerini kapsar. Akut zehirlenmenin belirtileri ise; hızlı kalp atışı, hızlı soluk alıp verme veya nefesin kısa oluşu, kas titremesi, güçsüzlük, sersemlemiş yürüyüş, siyanoz (bazı membranlar, dil ve gözün beyaz kısmı gibi, maviye döner) olup, sonucunda ölüm gerçekleşir.

h- Fosfor: Fosfor, tüm yaşam formları için esansiyel bir besindir. DNA, RNA, ADP ve ATP’ de önemli rol oynar. Fosfor, yaşamın bu gerekli bileşenlerinin oluşması için gereklidir. Tatlı su deniz sistemlerinde, fosfor ya partikül halinde ya da çözünmüş halde bulunur. Partikül madde canlı ve ölü plankton içerir. Çözünmüş fosfor ise, fitoplankton tarafından sindirilir ve organik fosfora dönüştürülür. Fitoplanktonu daha sonra zooplankton yutar ve inorganik fosfor olarak boşaltır ve döngü devam eder (Şekil-1.1).



Şekil-1.1: Sularda Fosfor Devri (www.thewatertreatment.com)

Fosfatın kendisinin sağlığa zararlı belirgin bir etkisi yoktur. Bunun yanında, 1,0 mg/L' den daha yüksek fosfat düzeylerinin sulak bitkilerdeki çökelmeyi engellediği bilinmektedir. Sonuç olarak, mikroorganizmaları besleyen partiküller, dağıtılmadan önce tamamen yok edilemezler. Fosfor genel olarak tatlı su akuatik sistemlerinde kısıtlayıcı besindir. Başka bir deyişle, eğer bütün fosfor kullanılırsa, kullanılabilecek

azot miktarın var olmasına rağmen bitki ölür. Diğer taraftan, gerekli fosfor bulunuyorsa, nitrat konsantrasyonları artacak ve aşırı alg çoğalmaları oluşacaktır.

i- Kükürt: Sülfat iyonu doğal olarak atık suda mevcuttur. Sülfatlar, kimyasal olarak, anaerobik (oksijensiz) koşullarda, bakteriler tarafından sülfürlere ve hidrojen sülfüre (H_2S) indirgenir. Daha sonra H_2S biyolojik olarak sülfürik aside oksitlenir.

j- Ağır metaller ve zehirli bileşikler: Nikel, kuşun, krom, kadmiyum, çinko, bakır ve cıva gibi ağır metaller ve oluşturdukları bileşikler mikroorganizmalar için zehirlidir. Bu nedenle atık suyun biyolojik arıtımı safhasında sorunlar yaratırlar. Evsel atık sularda ağır metaller ve zehirli elementler bulunmaz.

k- Gazlar: Evsel atık sularda bulunan gazlar; azot, oksijen, CO_2 , H_2S , amonyak ve metandır. Çözülmüş oksijen aerobik mikroorganizmaların ve diğer aerobik canlıların solunumu için gereklidir. Atık sulardaki oksijen miktarı, mikroorganizmaların oksijen tüketimi sebebi ile çok düşüktür. Atık suda bulunan organik maddelerin anaerobik parçalanmasının yan ürünlerinden biri metan gazıdır. Bu gaz çabuk alev alan ve patlama tehlikesi olan bir gazdır. H_2S gazının ise toksik etkisi çok fazladır.

Su, hem hidrojen (H^+) hem de hidroksil (OH^-) iyonları içermektedir. pH testi, maddelerin hidrojen iyonu konsantrasyonunu ölçmekte ve onlara 0' dan 14' e kadar bir pH değeri vermektedir. Eğer bir su örneği hidroksil iyonundan daha fazla hidrojen iyonu içeriyorsa asidiktir ve 7' den küçük bir pH'a sahiptir.

Numune ne kadar asidikse sayı o kadar küçük olur. Eğer örnek, hidrojen iyonundan daha fazla hidroksil içeriyorsa o zaman pH' ı 7' den büyüktür ve baziktir; sayı ne kadar büyükse örnek o kadar bazik demektir. Nötral bir örnek, saf deiyonize su gibi, eşit

sayıda hidrojen ve hidroksil iyonu içerir ve pH' ı 7' dir, ne asidik ne de baziktir. pH skalasındaki her bir birimlik değışiklik, pH skalasında yaklaşık 10 kat değışiklik demektir; bu da pH 4, pH 5' ten 10 kat daha asidiktir, pH 6' dan 100 kat daha asidiktir anlamına gelir. Algler için en iyi pH aralığı tipik olarak 5,5 ile 10 arasındadır.

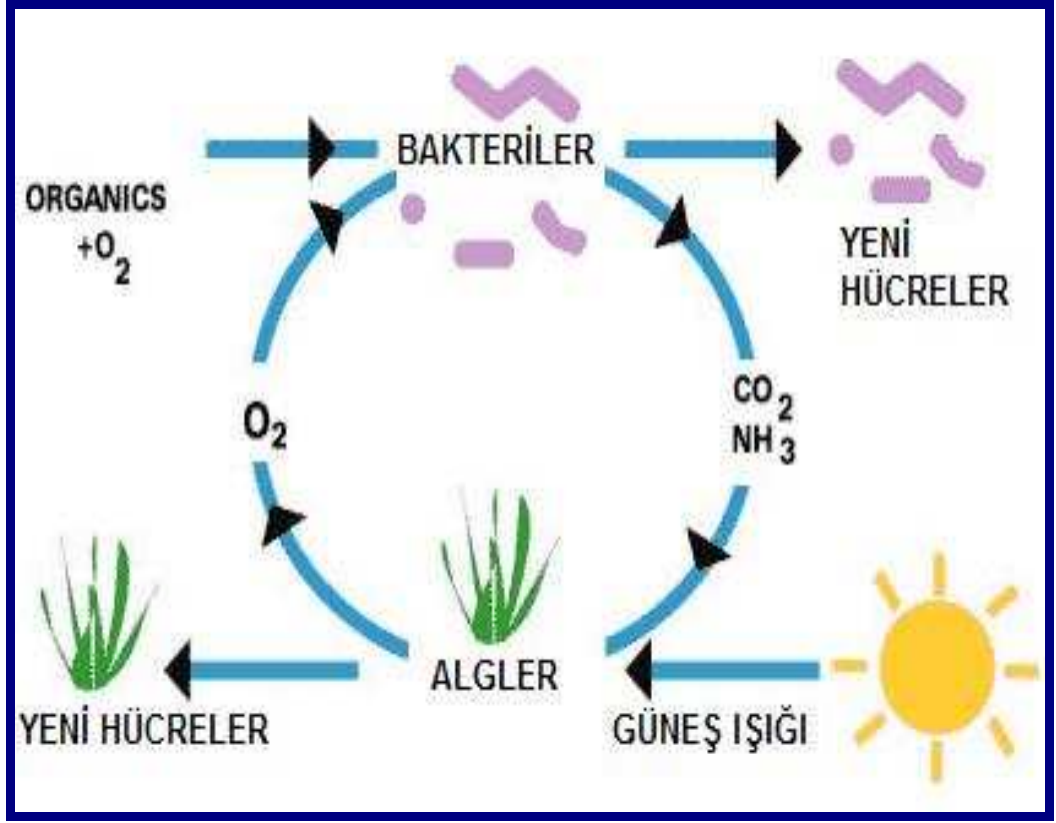
1.2.3. Biyolojik özellikler:

Evsel atık sularda bulunan belirgin organizma grupları; fungi, protozoa, virüsler, bakteriler ve algler gibi mikroorganizmalardır. Evsel atık sudaki mikroorganizmaların birçoğu insanlar ve hayvanlar için hastalık yapıcı özelliktedir. Koliform bakterileri insan atıklarından kaynaklanan kirlenmenin bir göstergesi olmaktadır. Algler de tat ve koku problemlerine yol açmaktadır.

Atık su arıtma tesislerinde alg üretimi denildiğinde stabilizasyon havuzları akla gelir ve alg üretiminin gerçekleştiğı sistemlerdendir (Şekil-1.2).

Atık suların arıtılması amacı ile kullanılan alg havuzları oksidasyon havuzlarına çok benzemektedir. Fotosentezin normal sınırlarda devam ettirilmesi amacıyla yapılan bu havuzların derinliğı genellikle 1-3 m'dir. Havuza verilen atık suyun kirliliğı arttıkça havuz daha sık yapılarak fotosentezin olumsuz yönde etkilenmesi önlenmektedir.

Alg-bakteri havuzlarındaki biyolojik arıtma işlemi aşağıdaki döngüden ibarettir.



Şekil-1.2 : Alg-bakteri havuzlarındaki biyolojik arıtma işlemi (www.thewatertreatment.com)

Yerleşim alanlarından kaynaklanan çeşitli küçük işletmeler ve evsel atık suda bulunan (antropojenik) başlıca parametreler Tablo-1’ de verilmektedir.

Tablo-1: Evsel atık sulardaki parametreler

Parametre	Ortalama Konsantrasyon(mg/L)
Toplam katı madde	700
Çözülmüş toplam katı madde	500
Sabit madde	300
Uçucu madde	200
Askı halinde toplam madde	200
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)	200
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	500
Azot	40

Fosfor	10
Klorürler	50
Alkalinite (CaCO ₃)	100
Yağ ve Gres	100

Suların, kullanım neticesi kaybettikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırabilmek veya boşaltıldıkları alıcı ortamın tabi, fiziksel, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirilebilmelerini temin için uygulanacak her türlü fiziksel, kimyasal ve biyolojik işleme “ arıtma ” denilmektedir.

Atık su arıtma tesisleri, çeşitli faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıkların arıtıldıkları, içerisindeki kirliliklerin uzaklaştırıldığı tesislerdir. Genelde birbirini takip eden havuz veya tanklardan meydana gelen atık su arıtma tesisinde, çeşitli ünitelerde fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal veya biyolojik işlemler/ süreçler ile atık su içinde yer alan partiküller veya erimiş haldeki kirliliklerin tutulması ve uzaklaştırılması sağlanır.

Arıtılmış atık suların başlıca kullanım nedenleri su ihtiyacının artması, yüzeysel suların ve yeraltı sularının kirlenmesi, su kaynaklarının düzensiz dağılımı ve periyodik kuraklıklardır. Geri kazanılmış atık sular tarımsal sulama, yüzeysel sulama alanları (park, bahçe, golf sahası, yeşil alanlar vb) , endüstriyel kullanım (soğutma suyu, proses suyu, kazan suyu), yer altı suyu beslemesi, akua kültür kullanımında değerlendirilerek geri kazanılmış olur.

Atık suların arıtılması, öncelikle halk sağlığı ve deşarj edilen atık suların çevreye vereceği muhtemel zararların önlenmesi için üzerinde hassasiyetle durulması gereken bir konudur. Arıtma hedefi, ekonomiye ve alıcı ortamların özelliklerine göre dikkatli bir şekilde belirlenmelidir. Seçilecek olan hedefler, atık su arıtımı ve bertaraf işlemlerinin dizaynını etkileyecektir. Böylece, optimum arıtma kombinasyonu ve bertaraf işlemleri gerçekleştirilmiş olur.

Atık su arıtımında hangi yöntemlerin kullanılacağı atık suyun karakterine bağlı olarak değişir. Örneğin; evsel atık sular için genelde fiziksel ve biyolojik yöntemler tercih edilirken endüstriyel atık suların arıtımı için kimyasal yöntemler uygulanmaktadır.

Türkiye’ de arıtılan atık suyun %58,5' ine biyolojik, %28,3' üne fiziksel ve %13,2' sine ileri arıtma uygulanmaktadır. Türkiye içme ve kullanma suyu kaynakları bakımından kısıtlı kaynaklara sahiptir. İçme ve kullanma su kaynaklarının kirlenmesi su kaynaklarının kısıtlanmasına neden olmaktadır. Su kaynaklarımızı korumak amacı ile atık sularımızın arıtılması gereklidir.

Evsel atık suların arıtılmasında aşağıdaki prosesler yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3 Biyolojik Arıtma

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 hedeftir. 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 bakteri ve arkea gruplarına ait organizmalar da biyolojik arıtmada kullanılmaktadırlar (Chojnacka, 2007). En yaygın kullanım alanı bulan biyolojik arıtma süreçleri, aktif çamur, damlatmalı filtreler ve biyodisklerdir.

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 çöktürölür ve sistemden çamur şeklinde uzaklaştırlılmaktadır. 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 kirletici unsurlar (organik maddeler, azot ve fosfor) ya okside edilerek veya biyokütle haline dönüştürölerek 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).

Bu prosesleri, aerobik, anaerobik, aerobik/ anoksik ve aerobik/ anerobik olarak dört temel grupta incelemek mümkündür. Bu prosesler; atık sudaki karbonlu organik maddeleri gidermek, nitrifikasyon (amonyağın doğada önce nitrite, nitritin de nitrata dönüştürölmesi) , denitrifikasyon, stabilizasyon maksatları için kullanılır.

Atık sulardan azot ve fosforun uzaklaştırlılması 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.

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.

1.4 Azot Giderimi

Biyolojik olarak azotun uzaklaştırlılması için iki temel mekanizma vardır: Asimilasyon ve nitrifikasyon- denitrifikasyon. Biyolojik olarak arıtılmış çıkış sularında azotun %90' ı 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 atık suya geri dönecektir. Nitrifikasyon- denitrifikasyonda azotun

uzaklaştırılması iki dönüşüm basamağıyla gerçekleştirilmektedir. Birinci basamak, nitrifikasyon ile amonyağın nitrata indirgenmesidir. Fakat bu basamakta azot sadece değişikliğe uğramış ve henüz uzaklaştırılmamıştır. İkinci basamak olan denitrifikasyonda, nitrat gaz şeklinde ürünlere çevrilerek uzaklaştırılmış olur. Nitrifikasyondan *Nitrosomonas* ve *Nitrobacter* ile diğer bazı genoslara ait bakteri türleri sorumludur.

1. 5 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, atık sudaki fosfor uzaklaştırılmış olur. Biyolojik fosfor giderimi aerobik ve anaerobik olmak üzere iki safhada gerçekleşir. *Acinetobacter* sp., *Aeromonas* sp. ve *Bacillus* sp. genuslarına ait kimi bakteriler atık sudaki fosforun giderilmesinde kullanılırlar.

1.6 Algler

1.6.1 Alglerin Genel Özellikleri

Biyolojik arıtmada azot ve fosfor gideriminde kullanılan organizmalardan olan algler, fotosentez yoluyla ışığı soğurup bunu inorganik maddeleri organik maddelere dönüştüren; oldukça basit yapıda, sucul organizmalardır. Alglerin insan ve hayvan solunumu için gerekli olan global oksijen üretiminin %73 - % 87' sinden sorumlu oldukları tahmin edilmektedir. Alglerin birçok türü akuatik ekolojide önemli rol oynamaktadır.

Algler, koloni halinde, suyun olduğu her yerde (deniz, tatlı su kaynağı olan göl ve su birikintileri), nemli toprak ve hayvanların vücutlarında yaşayan tek hücreli organizmalar olup ve basit çok hücreli bitkilerdir. Algler, mavi-yeşil bakteriler, öglenoidler, sarı-yeşil

ve altın- kahverengi algler, dinoflagellatlar ve benzer çeşitler, kırmızı algler, yeşil algler ve kahverengi algler olarak farklı divizyolara ayrılırlar.

Alg büyümesi için en önemli inorganik besinler azot ve fosfordur, genel olarak sırasıyla nitrat veya amonyak ve fosfat olarak bulunurlar.

Algler özellikle inorganik formdaki azot ve fosfor giderimi üzerine etkilidirler. Bazı alg-bakteri sistemlerinde organik azot ve fosfor gideriminin de gerçekleştiği gözlenmiştir. Atık sudan giderimde alg kullanmanın başlıca nedenleri, yüksek azot ve fosfor derişiminde büyüebilmeleri, maliyetinin düşük olması ve atık suya oksijen boşaltımıdır.

Mikroskobik çeşitleri suda süspanse halde bulunur ve “ fitoplankton ” diye adlandırılırlar. Fitoplanktonlar birçok denizel besin zincirinde temel besini oluştururlar. Çok yüksek konsantrasyonlarda (algal patlama diye adlandırılır) bu algler suyun rengini bozarlar ve diğer canlılar için toksik etkiye neden olabilirler.

Mikroalgler enerji ürünü olarak üretilme potansiyelleri çok yüksek olan foto sentetik, hetetrofik organizmalardır. Gelecekteki yenilenebilir enerji senaryolarında önemli bir yere sahiptirler. Bazı mikroalg türleri biyofotoliz yoluyla oksijen ve hidrojen üretiminde etkiliyken, bazıları da yüksek- enerjili sıvı yakıtlar için uygun olan hidrokarbonların üretiminde etkindirler. Bir kez yetiştirildiklerinde, hasat ve taşıma maliyetleri konvansiyonel ürünlere göre daha düşüktür ve küçük boyutta olmaları da düşük maliyetli prosesleri beraberinde getirir. Laboratuar koşullarında kolaylıkla incelenirler. Genetik ve metabolik araştırmalara verdikleri yanıt konvansiyonel bitkilere göre çok daha kısa sürelidir.

1.6.2. Alglerin Kullanım Alanları

a. Gübre: Asırlar boyu deniz algleri gübre olarak kullanılmışlardır. Aynı zamanda alglerin agar olarak ticari kullanımı da yaygın dır.

b. Enerji kaynağı: Algler biyodizel üretiminde de kullanılabilirler ve bazı tahminlere göre, aynı amaçla yetiştirilen toprak ürünlerine göre çok daha fazla miktarda yağ içerirler. Algler hidrojen üretimi için de kullanılabilirler. Alglerden ısı ve elektrik üretimi için yakıt olarak kullanılabilecek biyokütle elde edilebilir.

c. Kirlilik kontrolü: Algler atık su arıtım tesislerinde tehlike madde içeriği düşürmede kullanılırlar. Algler çiftliklerden yağmur suyu ile akan gübrelerin tutulmasında (algler için besin ortamı olarak) kullanılırlar. Hasat edildiğinde bu zenginleşmiş alglerin kendileri de gübre olarak değerlendirilirler. Alg biyoreaktörleri, CO₂ emisyonlarının azaltılmasında bazı işletmelerde kullanılabilirler. CO₂ havuzlarda, tanklarda yetiştirilebilir. Alternatif olarak biyoreaktör bir baca gazının bitişiğine yerleştirilebilir.

d. Beslenme: Deniz Algleri özellikle Asya’da önemli besin kaynağıdır. A, B1, B2, B6, niacin ve C vitaminlerinin kaynağıdır. İyodin, potasyum, demir, magnezyum ve kalsiyum bakımından zengindirler. Algler ticari olarak diyet takviyesi olarak yetiştirilirler. En önemli türlerden bir tanesi olan *Spirulina (Arthrospira platensis)* , bir siyanobakteridir (mavi- yeşil alg olarak bilinir) , ve “ süper besin ” olarak tanımlanır. Besin değerleri sebebiyle kültürleri yapılan diğer alg türleri; *Chlorella* (yeşil alg) , ve beta- karotene ve C vitamince yüksek değere sahip *Dunaliella*’ dır (*Dunaliella salina*).

e. Diğer kullanım alanları: Algler tarafından elde edilen doğal pigmentler, kimyasal boyalara ve boyama ajanlarına alternatif olarak kullanılırlar. Bugün kağıt sanayindeki pek çok ürün, kullanılan boyalar yüzünden geri dönüştürülememektedir ancak alglerden elde edilen boyaların imhası çok daha kolaydır. Aynı şekilde gıda endüstrisinde de boyama amaçlı katkı maddelerinin yerini bu alg türevi boyalar almaktadır. Bunlar;

- Boya sanayii
- Tekstil sanayii

- Kauçuk sanayii
- Kağıt sanayii
- İnşaat sanayii
- Kozmetik sanayii
- Diş sanayii
- İlaç sanayii
- Yiyecek sanayii
- Alkol sanayii
- Gübre sanayidir.

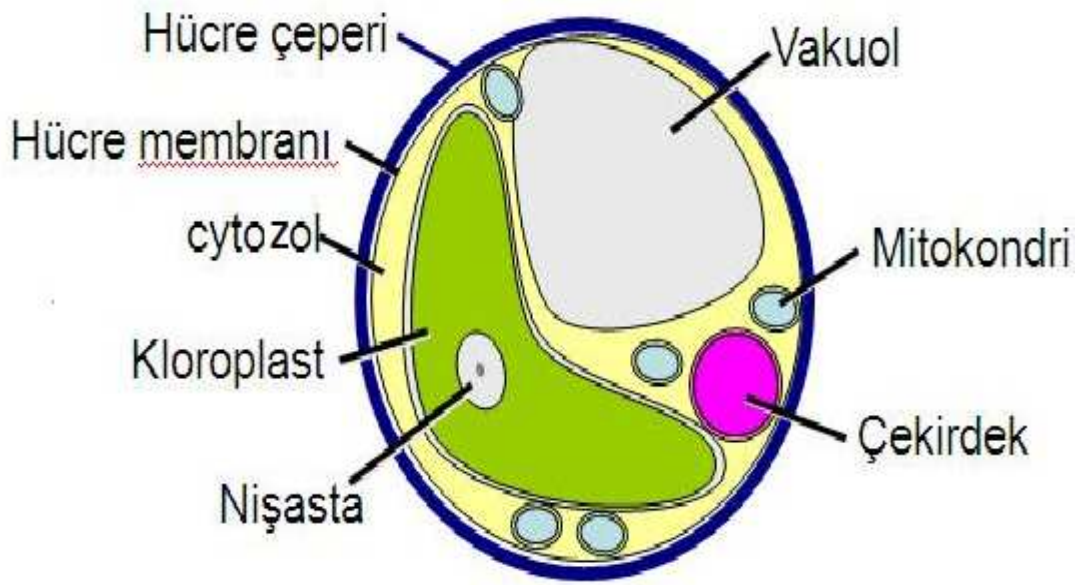
Ayrıca kırmızı alglerden, Agar- Agar adlı jel madde de üretilebilir.

1.6.3. Alglerin Fizyokimyasal Yapıları:

- a. Protein - peptid - aminoasit:** Yeşil alglerde valin, leusin, isoleusin, freonin, fenilalenin, metionin, triptofan, lizin vb. maddeler bulunur.
- b. Polisakkaritler:** Kırmızı alglerde valsit, sicillit, laminit, dulsit, glukozit, flordosit bulunur.
- c. Yağ - lipid ve steroidler:** Kahverengi alglerde %0.16 - %6.3 arasındayken yeşil alglerde çok azdır.
- d. Vitaminler:** Yeşil alglerde A, B, E ve az miktarda da diğer vitaminlerden olduğu bilinmektedir. Örneğin kahverengi alglerden Atlas Okyanusunda bulunan *Fucus vesiculosus* adlı yosundan C vitamini elde edilmektedir.

1.7 *Chlorella vulgaris* Beijerinck

Bu çalışmada klorofil içeren ve yeşil alglerin bir üyesi olan *Chlorella vulgaris* Beijerinck kullanılmıştır. Birçok araştırmada deney materyali olarak kullanılan *Chlorella vulgaris* Beijerinck çoğunlukla tatlı sularda, ağaç kabuklarında ve taşlar üzerinde yeşil örtüler oluştururlar. Mantarlarla birleşerek likenleri meydana getirirler (Şekil-1.3).



Şekil-1.3: *Chlorella vulgaris* Beijerinck Hücresi ve kısımları

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* (Şekil-1.4) en yüksek nükleik asit miktarına sahiptir. *Chlorella vulgaris* başta azot ve fosfor bileşikleri olmak üzere ağır metallerin atılmasında, atıksu arıtma için kullanılır.



Şekil-1. 4: *Chlorella vulgaris*

Chlorella 2,5 milyar yıllık, tek hücreli, tatlı sularda bulunan ve yaşayan bitkilerin içinde bir defada en yüksek üreme hızına sahip algdır. Gerçek çekirdeğe sahip ilk bitki formudur. Belli bir hacimde *Chlorella*, bilinen diğer bitkilere göre daha yüksek miktarda klorofil içerir. Klorofile ek olarak; vitaminler, mineraller, diyet lifleri, nükleik asitler, amino asitler, enzimler ve *Chlorella* Büyüme Faktörü (Hasar görmüş organ ve dokuları onarma potansiyeline sahip maddeler grubu) içerir.

Chlorella kendini tam bir besin yapmaya yetecek kadar karbonhidrat içerir. *Chlorella* hücrelerinin biyokimyasal yapısı bir insan hücresinin ihtiyaç duyduğu besinlerle oldukça örtüşen besinlerden oluşur. Bu da hücre koruma özelliğini açıklar. Yeşil besinlerin tümü içinde, *Chlorella* en yüksek nükleik asit miktarını kapsar. *Chlorella*'nın hücre çeperinin kolonun detoksifiye edilmesi, peristaltik aktivitenin uyarılması ve yararlı bakterilerin üremesini hızlandırmak bakımından pozitif etkileri bulunurken zararlı bakterilerin üremesine karşı da antimikrobiyal özellik gösterir.

Chlorella, “ alkali oluşturan besinlerin kralı ” olarak bilinir. Çünkü iyi bir pH dengesi sağlar. Kurşun, civa, bakır ve kadmiyum gibi ağır metallerden vücudu arındırma konusunda da etkilidir. Çünkü vücudun ana detoksifikasyon organı olan karaciğeri güçlendirir. Beta karotene ek olarak, *Chlorella*, ıspanaktan daha fazla demir içerir.

Chlorella, eklem sertliğini azaltması, kan basıncını düşürmesi ve gastrit ve ülserleri hafifletmesiyle bilinir. Zengin besin içeriği nedeniyle kilo verme programlarında da etkilidir. Düşük besin alımında hem temizleme yeteneği hem de kas tonusunu sağlama özelliği vardır. Daha ileri bir faydası da düzenli *Chlorella* sp. tüketiminde artan enerji ve sağlıktır. Alglerin 25000'den fazla türü içinde, *Chlorella* en çok besinsel faydayı sağlar, çünkü vücudun temizlenmesine yardımcı olan %1,7 - 7,0 doğal klorofil içerir.

Bilim insanları, *Chlorella*' sp. yi kanser tedavisinde gelecek vaad eden bir ajan olarak kabul etmektedir. Birçok çalışmada, bilim insanları neoplastik büyümenin etrafına *Chlorella*'nın sulu çözeltisi enjekte edildiğinde farelerdeki kanserli büyümenin azaltılabildiğini hatta durdurulabildiğini göstermiştir. Bazı vakalarda, tümör hücreleri *Chlorella* enjeksiyonu yapılan noktalarda tamamen yok edilmiştir. Daha sonra, oral yolla verilen *Chlorella*'nın da antitümör etkiye sahip olduğu keşfedilmiştir. Tek hücreli tatlısu mikroalgi *Chlorella vulgaris* başta azot ve fosfor bileşikleri olmak üzere ağır metallerin atılmasında, atık su arıtma için kullanılır.

Mikroalg ve diğer mikroorganizmaların atık su arıtma sırasındaki etkileşimleri veya ekolojik nişleri çok iyi araştırılmamıştır. Son zamanlarda tarımda bir aşılama olarak kullanılan bitki büyüme destekleyici bakteri *Azospirillum brasilense* ile *Chlorella vulgaris*'in birlikte tutulması, mikroalglerin büyüme ve pigment üretimine, bakterinin karasal bitkilerin büyümesi üzerine etkisine benzer bir etki göstermiştir. Ancak gölet atık su arıtımıyla ilgili *Phyllobacterium myrsinacearum* ile mikroalgin (*Chlorella vulgaris*) birlikte tutulması, mikroalgin metabolizmasını değiştirmiş ama büyümesine yeterli olmamıştır.

Chlorella vulgaris Beijerinck çoğunlukla tatlı sularda, ağaç kabuklarında ve taşlar üzerinde yeşil örtüler oluştururlar (Şekil-1.5, Şekil-1.6) . Mantarlarla birleşerek likenleri meydana getirirler.



Şekil 1.5: Kültürde  o alt lm ş *Chlorella vulgaris*



Şekil 1.6: Saf *Chlorella vulgaris* kültürü

1.8. N/P Oranı

Bu iki besin 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 sınırlandırılıyor denilebilir. Tablo-2 'de göllerde sınırlayıcı elementin tespiti için çok genel olarak kullanılabilecek bir yaklaşım verilmektedir.

Tablo -2: Göller için sınırlayıcı besin maddesi oranları (Muslu 2001)

Büyük göller (yaygın kaynakların hâkim olması durumu)	$N/P > 10$ fosfor kontrollü
Küçük göller (noktasal kaynakların hâkim olması durumu)	$N/P < 10$ azot kontrollü

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Alg üretiminin atık su arıtımındaki rolüyle ilgili olarak;

Fruend ve ark. (2003) tarafından stabilizasyon havuzlarında fotosentetik mikroalglerin arıtım işlemindeki performansını ortaya koyan çalışmasında *Chlorella vulgaris*' in yüksek fotosentetik kapasiteyle oksijen üretimine büyük katkıda bulunduğunu, bunun yanında *Ankistrodesmus* türlerinin de bazen baskın duruma geçtikleri ancak *Chlorella vulgaris* kadar etkin olamadıkları ortaya konulmuştur. Çalışma da stabilizasyon havuzlarındaki çevresel faktörlerle algal fotosentetik potansiyel arasındaki bağlantı ortaya koyulmuştur. Buna göre *Chlorella* stabilizasyon havuzlarında aşağıdaki sebeplerden dolayı en önemli alg türü olarak belirlenmiştir:

- Yıl boyunca yüksek sayılarda varlığını sürdürebilmektedir.
- Toplam askıda katı madde miktarına katkısı sınırlıdır.
- Birim biyokütle başına oksijen temininde yüksek potansiyel göstermektedir.
- Fotosentetik yapıları amonyum ve sülfid streslerine karşı çok dirençlidir.
- Asetat gibi uçucu yağ asitleri varlığında farklı büyüme özellikleri göstermektedirler.

Mostert ve ark. (1987) yaptıkları araştırmada yüksek verimli alg kültürü elde etmek için en uygun azot-fosfor oranı araştırılması ve bu sırada baskın olan alg türleri ortaya konulmuştur. Çalışmalarında baskın olan türlerin *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Monoraphidium* olduğu görülmüştür.

Şimdiye kadar yapılan bu tip çalışmalarda; Sawayama ve ark. (1992) bir evsel atık su arıtma tesisinin ikincil arıtımından çıkan suyu alg yetiştirme besi yeri olarak kullanmışlar ve *Botryococcus braunii*'nin bu sularda N gideriminde etkili olduğu ve büyümesini sürdürdüğü açıklamışlardır.

Katırcıoğlu ve ark. (2007) tarafından Mogan gölünden izole edilen *Oscillatoria* sp. yardımıyla kadmium' un su sistemlerinden kurutulmuş ve canlı *Oscillatoria* kullanılarak uzaklaştırılması çalışması yapılmıştır.

Yine 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), *Scenedesmus* sp.' nin sentetik atık suda üretilmesini sağlamış ve atık sudaki NH₄-N'unu kullanarak % 79,4 oranında gidermeyi sağlamış ancak biyokütle artışının normalden biraz düşük olduğunu bildirmiştir. Yine Voltolina ve ark. (1998) bildirdiğine göre Oswald, atık sudaki karbon fazlalığının alg büyümesini sınırladığını ifade etmiştir. Bu çalışmada sıcaklığa ve hidrolik bekletme süresine bağlı olarak alglerin sentetik atık su içerisinde kontrollü bir ortamda gerçekleştirdiği büyüme potansiyeli ortaya çıkarılmıştır. Sürekli, yarı sürekli yada kesikli işletilen çeşitli fotobiyoreaktör sistemlerinin azot ve fosfor giderim çeşitli çalışmalara incelenmiştir.

Olguin vd (2003) yarı sürekli olarak işlettiği fotobiyoreaktör sistemde, %2 seyreltilen hayvansal atıkların arıtıldığı anaerobik reaktör çıkış suyundan %92 oranında amonyum azotu ve %72 oranında fosfor giderimi elde etmiştir.

Diğer araştırmacılara göre amonyum algler tarafından nitrata göre alınımı ile ilgili olarak düşük enerji harcaması nedeniyle (Wheeler 1983) daha kolay bir şekilde emilebilmektedir (Cromar ve ark. 1996; Hyenstrand ve ark. 2000).

Nitrat indirgeme için gerekli enzimler amonyum özümleme işlemi tarafından devre dışı bırakıldığında (McCarthy 1981; Syrett 1981), azotun iki bileşiğinin de mevcut olması halinde, ilk olarak amonyum kullanılmaktadır (Caperon ve Meyer 1972; McCarthy ve Eppley 1972; Dortch ve ark. 1982, 1991).

Ruiz ve ark. (2001) atık sulardan azot ve fosforun uzaklaştırılması için *Chloralla vulgaris*' in uygunluğunu değerlendirdikleri bu çalışmada kentsel atıksu arıtım tesisinden gelen suyu ikincil olarak biyolojik arıtma tabi tutmuşlardır. Bu çalışmalarda deney materyali olarak saf *Chloralla vulgaris* Beijernick kullanmışlardır. Sonuçlar ikincil atıksu tesislerindeki atık suda *Chloralla vulgaris*' in besin tuzlarını azaltmada yüksek bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur.

İlgi K.K ve Şebnem A., (2007) sürekli işletilen alg-fotobiyoreaktör sisteminde atık sudan azot giderimini incelemişlerdir. Bu çalışmada deney materyali olarak *Chloralla vulgaris* Beijernick kullanarak farklı hidrolik alıkonma süresi ve başlangıç azot konsantrasyonlarında azotun giderim hızı hesaplanmıştır. En yüksek azot gideriminin hidrolik alıkonma süresindeki artışla paralel olduğu gözlenmiştir. Yine en yüksek azot giderim verimi 10 mg/L NH_4N konsantrasyonunda elde edilmiştir.

3. MATERYAL-METOD

3.1. Alglerin Yetiştirilmesi

Bu çalışmada *Chloralla vulgaris* Beijernick saf kültürü kullanılmıştır. Alglerin izolasyonu, yetiştirilmesi ve N-P miktarının belirlenmesi için karışık bir su ortamında 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 Gazi – MACC laboratuvarında üretilmiştir (Atıcı ve diğ. 2006).

3.1.1 Kültür ortamının hazırlanması

Alglerin yetiştirilmesi için hazırlanan BG11 (besi ortamı) kültür ortamında olması gereken en temel maddeler:

- Makro elementler: N ve P
- Oligo elementler: Fe ve Mn
- Vitaminler: Kobalamin, Biotin, Aneurin
- pH ve sterilizasyon

Not: pH dengesi soda ve sitrik asitle ile sağlanabilmektedir.

3.1.2. Kültür kapları

Kültür amacına uygun cam kaplar kullanılmıştır. Plastik kaplar temizleme açısından daha olumlu sonuçlar verir. Genelde 6 cm çapında ve 20 cc besin çözeltisi alan kaplar seçilmiştir. Kültür kaplarının temizliği ve sterilizasyonu için sülfürik asit ve klorat kullanılmıştır. Kullanılacak malzemeler bu karışımla yıkandıktan sonra 120 °C kuru sterilizasyona tabi tutulur.

3.1.3. Kültür ortamında sıcaklık ve ışık

Sıcaklık, türlere ve amaca göre 0-30 °C arasında değişir. Genelde beyaz ışık veren kaynaklar (floresanlar) kullanılır. Türler için 5000 lüx'ü geçmemesi iyi olur. Çoğu tür

için ortalama 14 saat ışıklandırma, 10 saat karanlıkta bekletme evresi uygundur. Bu çalışmada 3000 lux ve 16 saat ışıklandırma, 8 saat karanlıkta bekletme şeklinde üretim yapılmıştır.

3.1.4. İzolasyon tekniği

Karışık bir ortamdan örneklerin alınması için; ya çok fazla yıkayarak indirgeme yöntemi kullanılır ya da ağız pipetleri kullanılır. Cam pipetler ateşe tutularak inceltilmiş, ağıza gelen kısım kalın, diğer uç oldukça kılcal hale getirilmiştir. Bazen ağızlığa lastik hortum da geçirilebilir. Kullanılan pipetler damıtık suyla temizlenmiş, alg örneği alınan uç da kırılarak atılmıştır.

3.1.5. Kültür oluşturma ve bakımı

Mikroskobik algler, kültür ortamlarına genellikle inverted mikroskop altında nakledilmiştir. Agarlı ortamda üretim yapılacaksa aşılama ya bir hücreyi itebilecek güçte hafif püskürtmeler ile olur ya da aşı iğnesi ile çizmek suretiyle yapılır. Kültür ortamına ekilen alg hangi amaç için üretilecekse uygulanan değişik besiyerleri duruma göre ilave edilir ve ihtiyaçlar karşılanmaya çalışılır.

3.2. Kültür Ekimi ve Besiyerinin Hazırlanması

Besiyeri (BG11) Hazırlama: BG11 hazırlanırken Tablo-3.'de verilen kimyasallar kullanılmıştır.

Tablo-3: BG11 (besiyeri) hazırlamada kullanılan kimyasal maddeler ve miktarları

NaO3	15g
K3HPO4	0.4 g
MgSO4.H2O	0.75 g
CaCl2.2H2O	0.36 g
Citric asit	0.06 g
Ferrick amonium citrate	0.06 g
Na2-EDTA(selection B)	0.01 g
Na2CO3	0.2 g

Mezurdan 9.100 ml distile su ölçerek erlene eklenmiş ve ardından sırayla kimyasallar eklenerek ağzı pamukla kapatılıp, sterilizasyon için otoklava konulmuş ve 45 dk beklenmiştir. Ortamdaki mikroorganizmaları uzaklaştırmak için bek ateşi yakılmış, 5 dk kadar beklenmiştir. BG11 (besiyeri) ve ekimi yapılacak olan alg türü (*Chlorella vulgaris*) hazırlanmış ve mikropipet yardımıyla erlenmayerin hacmine göre belirlenen değerde alg çekilmiş ve hazırlanan besiyerine eklenmiştir. Kültürün devamlılığı süresince mikrobiyal kontaminasyon kontrolü pasaj sırasında alınan alg örnekleri Plate Count Agar a ekimleri yapılarak belirlenmiştir.

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. Hach şirketi tarafından geliştirilen kitler amonyum ve fosfor iyonlarının spesifik tespiti için kullanılmıştır.

3.2.1. Alg kültürleri

Deneylerde kullanılacak alglerin üretimi için kesikli kültürler aşağıdaki koşullar altında hazırlanmıştır:

- $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$, dakikada 90 devirli (rpm) %100 çözünmüş oksijen,
- Işık kaynağı olarak 2 adet $36 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sn}$,

Kesikli kültürlerle de aynı koşullar sabit tutulmuş ve solüsyon değişimi olmadan 48 saat boyunca inkübe edilmiştir (1 döngü). Ardından solüsyon analiz için aktarılmış ve yeni steril atık su solüsyonu daha fazla inkübasyon için eklenmiştir. Erlenmayerler de kesikli kültür (500 mg/L) daha önce anlatılan besiyeri hazırlama teknikleri kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil - 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).



Şekil 3.1: Kültür koşullarının hazırlanması



Şekil 3.2 : Kültür koşullarının hazırlanması



Şekil 3.3: *Choleralla vulgaris* in besi ortamına ekimi



Şekil 3.4: Kültüre alınmış mikroorganizmalar

3.3. Biyokütle miktarının belirlenmesi

Biyokütle miktarı inkübasyon süresi boyunca hücre sayımı ve klorofil tayini Shimadzu® UV 1201V-Japan ile spektrofotometrik olarak saptanmıştır.

3.3.1. Klorofil *a* ölçümü

İlk aşamada süzme işlemini yapılarak *Chlorella vulgaris* Whatman kâğıdıyla süzölmüş ve bu kâğıt erlenmayere 10 ml alkolle birlikte konulmuştur.

Alkol olmasının nedeni, hücre çeperinin parçalayıp klorofilleri serbest kalmasıdır. Bu aşamada manyetik karıştırıcı da kullanılır.

Hücre çeperi parçalandıktan sonra numuneyi santrifüjde 5 dk 4000 devirle çevirerek yoğunluk farkından faydalanıp kalıntıların çöktürölmesini sağlanmıştır.

Bir sonraki aşamada spektrofotometre ile klorofil-*a* nın absorbans değeri ölçölmüştür. Buna göre aşğıdaki formöl kullanılarak klorofil-*a* konsantrasyonunu belirlenmiştir.

$$(\text{Klorofil } a \text{ konsantrasyonu} = \text{mikrogram/l}) = 13,6 \cdot A \cdot v / d \cdot V$$

v: süzöntü hacmi

d:küvetin taban hacmi

V:ilk süzölecek örnek

A:absorbans değeri

➤ A:0,6

➤ V:4 ml

➤ d:1cm

➤ V:100 ml

$$13,6 \cdot 0,6 \cdot 4 / 1 \cdot 100 = 3,1 \text{ } \mu\text{g} / \text{L klorofil } a \text{ değeri}$$

3.3.2 Alg sayımı

Çalışma materyali olan *Chlorella vulgaris*, Gazi Üniversitesi Biyoloji Eğitimi Anabilim dalı GAZI-MACC laboratuvarı alg koleksiyonlarından saf olarak alınmıştır. Logaritmik fazı kontrol etmek için sürekli sayım yapılmıştır (Şekil – 3.5, 3.6, 3.7). Alg sayımı Thoma lamı ile yapılmıştır.

Çalışmalarda kullanılan *Chlorella vulgaris* alg kültürü saf olarak alındıktan sonra aynı laboratuvarı üretilmiştir. Kültür ortamının sıcaklığı 27 ± 2 °C civarında ve sürekli olarak kontrol altında tutulmuştur. Kültürler 16 saat gündüz 8 saat gece periyodunda statik olarak inkübe edilmiştir (OECD, 1984). Işık kaynağı olarak 2 adet $36\text{ }\mu\text{mol/m}^2\text{sn}$ 'lik gün ışığı lambası kullanılmıştır. Kültürler günlük kontrolleri sırasında gün içinde birkaç kez el ile çalkalanmıştır.



Şekil 3.5: *Chlorella vulgaris*' in pipetle alımı



Şekil 3.6: *Chlorella vulgaris*' in sayım için Thoma lamına alımı



Şekil 3.7: *Chlorella vulgaris*'in Thoma lamı yardımıyla sayımı preparasyonu

3.4. Sentetik ve Kentsel atık suyun hazırlanması

3.4.1 Sentetik 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. Kùltürler için KH₂PO₄, 12-15 mg/L aralığındaki bir düzeyde tek fosfor kaynağı olarak kullanılmıştır (Becker, 1994).

Tablo-4: Sentetik atıksu hazırlamada kullanılan maddeler ve miktarları

Karışım	Miktar
NaCl	7 mg/L
CaCl ₂	4 mg/L
Na ₂	33.4 mg/L
NH ₄ Cl	30 mg/L
MgSO ₄ .7H ₂ O	2 mg/L
K ₂ HPO ₄	21.7 mg/L
KH ₂ PO ₄	8.5 mg/L

3.4.2 Kentsel Atık Suyun temini

Çalışmada kullanılan doğal atık sular Ankaradan geçen ve şehrin tüm kirlilik yükünü taşıyan Ankara Çayından alınmıştır (Atıcı, 2005).

3.5. Deney ortamı

Sentetik atık su 1L distile suyun içerisine tablo 4 te verilen bileşikler katılarak hazırlanmıştır.

Hazırlanan sentetik atıksu ile sayımı yapılan saf *C. vulgaris* 1:1 oranında karıştırılmıştır. Ankara Çayı' ndan alınan 1L kentsel atıksu da sayımı yapılan saf *C. vulgaris* ile 1:1 oranında karıştırılmıştır (Şekil – 3.8).



Şekil 3.8: Fotobiyoreaktör hazırlanışı

3.5.1. Deneysel Tasarım ve İstatistik Analiz

Deneme yapılan kesikli kültürler, her denemede erlenmayer kullanılarak analiz edilmiştir. Her deney aynı şekilde 3 kez tekrarlanmıştır. Her örnekleme zamanında su analizi için üç tane 50 mg/L numune alınmıştır.

Tez çalışmasında uygulanacak arıtma yöntemi biyolojik arıtmadan çıkan atık suyun kalitesini daha fazla iyileştirmek için uygulanan ileri ve son arıtma basamağı olup, burada, azot ve fosfor giderme de maliyet ve çevre açısından daha avantajlı olduğu belirlenen mikroalglerle arıtım işlemini içermektedir.

3.6. Analitik Metodlar

Fosfor iyonu içeriği standart su analiz teknikleri ve Hach DR/2000 spektrofotometre (Hach Co. , Loveland, CO, USA) kullanılarak ölçülmüştür. Fosfor (ortofosfat) askorbik asit metoduyla analiz edilmiştir. Nitrat iyonlarının belirlenmesi için Hach Company tarafından geliştirilen kitler kullanılmıştır. Deney ortamında nutrient gideriminde kullanılacak tüm parametrelerin optimum konsantrasyonları ve bunların *Chlorella vulgaris* performansı üzerine etkileri belirlenmiştir. Biyokütle miktarı inkübasyon süresi boyunca 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). Hach şirketi tarafından geliştirilen kitler amonyum ve fosfor iyonlarının spesifik tespiti için kullanılmıştır.

3.6.1. Nitrat iyonu tayini

Nitrat azotu ($\text{NO}_3 - \text{N}$ mg/ L) : Kadmiyum indirgeme metodu ile Nitrover 5 Nitrat Reaktif Powder Pillow kitleri kullanılarak HACH LANGE DR2800 marka spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır.

Spektrofotometrede ölçüm yapmak için öncelikle yüklenmiş programlardan NİTRAT MR PP testi seçilmiştir. Daha sonra kare küvetlere 10 ml numune doldurulmuştur. Numunenin içerisine Nitrover 5 Nitrat Reaktif Powder Pillow ekleyip kapağı kapatılarak 1 dk' lık reaksiyon süresi başlatılmıştır. Süre dolana kadar hücre çalkalanmıştır. Süre dolunca 5 dk' lık reaksiyon süresi başlatılmıştır. Süre dolduğunda diğer bir kare küvete 10 ml numune doldurularak körv hazırlanmıştır. Körv hücre tutucuya yerleştirilerek spektrofotometrede sıfırlanmıştır. Daha sonra hazırlanmış numuneyi hücre tutucuya yerleştirilerek okunmuştur.

3.6.2. Fosfat iyonu tayini

Fosfat iyonu (PO_4 mg /L) : LCK 348 marka DosiCap Zip'leri kullanılarak HACH LANGE DR2800 marka spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır. Fosfat ölçümleri için DosiCap Zip' ler kullanılmıştır. Bunun için bir DosiCap Zip' in kapağını açarak içerisine 0,5 ml numune eklenmiştir. DosiCap kapağı küvete kapatılmış ve birkaç kez

çevrilmiştir. Termostat 100⁰C’ de 60 dk ısıtılmıştır. Daha sonra soğutulmuş küvetin içine 0,2 ml Reaktif B eklenerek yeşil DosiCap C kapağı küvete kapatılmıştır. Sonra birkaç kez tersine çevrilerek 10 dk bekletilmiş ve süre dolduktan sonra tekrar çevrilerek spektrofotometreye yerleştirilip okunmuştur (Tablo-5).

Tablo-5: Örnek alınan yerler, tarih, sıcaklık ve örneklerde uygulanan metot ve deney

Metot	Ankara Çayı	Tarih	Sıcaklık	Deney
Standart Metotlar, spektrofotometre	18,3 NO ₃ -N (mg/L)	21.07.2011	30	<i>Nitrat Deneyi</i>
Standart Metotlar, spektrofotometre	3,401 PO ₄ -P (mg/L)	21.07.2011	30	<i>Toplam Fosfat</i>

Deneysel çalışmalara başlamadan önceki sentetik atık su değerleri yukarıdaki metodlara göre belirlenmiş ve aşağıdaki değerler (Tablo 6) bulunmuştur.

Tablo-6: Sentetik atıksu başlangıç azot ve fosfat değerleri, tarih, sıcaklık ve örneklerde uygulanan metot ve deney

Metot	Sentetik atıksu	Tarih	Sıcaklık	Deney
Standart Metotlar, spektrofotometre	26,3 NO ₃ -N (mg/L)	20.07.2011	26	<i>Nitrat Deneyi</i>
Standart Metotlar, spektrofotometre	2,01 PO ₄ -P (mg/L)	20.07.2011	26	<i>Toplam Fosfat</i>

4. BULGULAR

Laboratuvarda ekimi yapılan alglerin 1 litrede maksimum seviyeye gelene kadar sayımları yapılmıştır. Deneysel çalışmalara başlamadan önce ortalama 6.440.000 adet organizma sayılmıştır. Bu sayının deneysel çalışmalara aktarılmadan önce birkaç gün sabit kaldığı gözlenmiştir. Ekimi yapılan *Chlorella vulgaris*'in 30 gün süre ile sayımı yapılmış ve sonuçta ortalama alg sayıları hesaplanmıştır.

Maksimum hücre seviyesine gelen kültürlerde gerekli biomas analizleri yapılarak atık su ve sentetik atık sudaki azot ve fosfat giderimini belirlemek için fotobioreaktörlere aktarılmıştır. Hazırlanan sentetik atık su ile Ankara Çayı'ndan alınan kentsel atık su ve saf mikroalg kültürünün Fotobioreaktörlere alınmadan önceki azot ve fosfat değerleri Tablo-7'de verilmiştir.

Tablo-7: Kültür ortamlarındaki *C.vulgaris* sayıları ve saf kültürün azot ve fosfat değerleri

Sentetik atıksu ile karıştırılan 1 L kültürdeki <i>C. vulgaris</i> sayısı	6.410.000 birey/L	
Kentsel atıksu ile karıştırılan 1 L kültürdeki <i>C. vulgaris</i> sayısı	6.440.000 birey/L	
<i>C.vulgaris</i> Kültürü (Saf)	NO3-N (mg/L)	PO4-P (mg/L)
	2,66	3,75
Sentetik atıksu + <i>C. vulgaris</i>	26,03	2,01
Kentsel atıksu + <i>C. vulgaris</i>	18,3	3,40

Sentetik ve kentsel atık su ile bire bir oranda karıştırılan alg kültürünün (*C.vulgaris*) fotobioreaktörlerde 30 gün boyunca her 2 günde bir yapılan sayım sonuçları aşağıdaki çizelgede (Tablo-8) verilmiştir.

Tablo-8: Fotobioreaktördeki organizma sayıları

		Sentetik atıksu + <i>C. vulgaris</i> (birey/ml)	Kentsel atıksu + <i>C. vulgaris</i> (birey/ml)	Sıcaklık °C
Başlangıç	Fotobioreaktördeki organizma sayısı	6.410.000	6.440.000	27±2
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 atıksudaki alıkonma zamanı uzadıkça *C. vulgaris*’ in hücre sayısında artma meydana gelmiş, buna karşılık kentsel atıksudaki *C. vulgaris* ‘ in hücre sayısında azalma olmuştur. Klorofil -a değerlerine bakıldığında yine bu sonuca uygun bir dağılım bulunmuştur. Sentetik ve atık su ile bire bir oranda karıştırılan alg kültürünün fotobioreaktörlerde belli aralıklarla ölçülen Klorofil -a değerleri ve azot-fosfat biyosorpsiyon değerleri aşağıdaki Tablo-9’ da verilmiştir.

Tablo-9: Sentetik ve Kentsel atıksu Fotobioreaktöründeki Alg Biyokütlesi tarafından Azot ve Fosfat biyosorpsiyonu ve Klorofil -a miktarları

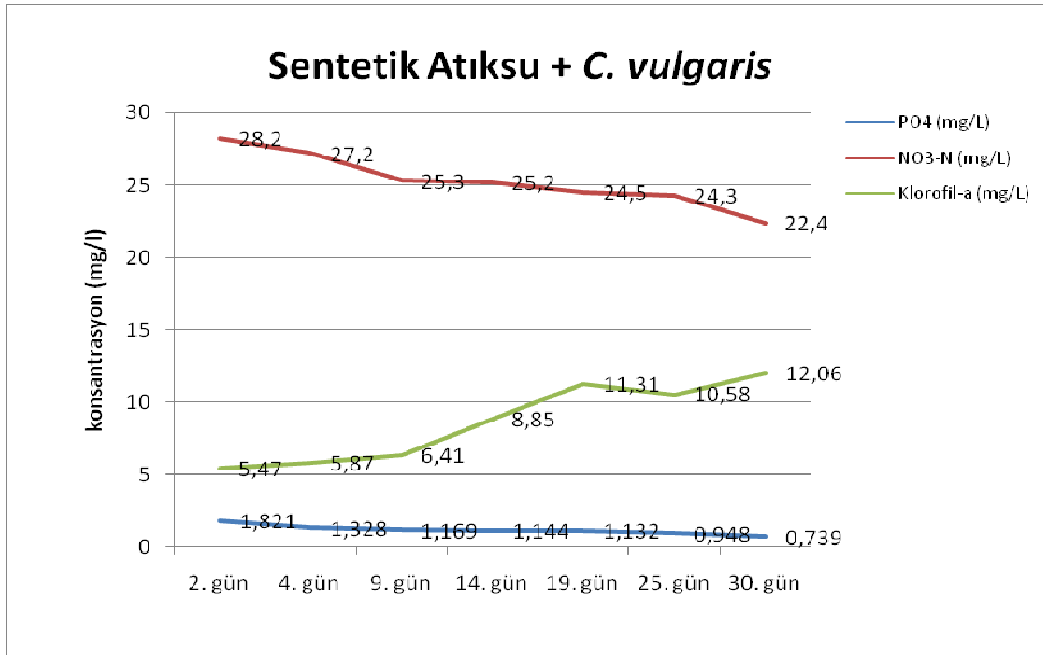
Zaman	Sentetik Atıksu + <i>C. vulgaris</i>			Kentsel Atıksu + <i>C. vulgaris</i>		
	PO ₄ (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Klorofil-a (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Klorofil-a (mg/L)
Başlangıç	2,01	26,03	3,1	3,40	18,4	3,1
2. gün	1,821	28,2	5,47	3,40	18,4	6,92
4. gün	1,328	27,2	5,87	2,521	16,6	4,03
9. gün	1,169	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	10,58	0,864	8,7	2,15
30. gün	0,739	22,4	12,06	0,440	7,94	1,94

Deneysel çalışmada fotobioreaktöre alınan organizmanın (*C. vulgaris*) otuz günlük hidrolik alıkonma sürecinde azot ve fosfata karşı giderim verimi belirlenmiştir. Deney başladıktan hemen sonraki iki günlük süreçte sentetik atıksuda gözlenen değişime karşılık, kentsel atıksudaki azot ve fosfat değerlerinde değişim olmamıştır. İkinci günden itibaren azot ve fosfat gideriminde sürekli değişimler gözlenmiştir. Otuzuncu gündeki giderim sonuçlarına bakıldığından uygun hidrolik alıkonma zamanının *C. vulgaris*'in azot ve fosfor giderim veriminde etkili olduğu gözlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Son on yıl içinde mikroalglerin çeşitli türlerinin kullanılması üçüncül bir arıtma olarak teklif edilen önemli çalışmalardan birisidir. Çeşitli potansiyel iyileştirmeler bugün değerlendirilmeye devam edilmektedir. Temeldeki varsayım, mikroalglerin kirleticilerin bir kısmını tehlikeli olmayan maddelere dönüştüreceği ve arıtılmış suyun güvenle tekrar kullanılabileceğidir. Bu sebeple *C. vulgaris* atıksu arıtmak için öne sürülmüştür mikroorganizmaların en önde gelenlerinden biridir.

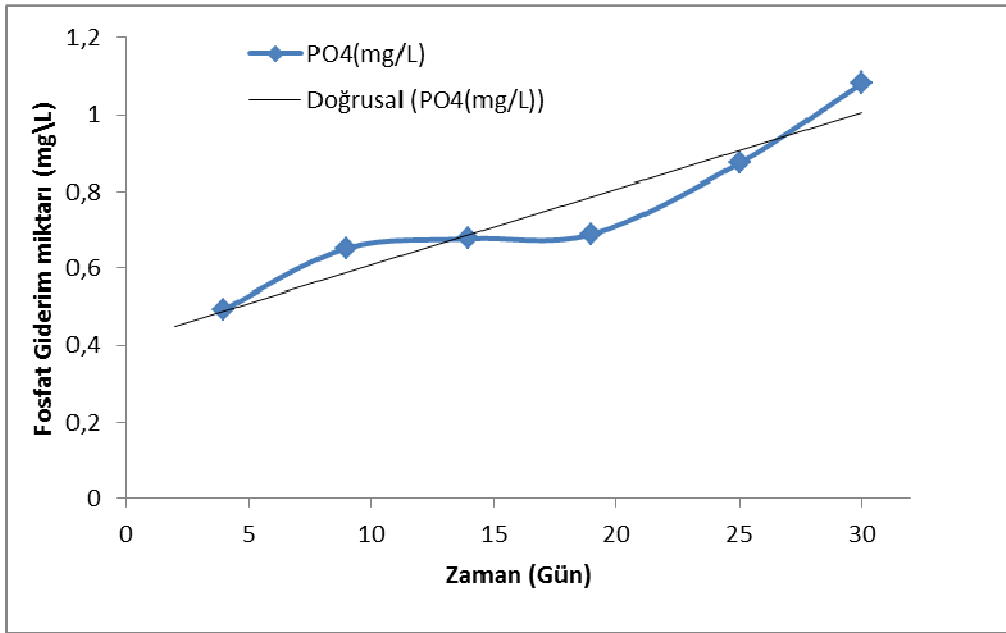
Sentetik atıksuda fosforun ve azotun harcanma hızı Grafik 1’de gösterilmiştir. Büyüme ile birlikte, azot konsantrasyonu ilk on günde hızlı bir şekilde azalmıştır. Aynı sürede Klorofil -a miktarında ani bir artış görülürken fosfat miktarındaki önemli ani düşüş ilk dört günde gerçekleşmiştir. Klorofil -a miktarı ilk 20 günde maximum seviyeye çıkmış ancak sonra yeniden azalmış ve tekrar yükselerek dengeye gelmiştir. Toplam azot ($\text{NO}_3\text{-N}$) konsantrasyonu 28,2 mg/L den 22,4 mg/L ye kadar % 37 lik bir harcanma miktarı göstermiştir.



Garafik-5.1: Sentetik atıksu + *C.vulgaris* karışımında N-P absorbsiyonu ve Klorofil -a konsantrasyonu

Aynı şekilde son fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) 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 3,1 mg/l den 12,06 mg/l ye kadar yükselmiştir.

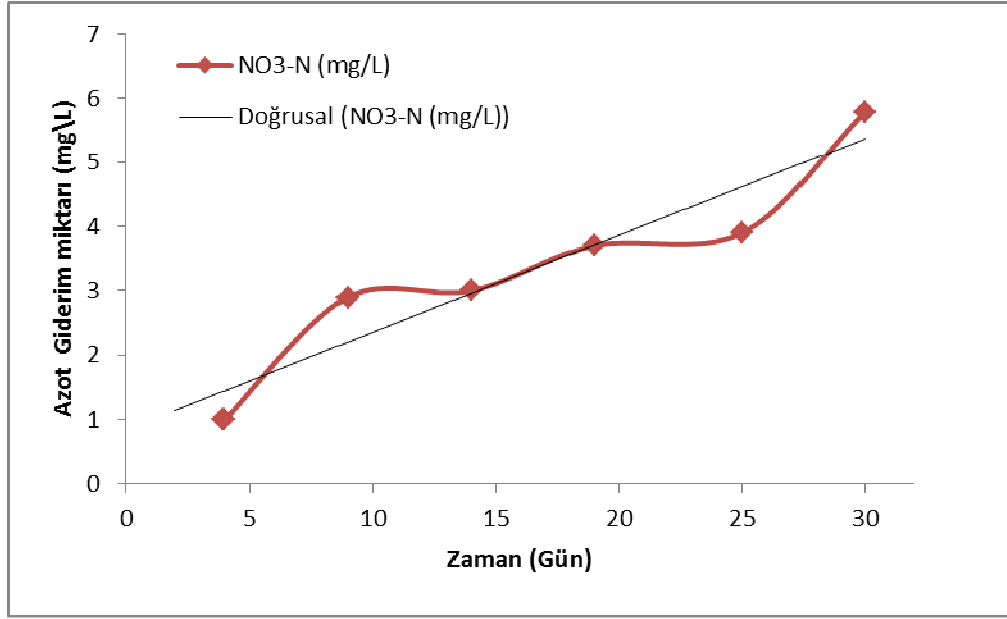
Sentetik atıksuda ortam şartları aynı olmak koşuluyla da azot giderim hızı ve fosfat giderim miktarı farklılıklar göstermiştir (Grafik 2-3).



Grafik-5.2: Sentetik atıksu fosfat giderim miktarının zamana göre doğrusal artışı

Oluşturulan hidrolik alıkonma sürecinde, 30 gün sonunda *C.vulgaris* in fosfat giderim miktarına etkisi yukarıda da görüldüğü gibi doğrusal bir artış göstermiş ve yaklaşık 20 derece'lik bir açı ile yükseliş grafiği oluşturmuştur.

10. ve 20. Günler arasında sistemde bir denge oluşmuş ancak daha sonra tekrar *C. vulgaris* in sayıca artış göstermesi giderim miktarının artmasına neden olmuştur. Otuz günlük alıkonma sürecinde fosfat giderimi 0,493 mg/L den 1,082 ye kadar yükselmiştir. Günlük giderim ise ortalama 0,04 mg/L güne karşılık gelmektedir.



Grafik-5.3: Sentetik atıksu azot giderim miktarının zamana göre doğrusal artışı

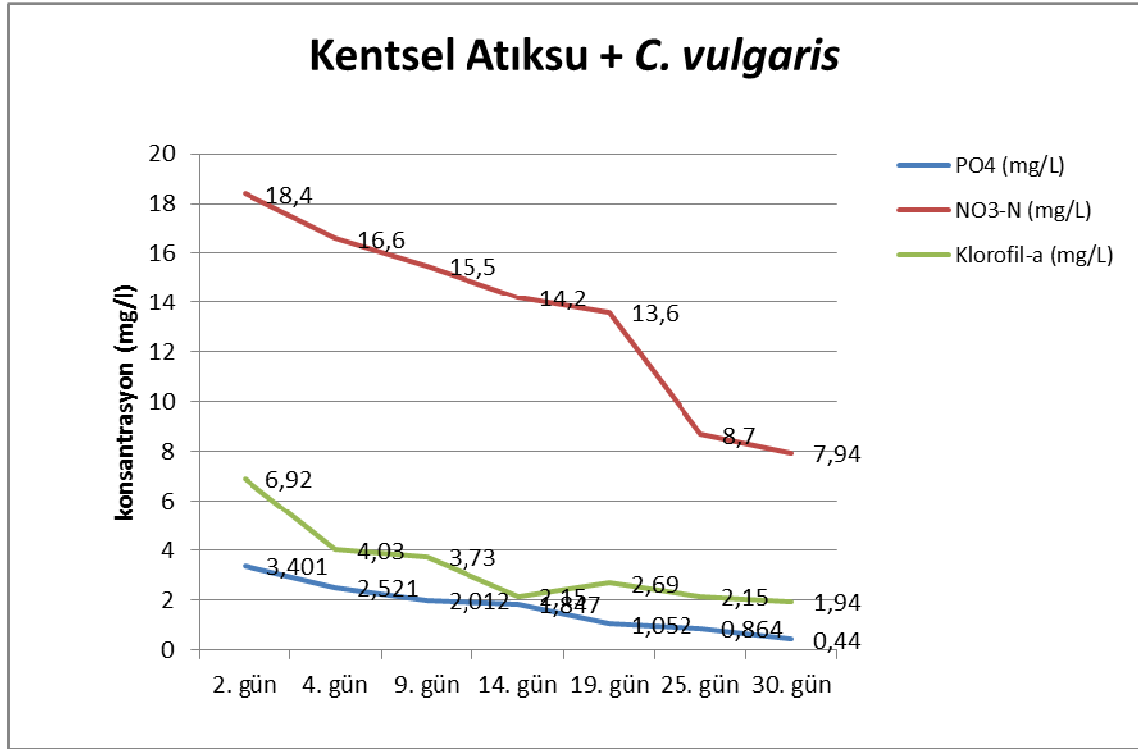
Aynı şartlarda belirlenen azot giderim miktarı için durum biraz farklıdır. Otuz günlük alıkonma sürecinde azot giderimi daha yüksek seviyede olmuştur 1 mg/L den toplamda 5,8 e kadar yükselmiştir. Günlük giderim ise ortalama 0,2 mg/L gün e karşılık gelmektedir.

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 gün 17 saat hidrolik alıkonma süresinde % 83, 20 mg/L azot derişiminde ise %75 oranında azot giderim verimi elde edilmiştir. Hidrolik alıkonma süresinin artırılması ile çıkış suyu kalitesinde artış sağlanmıştır. 5 gün 10 saat alıkonma süresinde ve 20 mg/l azot derişiminde %93'ün üzerinde azot giderimi sağlanmıştır.

Doğal ortamdan alınan kentsel atıksuda fosforun ve azotun giderim miktarı Grafik 4'te gösterilmiştir. Büyüme ile birlikte, fosfat konsantrasyonu hızlı bir şekilde azalmıştır aynı şekilde yirmi gün süresince azot miktarıda düzenli bir azalma sergilemiştir.

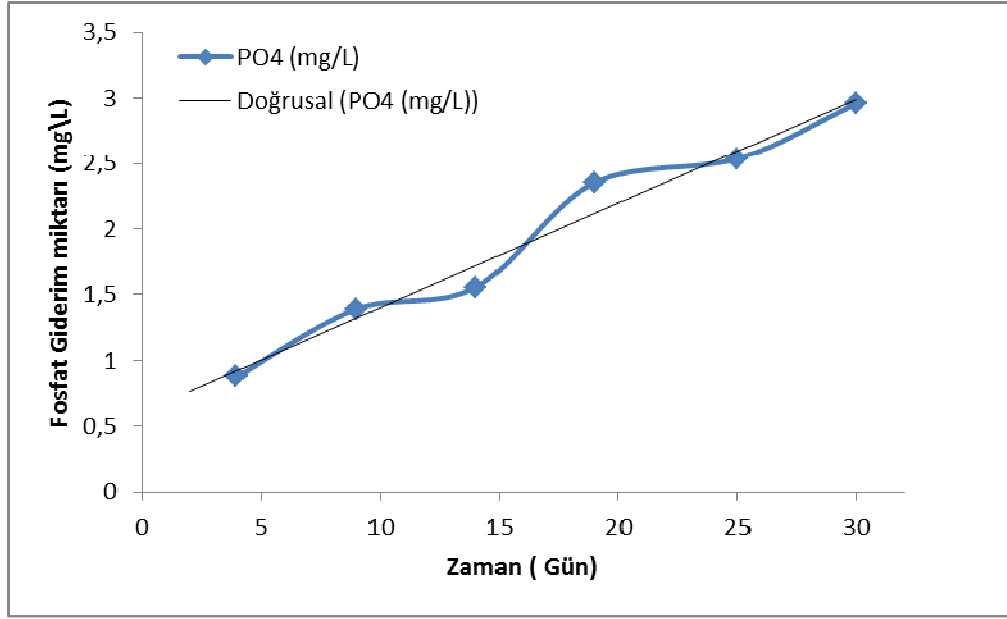
Klorofil -a miktarın da on beş günden sonra azalma durmuş ve bir dengeye oturmuştur. Toplam fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) konsantrasyonu 3,401 mg/L den 0,440 mg/L ye kadar % 85 lik bir giderim miktarı ile kullanılmıştır. Doğal ortamdan alınan kentsel atıksuda azot

konsantrasyonunda azalmış ancak bu azalma fosfat konsantrasyonundaki kadar hızlı olmamıştır, son azot konsantrasyonu, $(\text{NO}_3\text{-N})_0=18,4$ mg/L için yaklaşık % 65 harcanma etkinliğiyle 7,94 mg/L civarına inmiştir. Buna karşın Klorofil-*a* konsantrasyonu da azalmış ve 6,92 mg/l den 1,94 mg/l ye kadar düşmüştür.



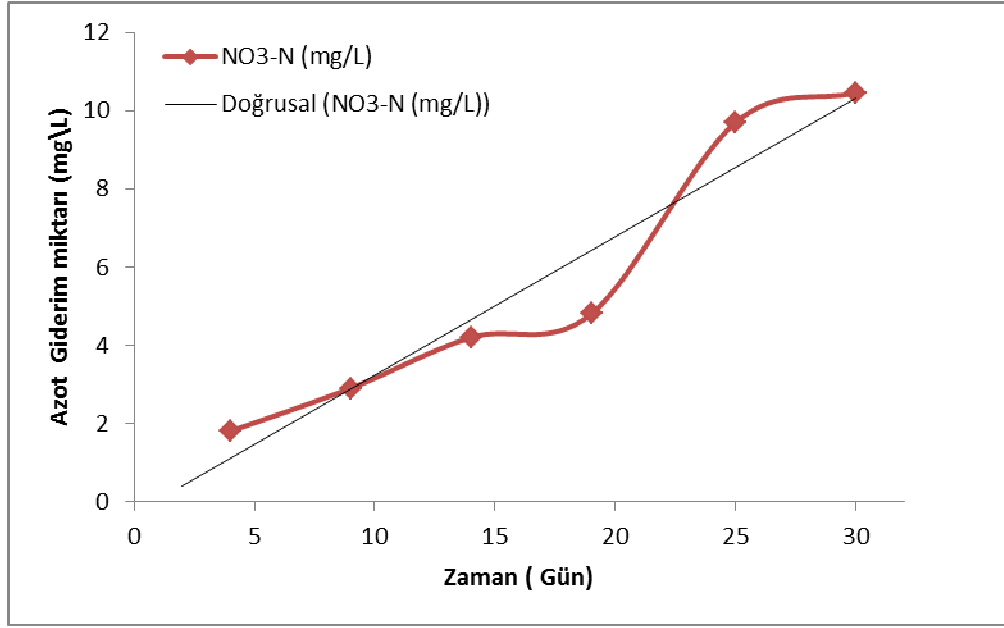
Grafik-5.4: Kentsel atıksu + *C.vulgaris* karışımında N-F absorpsiyonu ve Klorofil -*a* konsantrasyonu

Kentsel atıksuda ortam şartları aynı olmak koşuluyla da azot giderim hızı ve fosfat giderim miktarı farklılıklar göstermiştir (Grafik 5-6).



Grafik-5.5: Kentsel atıksu fosfat giderim miktarının zamana göre doğrusal artışı

30 günlük hidrolik alıkonma sürecinde *C.vulgaris* in kentsel atıksuda fosfat giderim miktarına etkisi yukarıda da görüldüğü gibi doğrusal bir artış göstermiş ve yine yaklaşık 30 derece'lik bir acı ile yükseliş grafiği oluşturmuştur. *C. vulgaris* in sayıca artış göstermesi giderim hızının artmasına neden olmuştur. Otuz günlük alıkonma sürecinde fosfat giderimi 0,88 mg/L den 2,961 ye kadar yükselmiştir. Günlük giderim ise ortalama 0,1 mg/L gün e karşılık gelmektedir.



Grafik-5.6: Kentsel atıksu azot giderim miktarının zamana göre doğrusal artışı

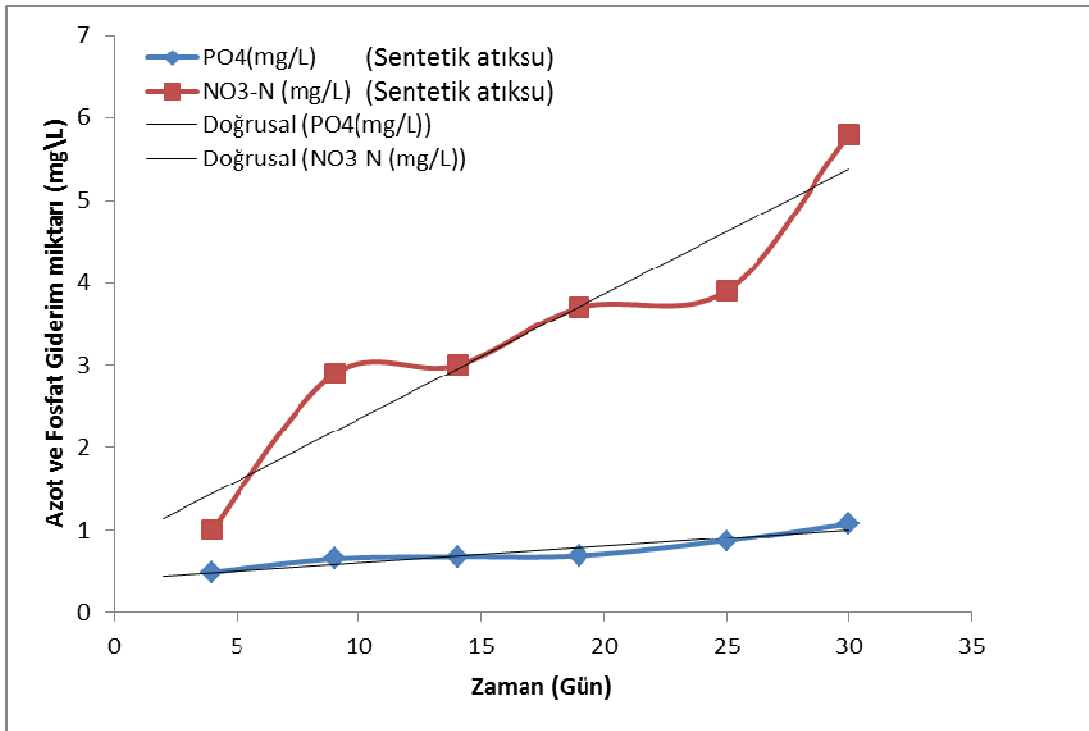
Yine kentsel atıksuda aynı şartlarda belirlenen azot giderim hızı için durum biraz farklıdır. Otuz günlük alıkonma sürecinde azot giderimi daha yüksek seviyede olmuştur 1,8 mg/L den toplamda 10,26 ya kadar yükselmiştir. Günlük giderim ise ortalama 0,35 mg/L gün e karşılık gelmektedir.

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 sınırlandırılıyor denilebilir. $N/P = 10$ durumunda sistem ikisi tarafından da sınırlandırılmaz. 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).

Yapılan çalışmalarda azot ve fosfatla ilgili olarak tam ve mutlak azot ve fosfor uzaklaştırması için minimum N/P oranı, $N/P = 4/7$ olarak bulunmuştur (Valderrama vd

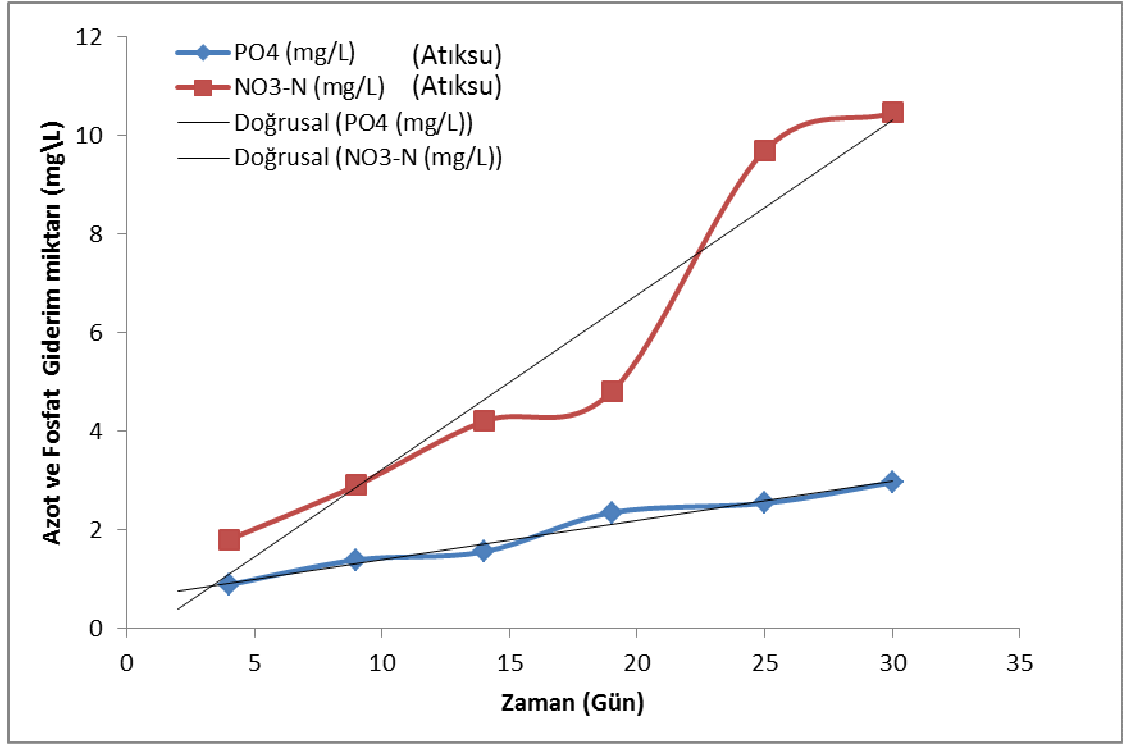
2002). Bu çalışmada alg gelişiminde nutrient değerlerinin yükselmesini etkileyen en önemli faktörler başlangıç nitrojen konsantrasyonları olarak kararlaştırılmıştır.

Yapılan bu deneysel çalışmada azot ve fosfat arasındaki büyümeyi sınırlayıcı faktörün azot mu yoksa fosfat mı olduğu belirlenmiştir. Buna göre sentetik atıksuda ki durum şöyledir; günlük azot giderim miktarının günlük fosfat giderim miktarına oranı ($0,04 / 0,2 = 5 \text{ mg/L gün}$) bu sonuç $N/P < 10$ olduğundan sentetik atıksu için sınırlayıcı faktörün azot olduğu görülmektedir (Grafik 7).



Grafik-5.7: Sentetik atıksu azot fosfat giderim miktarının zamana göre orantısal dağılımı

Yine bu deneysel çalışmada azot ve fosfat arasındaki büyümeyi sınırlayıcı faktörün kentsel atıksuda belirlenmesi için de günlük azot giderim miktarının günlük fosfat giderim miktarına oranına ($0,1 / 0,35 = 3,5 \text{ mg/L gün}$) bakılmıştır. Bu sonuca göre; $N/P < 10$ olduğundan sentetik atıksu için sınırlayıcı faktörün de yine azot olduğu görülmektedir (Grafik 8).



Grafik-5.8: Kentsel atıksu azot fosfat giderim miktarı zamana göre orantısal dağılımı

Başlangıçtaki alg miktarlarının sentetik atıksuda sayısal olarak giderek artması ve *Kl-a* miktarının artış göstermesi *C. vulgaris* 'in fosfat'ı kullanarak ortamdan uzaklaştırması ve her iki besin tuzlarının da büyümeye etki ettiğini göstermiştir. Kentsel atıksu da ise durum biraz farklılık göstermiş ve klorofil-*a* değerleri azalırken *C.vulgaris* sayıları da azalmış ancak buna bağlı olarak ortamdaki azot ve fosfat miktarında da önemli düşüşler görülmüştür.

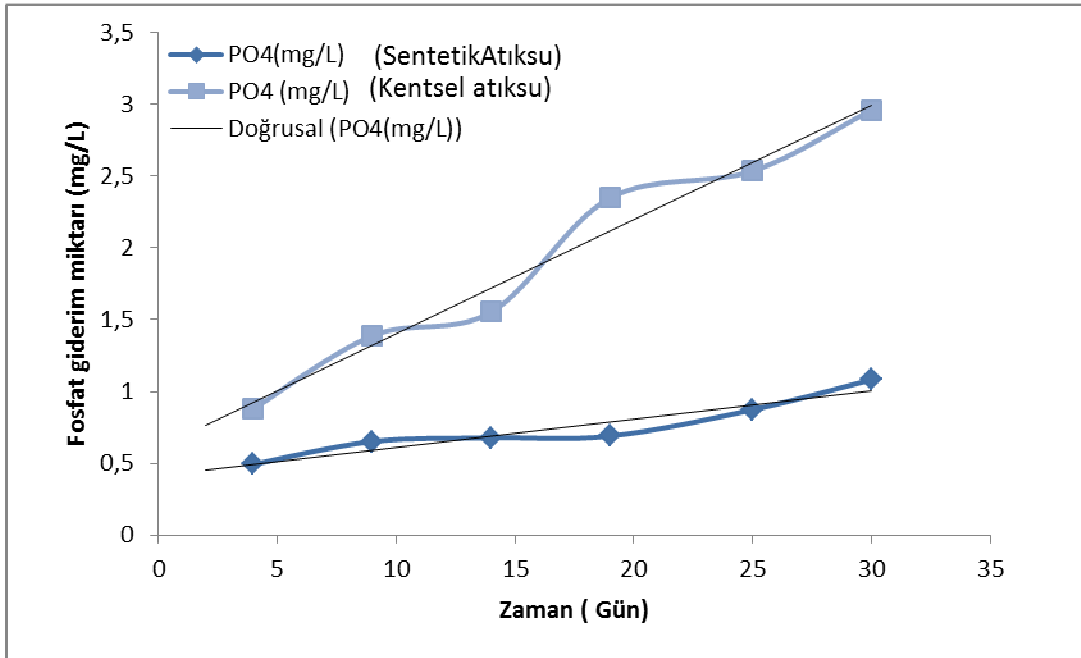
Bu duruma kentsel atıksuda azot ve fosfat iyonlarından başka diğer maddelerin varlığının sebep olduğu ve azot ve fosfatın azalmasına ortamdaki diğer elementlerle olan bağlantısının sebebiyet verdiği düşünülebilir. Ayrıca kentsel atıksuda diğer organizmaların (zooplankton gibi) mevcut algleri tüketebileceği de bilinmektedir. Ancak kentsel atıksu ortamında *C.vulgaris* 'in azot ve fosfat gideriminde etkili olduğu görülmüştür.

Ruiz ve ark. (2011) kentsel atıksu arıtım tesisinden gelen suyu *C. vulgaris* Beijernick kullanılarak yapmış oldukları çalışmada benzer sonuçlar elde ederek ikincil biyolojik

arıtımda bu türün besin tuzlarını azaltmada yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

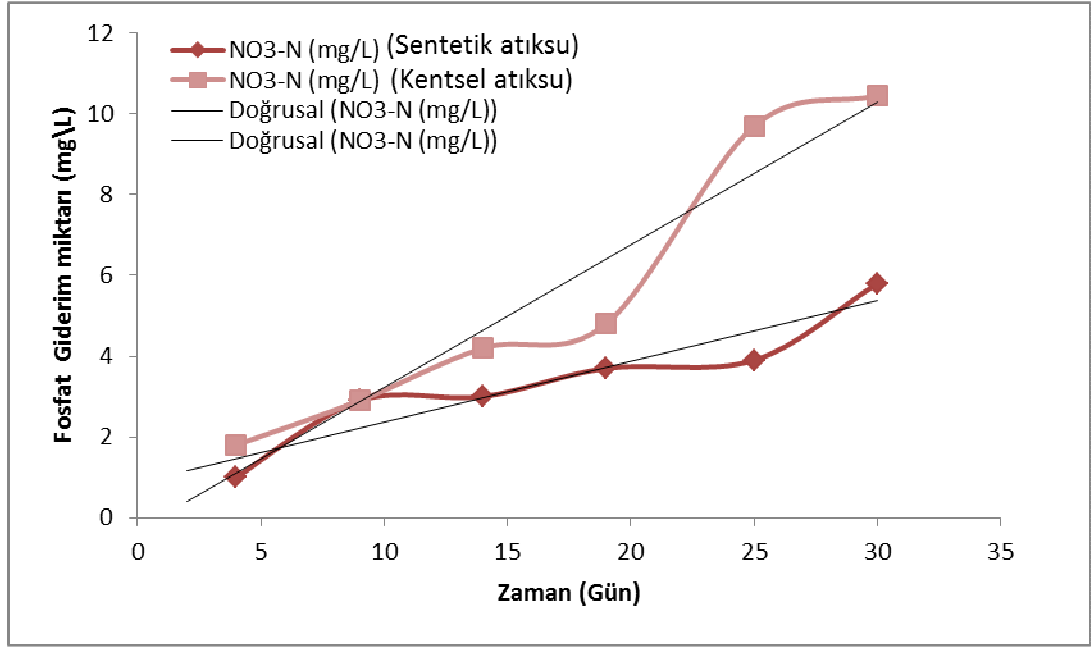
Kentsel ve sentetik atıksu için azot ve fosfat giderim hızlarının karşılaştırılması sonucunda ise kentsel atıksudaki giderim hızının yüksek olduğu görülmüştür.

Fosfat için giderim hızı oranlaması yaparsak (P_{ka}/P_{sa} ($0,1/0,04=2,5$)) kentsel atıksu giderim hızının sentetik atıksu gideriminden 2,5 kat fazla olduğu görülmektedir (Grafik 9).



Grafik-5.9: Kentsel ve Sentetik atıksu fosfat giderim miktarlarının zamana göre orantısal dağılımı

Azot için giderim hızı oranlaması yaparsak (N_{ka}/N_{sa} ($0,35/0,2=1,75$)) Kentsel atıksu giderim hızının sentetik atıksu gideriminden 1,75 kat fazla olduğu görülmektedir (Grafik 10).



Grafik-5.10: Kentsel ve Sentetik atıksu azot giderim miktarlarının zamana göre orantısal dağılımı

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

Nutrient giderimi performansının aydınlık/karanlık döngüsünden nasıl etkilendiğini bulmak için yapılan gözlemlerde karanlık evrede fotosentetik aktivite olmadığından ortamda nutrient giderimi gözlenmemiştir. Ortam sıcaklığı nutrient giderimi için optimum 27 ± 2 derece olarak belirlenmiştir. Optimum Ph ise 7.30 olarak gözlenmiştir.

Bu çalışma, sadece mikroalgal alım süreci vasıtasıyla, nutrient uzaklaştırmasını değerlendirmek için dizayn edilmiştir. Bundan dolayı deneyler, nötral pH düzeyinde yapılmıştır.

Cattaneo ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada 8 mg/L $\text{NH}_4\text{-N}$ içeren evsel atıksuların fotobiyoreaktörde arıtımında %100 azot giderimi gözlenmiştir. Ancak 3-8 mg/L NH_4 içeren etanol ve sitrik asit üretimi çıkış suyunda *C. vulgaris* alg kültürü ile %72 azot

giderimi sağlanabilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatür verilen azot giderim verimleri ile kıyaslandığında daha etkin giderimi sağlandığı söylenebilir.

Chen ve ark. (2003) yaptıkları diğer bir çalışmada hidrolik alıkonma süresi 1 saat 42 dakika ile 5 saat 24 dakika arasında değiştirilirken, başlangıç azot derişimi 20 mg/L’de sabit tutulmuştur. Alıkonma süresindeki bu artışa bağlı olarak, çıkış azot derişimi 12 mg/L’den 1.4 mg/L’ye düşmüş ve azot giderim verimi ise % 35’den % 94’e yükselmiştir. Elde edilen sonuçlar, *C. vulgaris* ’in, 20 mg/L azot derişimini, %75’in üzerinde giderebilmesi için alıkonma süresinin 2 gün 12 saat’ten fazla, %85’in üzerinde giderim sağlamak için ise 4 gün 8 saat olması gerektiğini göstermiştir. Bu konuda yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. *C. vulgaris*’in azot ve fosfat giderim hızının artmasında hidrolik alıkonma süresi ile paralellik göstermesi yapılan bu çalışmalarda da ortaya konmuştur. Yapılan deneysel çalışmadaki otuz günlük hidrolik alıkonma süresi şimdiye kadar yapılan diğer çalışmalarda istenilen uzun alıkonma sürecini kapsamı açısından önemlidir.

Chlorella vulgaris’ in azot ve fosforun giderim hızının artmasının hidrolik alıkonma süresi ile paralellik göstermesi yine İlgi ve ark. (2007) yaptıkları çalışmalardan elde edilen sonuçlarla benzerdir.

C. vulgaris ile yapılan diğer çalışmalarda azot giderim hızı 5.44 mg/L gün (Lau vd., 1998), *C. pyrenoidosa* ile 3.4 mg/L gün (Tam ve Wong, 1994) elde edilmiştir. Bu değerlerle karşılaştırıldığında, fotobiyoreaktör sistemde daha yüksek hızda azot gideriminin sağlandığı söylenebilir. Ancak Jimenez-Perez vd (2004) yapmış oldukları çalışmada *Scenedesmus intermedius* ile 83 mg N/L gün gibi yüksek giderim hızı elde etmiştir.

Sonuç olarak; *Chlorella vulgaris* atık suların tedavisinde başarısı kesinlikle kanıtlanmış en önemli türlerden biridir. Bu türün atıksu arıtımında kullanılmasının yanında sağlık, çevresel ve ticari yararları da göz ardı edilmemelidir. Birçok çalışma tek hücreli tatlı su mikroalgi *Chlorella vulgaris*’ in biyosorpsiyon ile atıksudan azot ve fosfor gideriminde yüksek bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Fotosentetik organizmaların aktivitelerini etkileyen diğer parametreler olan aydınlık/karanlık döngüsü, ışık şiddeti ve ışığın etkin kullanılabilirliği yada

mikroorganizma yüzey alanının gibi diğer çevresel şartların ve işletim koşullarının optimize edilmesi ile yüksek azot derişimlerinde ve kısa hidrolik alıkonma sürelerinde daha etkin azot giderimi sağlanması mümkündür. Sonuç olarak, deney sonuçlarının gösterdiği, ortaya çıkardığı, üçüncül bir uygulama olarak algal nutrient uzaklaştırma sistemleri iyi bir yaklaşımdır.

Atık suların arıtılarak tekrar kullanılmasının bazı zararları da vardır. Arıtılmış atık su sulama sistemlerini ve topraktaki kapiler boşlukları tıkayabilmektedir. Atık suda mevcut çözülmüş bazı bileşenler bitkiler için toksik etki yaratabilmektedir. Atık suyun yenen bazı ürünlerin sulamasında kullanılmasını kısıtlamaktadır. İyi bir arıtmadan geçirilmemiş atık su çevresel açıdan bazı olumsuzluklar yaratabilmektedir.

Genellikle atık sulardan azot ve fosfor gideriminde alglerin kullanıldığı çalışmalara bakıldığında hidrolik alıkonma zamanı oldukça kısa olduğu görülmüştür. Bu çalışmada hidrolik alıkonma süresinin otuz gün gibi uzun bir süre olması, sonuçların güvenilirliği açısından bu çalışmanın önemini arttırmıştır.

KAYNAKLAR

- APHA., 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th edn., Washington, DC.
- Aksu, Z., 2002. Determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters of the batch biosorption of nickel(II) ions onto *Chlorella vulgaris*, Process Biochem, 38:89-99.
- Arceivala, S.J., 1998. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Çeviri; Vahap Balman, TataMcGraw- Hill Pub.. Com. India.
- Atıcı,T., Katırcıoğlu, H. ve Akin, B.S., 2006. 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, Book of Abstracts, p. 45.
- Atıcı, T. ve Ahiska, S., 2005. Pollution and Algae of Ankara Stream, G.U. Journal of Science, 18(1): 51-59.
- Ayers, R.S ve Westcot,D.W., 1976. Water quality for agriculture, Food and agriculture organization of the United Nations; Rome, no:29.
- Becker E.W. 1994. Microalgae biotechnology and microbiology, London Cambridge University Press.
- Cattaneo, C., Zolezzi, M., Rovatti, P., Fabiano, M., Povero, P., & Rovatti, M., 2003. Growth and nutrient uptake of microalgae (*Nannochloropsis* Sp.) in a tubular photobioreactor. IcheaP-6 The Six Italian Conference on Chemical and Process Engineering S Pierucci ed. Florance. 1, 1677-1682.

- Chen, P. Zhou, Q. Paing, J. Le H ve Picot B., 2003. "Nutrient removal by the integrated use of high rate algal ponds and macrophyte systems in China". Water Science and Tech. 48: 251-257.
- Chojnacka, K., 2007. Using bisorption to enrich the biomass of *Chlorella vulgaris* with microelements to be used as mineral feed supplement, World J Microbiol Biotechnol 23:1139-1147.
- Corelli, D. L "Phosphorus: A Rate Limiting Nutrient in Surface Waters" Poultry Science 78:674–682, 1999.
- Caperon J, Meyer J., 1972. Nitrogen limited growth of marine phytoplankton -II. Uptake kinetics and their role in nutrient limited growth of phytoplankton. Deep-Sea Res. 19: 619–632.
- Cromar NJ, Fallowfield HJ, Martin NJ., 1996. Influence of environmental parameters on biomass production and nutrient removal in a high rate algal pond operated by continuous culture. Water Sci Technol. 34: 133–140.
- Dortch Q, Clayton JR, Thoreson SS, Bressler SL, Ahmed SI., 1982. Response of marine phytoplankton to nitrogen deficiency: decreased nitrate uptake vs. enhanced ammonium uptake. Mar Biol. 70: 13–19.
- Dortch Q, Thompson PA, Harrison PJ. 1991. Short-term interaction between nitrate and ammonium uptake in *Thalassiosira pseudonana*: Effect of preconditioning nitrogen source and growth rate. Mar Biol. 110: 183–193.
- Dönmez, G., Aksu, Z., Öztürk, A., Kutsal, T., 1999. A comparative study on heavy metal biosorption characteristics of some algae. Process Biochem 34:885-892.
- Freund, H.-J., Bäumer, M.J., Libuda, T. Risse, G. Rupprechter, S. Shaikhutdinov, J. 2003. Catalysis., 216, 223.

- Hyenstrand P, Burkert U, Pettersson A, Blomqvist P., 2000. Competition between the green alga *Scenedesmus* and the cyanobacterium *Synechococcus* under different modes of inorganic nitrogen supply. *Hydrobiol.* 435: 91–98.
- İlgi, K.K., ve Aslan, Ş., 2007. Sürekli İşletilen Alg-Fotobiyoreaktör Sisteminde Atıksudan Azot Giderimi, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji, İzmir.
- Jimenez–Perez, M.V. Sanchez-Castillo, P. Romera, O. Fernandez-Moreno, D. ve Perez-Martinez, C., 2004. “Growth and nutrient removal in free and immobilized planktonic green algae isolated from pig manure”. *Enzyme and Microbial Technol.* 34: 392-398.
- John, D.M., Whitton, B.A. ve Brook, A.J., 2003. *The Freshwater Algal Flora of the British Isles, An Identification Guide To Freshwater and Terrestrial Algae*, Cambridge Univ. Press.
- Karapınar, K. İ., Aslan, Ş., 2007. Sürekli İşletilen Alg-Fotobiyoreaktör Sisteminde Atıksudan Azot Giderimi. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji*, İzmir TMMOB Çevre Mühendisleri Odası.
- Katırcıoğlu, H., Aslım, B., A. Rehber Türker, Atıcı, T., Beyatlı, Y., 2007. Removal of Cadmium (II) Ion from Aqueous System by Dried Biomass, Immobilized Lived and Inactivated *Oscillatoria* sp. Isolated from Freshwater (Mogan Lake) *Bioresource Technology*, PMID: 17964143.
- Lau PS, Tam NFY ve Wong YS., 1998. Effect of carrageenan immobilization on the physiological activities of *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technol.* 63:115-121.
- McCarthy JJ., 1981. The kinetics of nutrient utilization. In: Platt T, editor. *Physiological bases of phytoplankton ecology*. *Can Bull Fish Aquat Sci.* 210: 211–233.

- McCarthy JJ, Eppley RW., 1972. A comparison of chemical, isotopic, and enzymatic methods for measuring nitrogen assimilation of marine phytoplankton. *Limnol Oceanogr.* 17: 371–382.
- Metcalf E., 1991. *Wastewater Engineering: Threatment, Disposal, Reuse*, Third edition, McGraw Hill, USA.
- Mostert,E.S., 1987. The Influence of Nitrogen and Phosphorus on Algal Growth and Quality in Outdoor Mass Algal Cultures, *Biomass.* 13, 219- 233,
- Muslu,Y., 2001. “Göl ve Haznelerde su Kalitesi Yönetimi”, İSKİ Teknik Rapor.
- Olguín EJ, Galicia S, Mercado G, Perez T., 2003. “Annual productivity of *Spirulina* (*Arthrospira*) and nutrient removal in a pig wastewater recycle process under tropical conditions”. *J. Appl. Physcol.* 15: 249-257.
- Patil,H.S., 1990. The role of *Ankistrodesmus falcatus* and *Scenedesmus quadricauda* in Sewage Purification, *Bioresource Technology*, 37, 121-126,.
- Ruiz, J., Álvarez, P., Arbib, Z., Garrido, C., Barragán J. & Perales J.A., 2011. Effect of Nitrogen and Phosphorus Concentration on Their Removal Kinetic in Treated Urban Wastewater by *Chlorella vulgaris* *International Journal of Phytoremediation* 13:9, 884-896.
- Sawayama,S., Minova,T., Dote,Y. ve Yokoyama,S., 1992. Growth of the Hhydrocarbon-rich Microalga *Botryococcus braunii* in Secundarily Treated Sewage, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 38, 135-138.
- Syrett, PJ., 1981. Nitrogen metabolism of microalgae. In: Platt T, editor. *Physiological bases of phytoplankton ecology*. *Can Bull Fish Aquat Sci.* 210: 182–204.

Tam NFY ve Wong YS., 1994. "Feasibility of using *Chlorella pyrenoidosa* in the removal of inorganic nutrients from primary settled sewage". In: Phang, et al., editors *Algal biotechnology in the Asia-Pacific region*. University of Malaya. 291-299.

Umble A.K., Ketchum, A.L., 1997. 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.

Uygur, A., Kargı, F. ve Başakkaya, H.S., 2003. Ardışık Kesikli Reaktör ile Nutrient Gideriminde Farklı Karbon Kaynaklarının Etkileri, *DEÜ Mühendislik Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt:5, Sayı:1, 9-16,

Valderrama LT, Del Campo CM, Rodriguez CM, De-Bashan LE and Bashan Y., 2002. "Treatment of recalcitrant wastewater from ethanol and citric acid production using the microalga *Chlorella vulgaris* and macrophyte *Lemna minuscula*". *Wat. Res.* 36: 4185-4192.

Voltolina,D, Cordero,B, Nieves,M, Soto,L., 1998. Growth of *Scenedesmus* sp. in artificial wastewater, *Bioresource Technology*, 68, p265-268.

Wheeler PA., 1983. Phytoplankton nitrogen metabolism. In: Carpenter EJ, Capone DG, editors. *Nitrogen in the marine environment*. New York: Academic Press. p. 309–346.

www.thewatertreatment.com

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: LIDA

Doğum Yeri: SHEIKHKANLOYMILAN

Doğum Tarihi: 1972.08.28 / İRAN KHOY

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lisans : Tahran Üniversitesi Mikrobiyoloji Bölümü – 1995

Yüksek Lisans : Türkiye Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı – 2007

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Tahranda tahran üniversitesinde 7 yıl uzman olarak mikrobiyoloji fakültesinde çalıştı.

Yayınları (SCI ve diğer)

- 1- Shelknanloymilan, L., Obalı, O., Atıcı, T. Removal of Nitrogen and Phosphate by using *Choleralla Vulgaris* Beijerinck on Natural and Synthetic Waste Water “Biological Diversity and Conservation”, 89-94 Cilt 5/2, 2012.