

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METAL ENDÜSTRİSİ ATIK SULARINDAN MİKROALG İLE
METAL GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

HİLAL ŞEN

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METAL ENDÜSTRİSİ ATIK SULARINDAN MİKROALG İLE
METAL GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

HİLAL ŞEN

Dr. Öğr. Üyesi Kadriye OKTOR
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof.Dr. Sevil VELİ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Doç.Dr. Elif İNCE
Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 06.10.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, metal sektörü atık sularında mikroalg ile metal gideriminin alternatif arıtım metodu olarak uygulanabileceğini gözlemlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarına katkıda bulunan, yön veren, desteğini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Kadriye OKTOR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda gösterdiği anlayış ve destek için Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Biyoteknoloji laboratuvarına, Dr. Öğr. Üyesi Nurcan KAPUCU'ya ve Arş. Gör. Togayhan KUTLUK'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda metal analizlerinde katkılarından ve ilgilerinden dolayı Hasan Hüseyin AYHAN'a, arkadaşım Büşra EMİR'e teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve her aşamada sıkıntılarımı, mutluluklarımı paylaştığım değerli aile üyelerim Sevgili kardeşim Miray ŞEN, babam Yalçın ŞEN ve annem Aynur ŞEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Ekim - 2020

Hilal ŞEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
GİRİŞ	1
1. METAL ENDÜSTRİSİ.....	4
1.1. Metal Endüstrisi Üretim Faaliyetleri.....	4
1.1.1. Yüzey temizleme hattı	5
1.1.2. Tel çekme bölümü	5
1.1.3. Patent galvaniz hattı.....	7
1.1.4. Halat bölümü.....	8
1.1.5. Beton demeti bölümü.....	8
2. ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN ARITMA YÖNTEMLERİ.....	10
2.1. Fiziksel Arıtma Yöntemleri.....	10
2.1.1. Izgaralar	11
2.1.2. Kum tutucular	12
2.1.3. Dengeleme	12
2.1.4. Yüzdürme ve çökeltme havuzları	13
2.2. Kimyasal Arıtma Metotları	14
2.2.1. Nötralizasyon	14
2.2.2. Koagülasyon – Flokülasyon.....	15
2.3. Biyolojik Arıtma Yöntemleri	16
2.4. İleri Arıtma Metotları	18
2.4.1. Adsorpsiyon.....	18
2.4.2. Ters ozmos	19
2.4.3. Ultrafiltrasyon.....	20
2.4.4. Elektrodializ.....	21
3. ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN ARITIMI İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	23
4. ALGLER	26
4.1. Mikroalglerin Karakteristik Özellikleri.....	26
4.1.1. Chlorella ESP-6	27
4.2. Mikroalg Üretim Prosesleri ve Üretimi Etkileyen Parametreler	28
4.2.1. Dış ortam üretim prosesleri.....	28
4.2.2. İç ortam üretim prosesleri	29
4.2.2.1. Plastik torbalarda veya polyster tanklarda mikroalg üretimi	30
4.2.2.2. Tübüler fotobiyoreaktörler.....	31
4.2.3. Mikroalg üretiminde etkili olan parametreler	32
4.3. Mikroalglerin Kullanım Alanları	33

5. BİYOSORPSİYON YÖNTEMİ.....	35
5.1. Biyosorpsiyonu Etkileyen Parametreler.....	36
5.1.1. Biyokütlenin miktarı.....	36
5.1.2. Karıştırma hızı.....	36
5.1.3. pH değeri.....	36
5.1.4. Sıcaklık.....	36
6. MALZEME VE YÖNTEM.....	38
6.1. Deneysel Kurulum.....	38
6.2. Metal Giderimi.....	41
7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR.....	50
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	58



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Genel proses akım şeması	4
Şekil 1.2.	Yüzey temizleme hattı görünümü	5
Şekil 1.3.	Yüzey temizleme hattı iş akış şeması.....	6
Şekil 1.4.	Tel çekme bölümü	6
Şekil 1.5.	Patent galvanizleme hattından bir görünüm.....	7
Şekil 1.6.	Galvaniz tel hattı	8
Şekil 1.7.	Beton demeti bölümünden bir kesit	9
Şekil 2.1.	Izgaralar a) Kaba Izgara, b) İnce Izgara	12
Şekil 2.2.	Dengeleme havuzu	13
Şekil 2.3.	Atık su nötralizasyon işlemi	15
Şekil 2.4.	a) Koagülasyon b) Flokülasyon prosesleri	16
Şekil 2.5.	Aerobik arıtma, aktif çamur prosesi	17
Şekil 2.6.	Anaerobik arıtma prosesleri	18
Şekil 2.7.	Aktif karbon tankları	19
Şekil 2.8.	Ters ozmosun çalışma prensibi	19
Şekil 2.9.	Ters ozmos modülleri.....	20
Şekil 2.10.	Ultrafiltrasyon ünitesi.....	21
Şekil 2.11.	Elektrodiyalizin temel çalışma prensibi	21
Şekil 4.1.	<i>Chlorella vulgaris</i> mikroalginin mikroskopik görüntüsü	27
Şekil 4.2.	<i>Chlorella ESP – 6</i>	28
Şekil 4.3.	Dış ortam mikroalg üretim havuzları	29
Şekil 4.4.	Doğal gölette mikroalg yetiştirme sistemi	29
Şekil 4.5.	Plastik torbalarda üretim	30
Şekil 4.6.	Polyester tanklarda üretim.....	30
Şekil 4.7.	Tübüler fotobiyoreaktörün genel görünümü	31
Şekil 6.1.	Atık su numunesi temini	38
Şekil 6.2.	Kullanılan Ekipmanlar; a) pH ve sıcaklık ölçer, b) Ampul, c) Perkin Elmer Optima 8000 ICP-OES cihazı	39
Şekil 6.3.	Santrifüjleme cihazı Hermle Z 446	40
Şekil 6.4.	Deney düzeneği ve inkübatör cihazı	40
Şekil 7.1.	%0 Seyreltilen atık su örneğindeki metallerin günlere göre verim değişimleri.....	44
Şekil 7.2.	%10 Seyreltilen atık su örneğindeki metallerin günlere göre verim değişimleri.....	44
Şekil 7.3.	%20 Seyreltilen atık su örneğindeki metallerin günlere göre verim değişimleri.....	45
Şekil 7.4.	Tez kapsamında ölçülen giderim veriminin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması	47

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Metal Sanayii.....	11
Tablo 3.1. Endüstriyel atık suların arıtımı ile ilgili uygulamalar	24
Tablo 6.1. Laboratuvar ekipmanları ve kullanılan optimum değerler	39
Tablo 6.2. Metallerin başlangıç konsantrasyonları (mg/l).....	41
Tablo 6.3. Giderim sonrası metal konsantrasyonları (mg/l).....	41
Tablo 7.1. Metallerin giderim verimleri (%)	43



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
N	: Azot
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
SO ₄ ⁻²	: Sülfat
T-Cr	: Toplam Krom
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor
Zn	: Çinko
°C	: Santigrad derece
μ	: Mikrometre

Kısaltmalar

KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
RE	: Rapor Edilmedi

METAL ENDÜSTRİSİ ATIK SULARINDAN MİKROALG İLE METAL GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışma kapsamında metal endüstrisine ait atık sularındaki metallerin mikroalg ile biyolojik olarak arıtılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan atık su, Kocaeli İli sınırları içerisinde faaliyet gösteren metal hazırlama, işleme, galvanizleme işlemlerini yapan bir işletmeden temin edilmiştir. Laboratuvar ortamında hacimce %0-%10-%20 oranlarında seyreltilmiş atık su örneklerine katı kültür olarak ekilen *Chlorella ESP-6* mikroalgi ile Zn, Fe, Mg, Ca, Al, Na ve K metallerinin giderimi gözlemlenmiştir. Metallerinin giderim verimleri %97,51 Zn (%20 seyreltme, 24. gün), %97,12 Fe (%20 seyreltme, 24. gün), %70,69 Mg (%10 Seyreltme, 24. gün), %99,06 Ca (%20 seyreltme, 1. gün), %87,2 Al (%10 seyreltme, 24. gün), %90,52 Na (%0 seyreltme, 1. gün) ve %37,46 K (%20 seyreltme, 24. gün) olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlardan yola çıkarak metal sektörü atık sularında mikroalgler ile metal gideriminin alternatif arıtım metodu olarak uygulanabileceği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık su Arıtımı, Metal Giderimi, Metal Sektörü, Mikroalg.

INVESTIGATION OF METALS REMOVAL WITH MICROALGAE IN METAL INDUSTRY WASTEWATER

ABSTRACT

In this study, with microalgae the biodegradability of metals were investigated in the metal industry wastewater. The wastewater used in the study were supplied from a company which is engaged in metal preparation, processing, galvanizing operations in province Kocaeli of Turkey. Wastewater samples were diluted 0%-10%-20% by volume in the laboratory. *Chlorella ESP-6* were sown as a solid culture in the diluted wastewater samples. Then, the removal of Zn, Fe, Mg, Ca, Al, Na and K metals was observed. Removal efficiencies of Zn (20% dilution, 24th day), Fe (20% dilution, 24th day), Mg (10% dilution, 24th day), Ca (20% dilution, 1st day), Al (10% dilution 24th day), Na (0% dilution, 1st day) and K (20% dilution, 24th day) were calculated as 97.51%, 97.12%, 70.69%, 99.06%, 87.20%, 90.05%, 37.46%, respectively. Based on the calculated results, it has been observed that removal of metal with microalgae in metal sector wastewater can be applied as an alternative treatment method.

Keywords: Wastewater Treatment, Metal Removal, Metal Industry, Microalgae.

GİRİŞ

Ülkemizde üretim sektörleri düşünüldüğünde başlıca olarak metal endüstrisi aklı gelmektedir. Sanayileşmeyle birlikte nüfus artışı bu sektörün üretim kapasitesini de arttırmaktadır. Artan üretim kapasitesi, endüstriyel kirlenmeyi de beraberinde getirmektedir.

Özellikle endüstri bölgelerinde üretim proseslerinde kullanılan su sonucunda önemli miktarlarda atık yükü taşıyan kirli sular ortaya çıkmaktadır. Bu sulardaki kirlilik yükü belirli düzeye indirgenmeyerek, suyun arıtılmaması ve ardından doğal sulara bırakılması durumunda, bu doğal sistemlerin kendilerini yenileme kapasitesini düşürerek, atık maddeler ile bulaştırılması sonucu su kalitesi önemli derecede azalmaktadır. Bu değişimden etkilenen su yaşamı ve canlı çeşitliliği zarar görmektedir [1].

Endüstriyel atık sular; hızlı sanayileşme sonucu oluşarak, diğer kirletici kaynaklarından farklı olarak, kompleks karakterdeki kirleticilerden meydana gelmektedir. Bu nedenle de arıtım kontrolünün çok boyutlu olarak ele alınması gerekmektedir [2].

Çalışmanın temelini oluşturan metal sektörü atık suları; ülkemiz genelinde şehirlerimizde atık suların toplanması amacıyla inşa edilmiş kanalizasyon şebekelerine veya direkt olarak doğal sulara ön arıtım yapılmadan verilebilmektedir. Atık sular, içerdikleri kirleticiler bakımından evsel atık su karakteristiğini değiştirip, suların kirletici çeşitliliğini arttırmaktadır. Bu durum şehir yaşamı açısından düşünüldüğünde istenmeyen bir durum olup kentsel atık su arıtma tesislerinin prosesleri üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Evsel ve endüstriyel atık sular, yeterli derecede arıtım yapılmadan alıcı ortama deşarj edilirse, ciddi çevre kirliliklerine ve canlı sağlığının olumsuz etkilenmesi neden olabilirler. Kanalizasyon şebekesine uygun ön arıtım işlemlerine tabi tutulan atık suların verilmesi sağlandığı takdirde kentlerin atık su arıtma tesislerinde de verim artışları gözlemlenmektedir [3].

Ülkemizde metal sektörünün üretim faaliyetleri sonucu oluşan endüstriyel atık sular, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY, 2004) çerçevesince değerlendirilmektedir.

Endüstriyel atık su arıtımında suyun karakteristik özelliğine bakıldığında yüksek konsantrasyon seviyelerinde metaller yer almaktadır. Bu metallerin gideriminde başlıca bilinen arıtım metotları; kimyasal, fiziksel ve biyolojik arıtım yöntemleri kullanılmaktadır. Günümüzde ise endüstriyel atık sularının arıtımı için çeşitli arıtma teknolojileri ortaya çıkmıştır. Metal içeren atık suların arıtımında koagülasyon-flokülasyon, ters ozmos, evaporasyon, membran filtrasyonu, iyon değişimi gibi arıtma yöntemleri de kullanılmaktadır. Hidroksit çöktürmesi yöntemi ise uygulamadaki kolaylığı ve proseslerinin ekonomik oluşu nedenleriyle en uygun arıtma teknolojisi olarak kabul edilmektedir [4].

Bu arıtım proseslerine ek olarak, endüstriyel atık sulardan metaller, elektrokoagülasyon yöntemiyle de giderilmeye çalışılmıştır [5,6]. Ancak gelişen üretim prosesleriyle birlikte kirlilik yükü de artmakta ve bilinen arıtım yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Çözüm olarak endüstri bünyesinde, mevcut arıtım sistemlerinde maliyetli bir iyileştirme yapılmak yerine çevre dostu, daha az maliyet gerektiren, yeşil teknolojiyle çevre bilinci oluşturulan biyosorpsiyon yöntemi tercih edilmektedir. Biyosorpsiyon yönteminin temel çalışma prensibine bakıldığında, biyokütle olarak tanımlanan funguslar, bakteriler ya da mikroalgler, atık su ortamındaki metal iyonlarını bünyelerine alarak bunları sudan uzaklaştırmaktadır [7].

Mikroalgler, protein, karbonhidrat, lipit ve vitaminden oluşan mikroorganizmalardır. Yüksek alım kapasitesi, düşük maliyetli oluşu, yenilenebilirliğiyle ilgi çekici bir biyosorbenttir [8]. Ayrıca mikroalgler, elementler, ağır metaller, organik ve inorganik toksinler, pestisitler gibi sucul ekosistemlerde büyük tehdit oluşturan kompleks kirleticileri, hücre çeperlerinde veya hücre içinde biriktirerek sudan uzaklaştırır ve buldukları ortamdan ayırma yetenekleri sayesinde atık su arıtımında yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Literatürde farklı türdeki mikroalglerle, atık suların arıtılabilirliğinin incelenmesi konusunda çalışmalar mevcuttur [8].

Bu tez çalışmasında Kocaeli İli sınırları içerisinde uzun yıllardır faaliyet gösteren metal hazırlama, metal işleme ve galvanizleme işlemlerini yapan bir işletmenin ham

atık suyuna *Chlorella ESP-6* mikroalginin katı kültür ekimi yapılarak, bu atık suda bulunan Zn, Fe, Mg, Ca, Al, Na ve K metallerin giderim verimleri incelenmiştir.

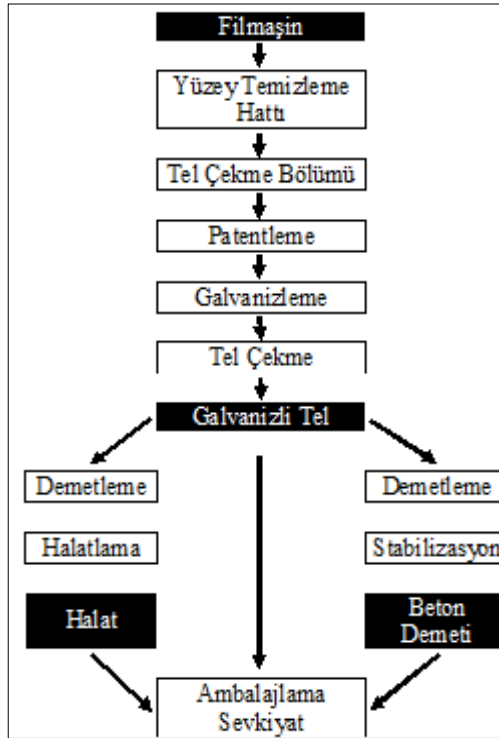


1. METAL ENDÜSTRİSİ

Metal sanayi, çeşitli metal ve metal alaşımlarını hammadde olarak alıp bunları farklı işlemlerden geçirerek, kullanılır duruma getiren bir sanayi dalıdır. Bu sanayi dalı; ülkemizdeki temel sanayi sektörlerinden biri olup, demir-çelik, madencilik, inşaat, denizcilik, petrol, otomotiv, enerji ve telekomünikasyon gibi birçok sektöre de hizmet etmektedir [9].

1.1. Metal Endüstrisi Üretim Faaliyetleri

Metal işleme tesisinin üretim prosesleri oldukça kapsamlıdır. İşletmeye ham olarak gelip, kangal olarak stoklanan filmaşın denilen çelik teller, bir dizi işleme tabi tutularak oluşturulan ürünler, ülkenin birçok sektöründe kullanılmak üzere hazır hale getirilmektedir. Bu işlemler, ana hatlarıyla; yüzey temizleme, tel çekme, patent galvaniz hattı, halat bölümü ve beton demeti bölümünden oluşmaktadır. İşlemler, Şekil 1.1'de genel proses akım şemasında gösterilmiştir [10].



Şekil 1.1. Genel proses akım şeması [10]

1.1.1. Yüzey temizleme hattı

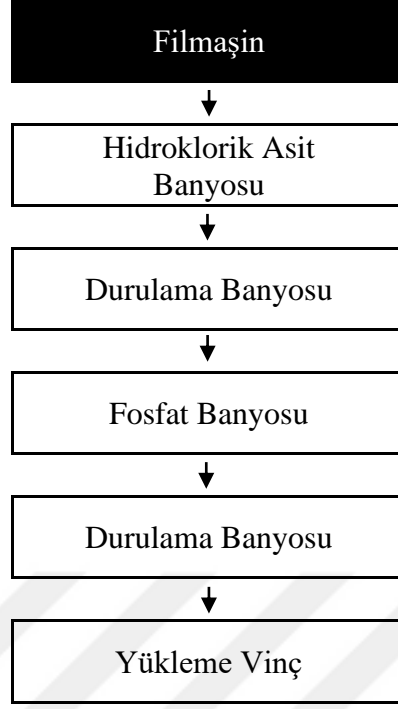
Filmaşın denilen işlenmemiş çelik teller yüzeylerinde bulunan oksitlenmiş tabakadan arındırılması için yüzey temizleme hattına alınmaktadırlar. Şekil 1.2’de yüzey temizleme hattına ait fotoğraf gösterilmektedir. Filmaşınların ilk temas yeri hidroklorik asit banyosudur. Buradan teller, üzerlerinde mevcut ise pas tabakasından arındırılmaktadırlar. Temizlenen teller, tel çekme bölümüne alınmak üzere öncelikle fosfat banyosuna tabii tutulur. Bu işlem, fosfatla kaplanan tellere kaydırıcılık özelliği vermektedir. Yüzey temizleme hattının akım şeması Şekil 1.3’te gösterilmektedir [11].



Şekil 1.2. Yüzey temizleme hattı görünümü [10]

1.1.2. Tel çekme bölümü

Temizlenen teller, tel çekme bölümüne getirilmektedir. Tel çekme bölümünde kayganlık kazanan filmaşınlar, iki silindir arasından geçirilerek metal kalıplarla istenilen çapa düşürülmektedir. Bu esnada çekmenin kolayca gerçekleşebilmesi için toz hadde sabunları kullanılmaktadır. Şekil 1.4’te tel çekme bölümü görüntüsüne yer verilmiştir [12].



Şekil 1.3. Yüzey temizleme hattı iş akış şeması [10]



Şekil 1.4. Tel çekme bölümü [10]

1.1.3. Patent galvaniz hattı

Patent galvaniz hattında, tel çekme bölümünden çapı küçültülmüş filmaşinlerin, sertliğini azaltmak, iç gerilimlerini yok etmek için tavlama işlemine tabii tutulur. Tavlama esnasında, telin yeniden iç yapısının oluşturulup, kabiliyetini arttırmak için yaklaşık 940 – 1000 °C sıcaklıktaki fırında tellere sıcaklık kazanıp, daha sonra kum banyosundan geçirilmek sureti ile 550°C'ye kadar soğutulur [13].

Galvanizleme işlemi; metallerin, paslanmaya karşı korunmaları için erimiş çinko içerisine daldırılarak kaplanması işlemidir. Bu sayede metaller, açık-kapalı her türlü ortamda korunarak, kullanım ömürlerinin uzaması sağlanmış olmaktadır. Şekil 1.5'te patent galvanizleme hattı bölümü görüntüsü yer almaktadır. Şekil 1.6'da galvaniz tel hattı görülmektedir [13].



Şekil 1.5. Patent galvanizleme hattından bir görünüm [10]

1.1.4. Halat bölümü

Döner başlıklı makinalar vasıtasıyla halat hattı bölümüne gelen tel demetleri istenilen boyutta ve sarımda örülür. Bu bölümde tel herhangi bir kimyasal veya ısıl işleme tabi tutulmamaktadır. Yalnızca fiziksel bir işlem mevcuttur. Örülüp halat haline gelen malzemeler, satışa sunulmak üzere ambalajlanır [12].

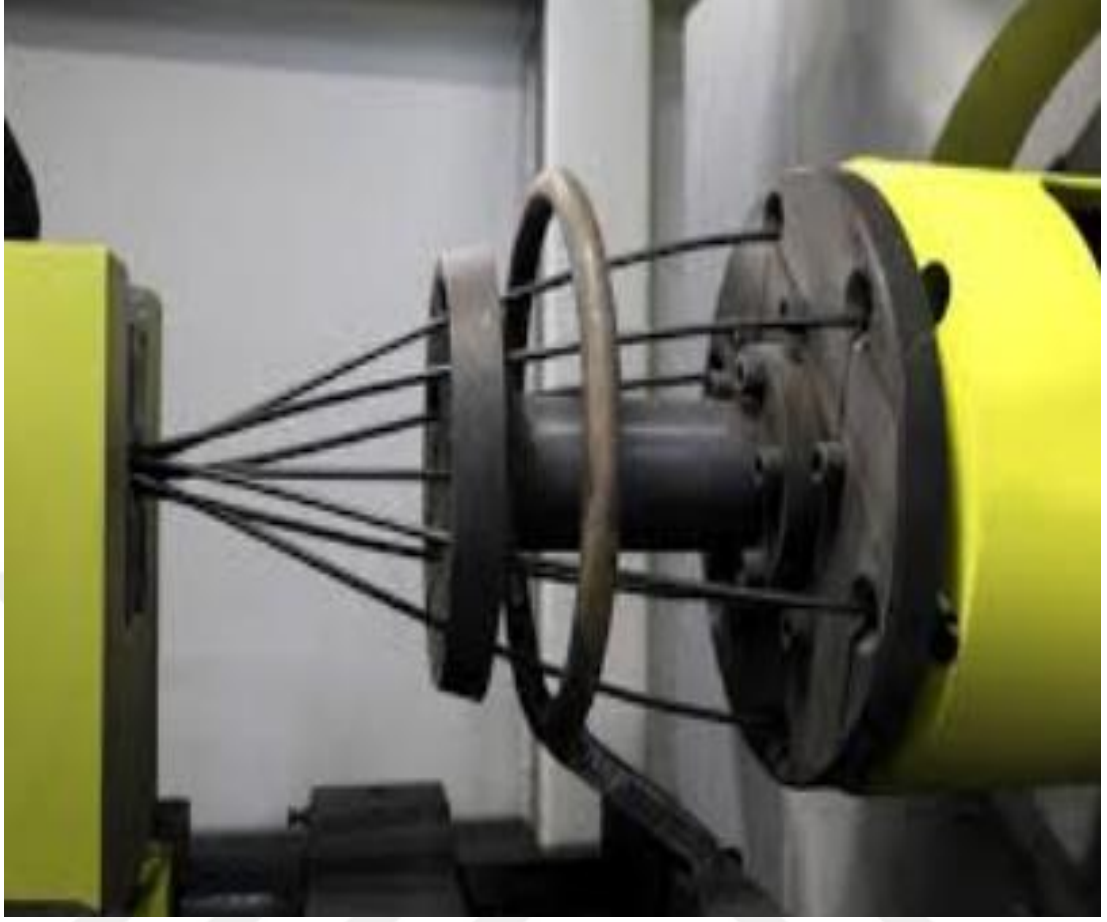


Şekil 1.6. Galvaniz tel hattı [10]

1.1.5. Beton demeti bölümü

Beton demeti bölümünde amaç, köprü kiriş imalatları, prefabrik yapı elemanları, toprak maden ankrajları, silo ve konut inşaatları gibi alanlarda kullanılmak üzere beton demetleri halinde üretim yapılmasını sağlamaktır [12].

Yüzey temizleme hattından gelen çelik teller, tel çekme makinesinde beton demeti bölümünde kullanılmak üzere istenilen çapa çekilir. Bobinlere sarılan teller, örme makinesine yüklenir. Daha sonra gergi altında kullanım alanlarına göre hazır hale getirmek için stabilizasyon fırınından geçirilir ve düzenli sarıcıda sarılarak ambalajlanır. Şekil 1.7’de beton demeti bölümünden bir kesit yer almaktadır [10].



Şekil 1.7. Beton demeti bölümünden bir kesit [10]

2. ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN ARITMA YÖNTEMLERİ

Nüfus artışı ve endüstrinin gelişmesi ile birlikte çevre kirliliği en ciddi tehlikelerden birisi haline gelmiş ve özellikle de su kirliliğinin artışıyla global dünyanın en büyük sorunu haline gelmiştir. Bununla beraber endüstri atık sularının arıtılması, çevre kirliliğinin azaltılmasında ve canlı yaşamında oldukça önemli bir faaliyet alanı oluşturmaktadır.

Atık su arıtımında temel amaç, suyun kirlilik derecesinin kullanım amacına göre istenilen düzeye getirilmesi ve alıcı ortama deşarjının sağlanmasıdır. Atık suların içinde barındırdıkları kirleticilerin, sucul ekosistemlerdeki canlı organizmalar tarafından absorbe edilebilirliği yüksektir. Besin zincirine bir kere girmeleriyle birlikte insan vücudunda geniş konsantrasyonlar da ağır metal birikebilir. Bu nedenle metal içerikli atık suların alıcı ortama deşarjından önce arıtılması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak çeşitli arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemle; fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri arıtım yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır [9].

Ülkemizin su ortamlarının kalite sınıflandırmaları ve kullanım amaçları, endüstri faaliyetlerine göre atık suların boşaltım ilkeleri ve kalite kriterleri 2004 yılı ve 25687 sayılı Resmî Gazetesinde yayımlanan SKKY ile belirlenmekte ve bu yönetmelikle su ortamlarının korunması sağlanmaktadır. Söz konusu yönetmelikte Tablo 15'te genel olarak metal sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartları yer almaktadır. Tez çalışmasında kullanılan atık suyun alıcı ortama deşarj standartları ise yönetmelikte Tablo 15.2'de olduğu görülmektedir. Tablo 2.1'de bu tabloya ilişkin (Tablo 15.2) çalışma da kullanılan atık suyun alıcı ortama deşarj standartları yer almaktadır [14].

2.1. Fiziksel Arıtma Yöntemleri

Fiziksel arıtma yöntemlerinde, atık suların içerisinde bulunan kirleticilerin fiziksel olarak sudan giderilme işlemleri, kirleticinin tanecik boyutuna göre değişebilmektedir. Arıtma tesislerinde uygulanan fiziksel arıtma üniteleri ızgaralar, kum tutucular, dengeleme, yüzdürme ve çökeltme havuzlarıdır.

Tablo 2.1. Metal Sanayii (Genelde Metal Hazırlama ve İşleme) atık suları alıcı ortama deşarj standartları (SKKY-Tablo 15.2.) [14]

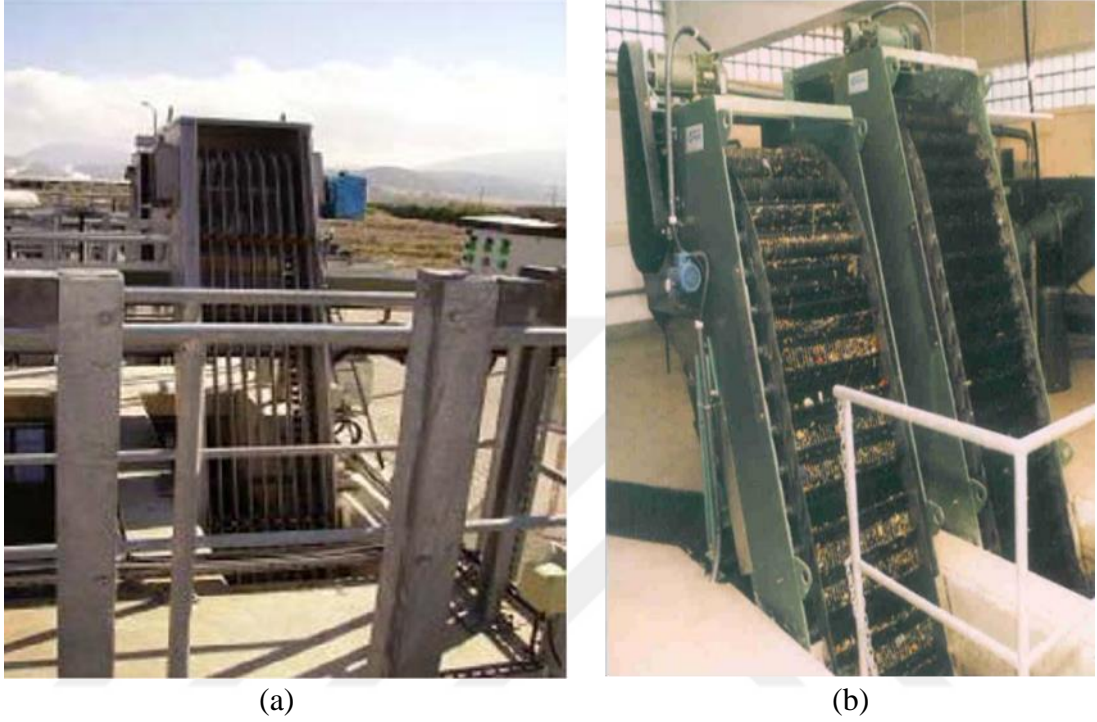
PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	mg/l	200	100
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	mg/l	120	50
YAĞ VE GRES	mg/l	20	10
AMONYUM AZOTU (NH ₄ -N)	mg/l	100	-
NİTRİT AZOTU (NO ₂ -N)	mg/l	10	5
AKTİF KLOR	mg/l	0.5	-
SÜLFÜR (S ⁻²)	mg/l	2	-
TOPLAM KROM*	mg/l	2	1
KROM (Cr ⁺⁶)*	mg/l	0.5	0.5
KURŞUN (Pb)*	mg/l	2	1
TOPLAM SİYANÜR (CN ⁻)*	mg/l	0.5	0.1
CİVA (Hg)*	mg/l	0.05	0.01
KADMİYUM (Cd)*	mg/l	0.5	0.1
ALÜMİNYUM (Al)*	mg/l	3	2
DEMİR (Fe)*	mg/l	3	-
FLORÜR (F ⁻)*	mg/l	50	30
BAKIR (Cu)*	mg/l	3	1
NİKEL (Ni)*	mg/l	3	2
ÇİNKO (Zn)*	mg/l	5	3
GÜMÜŞ (Ag)*	mg/l	0.1	-
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)	-	10	-
pH	-	6-9	6-9

Ünitelerde; kaba ve çökeltilbilir katıların çarpma işlemiyle elenmesi, öğütülmesi, ızgarada iri maddelerin tutulması, topaklaştırılması, yüzdürülmesi ve çöktürülmesi gibi işlemler uygulanmaktadır [15].

2.1.1. Izzaralar

Atık sudaki kâğıt, plastik, metal gibi iri katı maddeleri tutmak için ızgaralar kullanılmaktadır. Bu maddeler, atık sudan ayrılmadığı takdirde tıkanmaya yol açabileceği pompalara, vanalara ve borulara zarar vererek arıtmada problemlere yol açmaktadır. Izzara çubukları arasındaki serbest aralık 30 mm veya daha büyük ızgaralar "kaba ızgara", 30 mm'den daha küçük ızgaralar "ince ızgara" olarak

sınıflandırılmaktadır. Kaba ve ince ızgaralar manuel veya mekanik olarak temizlenebilmektedir. İnce ızgara tipine örnek olarak çubuk ızgara, yay tipi, döner elek tipi, döner tambur tipi ince ızgara örnekleri verilebilmektedir. Şekil 2.1’de kaba ve ince ızgara görülmektedir [16].



Şekil 2.1. Izzaralar a) Kaba Izzara, b) İnce Izzara [Çekim tarihi: 22.07.2015]

2.1.2. Kum tutucular

Bu üniteye tutulması planlanan kum olarak tanımlanan maddeler, kum, taş, çürük gibi yoğunluğu veya çökme hızı, biyolojik arıtmada parçalanabilen organik maddelere kıyasla daha yüksek olan maddelerdir. Yumurta kabukları, kemik parçacıkları, tohumlar ve yemek artıkları gibi organik parçacıklar da bu kapsama girmektedir. Kum tutucular genellikle ilk çöktürmeden önce kaba ızgaradan sonra kullanılırlar. Kum tutucuların ızgaralardan sonra olması, toplanan kumun temizlik ve bertarafını kolaylaştırır [16].

2.1.3. Dengeleme

Dengelemenin amacı, atık su karakteristiğindeki dalgalanmaları minimize ederek, debi salınımlarında kontrolü sağlayarak daha sonraki arıtım prosesleri için optimum şartları sağlamaktır. Atık suyun debisi ve akımındaki değişimler, dengeleme havuzunun

boyutunu ve tipini belirlemektedir [17]. Dengeleme havuzunun endüstriyel arıtma tesislerindeki konumu arıtılan suyun verimi ve kalitesi için oldukça önemlidir. Bu husus göz önüne alındığında genellikle dengeleme havuzunun ön arıtmadan sonra, biyolojik arıtmadan önce bir yerde olması uygun olacaktır. Şekil 2.2’de çalışmada kullanılan atık suyun alındığı dengeleme havuzu görüntüsü yer almaktadır. Endüstriyel atık suların arıtımında dengeleme havuzlarının amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Atık sudaki organik madde konsantrasyonuyla oluşabilecek ani değişimleri stabil seviye de tutarak biyolojik arıtma proseslerinde ani yüklenmeyi önlemek,
- Nötralizasyon prosesi için atık suda optimum pH kontrolünü sağlamak veya kimyasal kullanım gereksinimini en aza indirmek,
- Kanalizasyon sistemine zarar verme kapasitesi olabildiğince en aza indirgenmiş kontrollü ve az değişkenli su deşarj etmek,
- Arıtma sürecinde süregelen diğer arıtma proseslerine aşırı atık su girdisini kontrol altına alarak, kimyasal beslemeye uygun ortam hazırlamak,
- Atık suda bulunabilen yüksek konsantrasyonlardaki toksik maddelerin biyolojik arıtma proseslerine akışını önlemek [17].



Şekil 2.2. Dengeleme havuzu [Çekim tarihi: 5.10.2018]

2.1.4. Yüzdürme ve çöktürme havuzları

Yüzdürme işlemi, yoğunluğu birbirinden farklı katı ve sıvı fazdaki maddelerin atık sudan ayrılması için kullanılan ve çökelme işleminin tersi olan bir temel işlemdir. Farklı fazlardaki parçacıkların, suyun yüzeyine çıkabilmesi için yoğunluklarının sudan

daha az olması gerekmektedir [18]. Örneğin, atık suda bulunan yağ ve gres gibi sıvı fazdaki maddelerin sudan ayrılması amacıyla yüzdürme işlemi kullanılmaktadır. Ayrıca endüstriyel atık sulara gönderilen hava kabarcıkları sayesinde sıvı fazdaki maddelerin suyun içerisinde asılı halde bulunan katı parçacıklara yapışıp, tutunarak atık su yüzeyine çıkması sağlanmaktadır. Bu sayede yüzeye çıkan katı ve sıvı maddeler, sıyırıcılar vasıtasıyla sudan uzaklaştırılmaktadır [17].

Çökeltme havuzlarında ise, atık suda bulunan yoğunluk farkınca çökebilir maddelerin yerçekimi etkisi ile çökeltilerek, havuz tabanından alt sıyırıcılarla atık su akımından ayırma işlemi yapılmaktadır. Bir arıtma tesisi planında çökeltme havuzları biçimi, dikdörtgen veya dairesel olarak yer alabilmektedir. Ayrıca çökeltme havuzunun oluşturulmasında, havuz tabanına çökelen çamurun biriktirilmesi için çamur toplama haznesi ve bu hazne içerisine biriken çamuru sıyırarak, havuz tabanına yerleştirilen sıyırma mekanizması gerekmektedir [18].

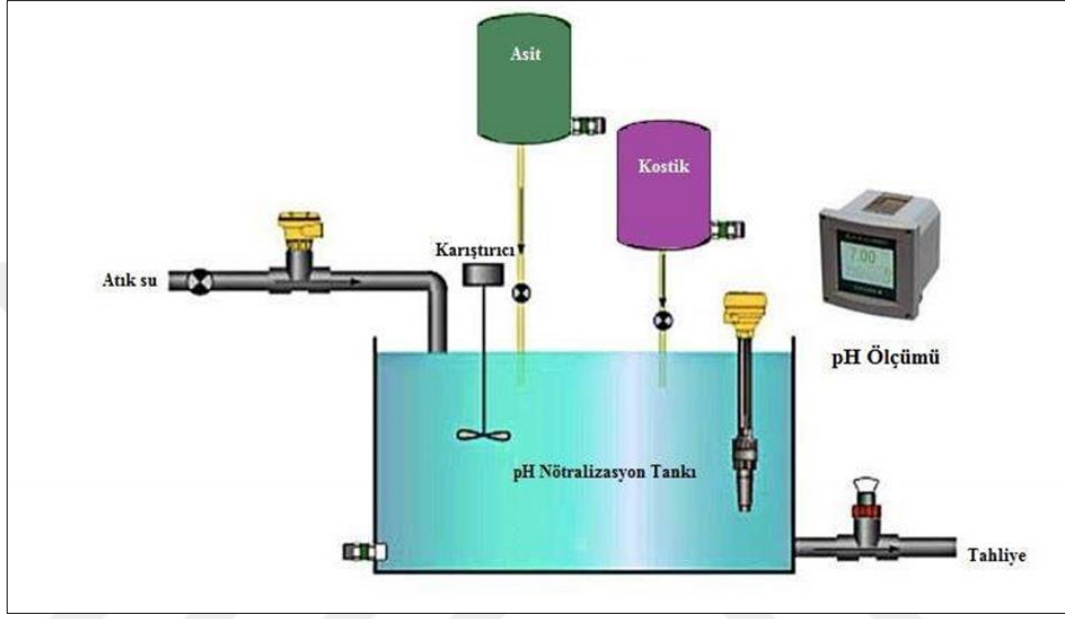
2.2. Kimyasal Arıtma Metotları

Arıtma işleminde kimyasal reaksiyonlar kullanıldığında bu yöntem kimyasal arıtma olarak tanımlanmaktadır. Kimyasal arıtmanın amacı, suda çözülmüş halde bulunan kirleticilerin, kimyasal reaksiyonlarla çözünürlüğünü düşürmek ya da koloidal ve askıdaki maddelerin yumaklar oluşturarak çökeltilmesinin sağlanmasıyla sudan giderilmesidir. Zararlı bileşiklerin zararsız forma dönüştürülmesi, biyolojik arıtmadan önce atık suların pH değerlerinin ayarlanması ve nötralizasyon, dezenfeksiyon, klasik biyolojik ve kimyasal arıtma yöntemleriyle uzaklaştırılmayan organik maddelerin giderilmesinde adsorbsiyon işlemlerinin uygulanması kimyasal arıtma kapsamında yer almaktadır [19].

2.2.1. Nötralizasyon

Metal endüstrisi atık sularının alıcı ortama verilmeden önce Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre pH değerinin 6-9 arasında olması istenmektedir. Endüstriyel atık sular da asidik ve bazik içerikli kirleticileri zararsız hale dönüştürmek için alıcı ortama deşarj etmeden önce nötralize etmek gereklidir. Bu nedenle asidik kirleticiler de hidrojen iyonlarını, bazik kirleticiler de ise hidroksil iyonunu azaltarak bu işlem yapılmaktadır. Kuvvetli bazik kimyasallardan olan kireç, dolomit, kostik soda,

amonyum hidroksit ile asidik atık sular nötralize edilmektedir. Nötralizasyon tankına gelen atık suyun önce pH değeri ölçülmektedir. Tanka, 30-60 saniye içinde asit ve baz çözeltileri ilave edilmektedir. Daha sonra 15-45 dakika süre ile karıştırma işlemi yapılarak nötralizasyon prosesi tamamlanmaktadır. Şekil 2.3'te temel nötralizasyon prosesi gösterilmiştir [20].



Şekil 2.3. Atık su nötralizasyon işlemi [20]

2.2.2. Koagülasyon – Flokülasyon

Kimyasal arıtma yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan proseslerden birisi de koagülasyon ve flokülasyon prosesleridir. Bu prosesler, askıda ve kolloid formdaki atık maddelerin atık sudan giderilmesinde kullanılmaktadır [17].

Koagülasyon işlemi, atık suya ilave edilen koagülant olarak adlandırılan kimyasal maddenin homojen olarak suya karışmasını sağlamak amacı ile uygulanmaktadır. Karıştırma işlemi, yüksek hızlı mekanik karıştırıcılar sayesinde sağlanmaktadır. Bu işlem sonucu oluşan tanecikler çok küçük yumaklar halinde birleşirler. Koagülant olarak polielektrolit, kireç, alum, demirsülfat ve demir klorür gibi kimyasal maddeler kullanılmaktadır [17]. Koagülasyonun ardından flokülasyon işleminde, atık suyun yavaş bir şekilde karıştırılmasıyla pıhtılaştırma oluşumu sağlanarak, tanecikler birleştirilmektedir. Birleşen tanecikler daha kolay çöken yumaklar oluşturmaktadır. Oluşan yumaklar, yoğunluk farkına göre havuz dibinden alt sıyırıcılar ile yüzeyde

biriken yumaklar ise yüzey sıyrıcıları vasıtasıyla sudan uzaklaştırılmaktadır [21]. Şekil 2.4'te sırasıyla koagülasyon ve flokülasyon prosesleri gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 2.4. a) Koagülasyon b) Flokülasyon prosesleri [Çekim tarihi: 22.07.2015]

2.3. Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Biyolojik arıtım, atık su içerisinde çözülmüş ya da askıda bulunan organik kirleticilerin mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılarak parçalanması işlemidir. Bu sayede çökebilen mikroorganizmalar oluşturulmaktadır [22]. Aynı zamanda mikroorganizmalar tarafından organik kirleticilerin bir bölümü ayrıştırılarak karbondioksit, azot ve fosfor gibi çeşitli gazlara dönüştürülerek, kirleticilerin sudan uzaklaştırılması sağlanmaktadır [19]. Kirleticilerin parçalanarak zararsız formlara dönüştürülmesi işlemi çok sayıda mikroorganizma tarafından gerçekleştirilmektedir. Biyolojik arıtma sonrasında suyun havalandırılması, ileri arıtma tekniklerinden mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters ozmos veya elektrodializ prosesleri kullanılarak oluşan biokütlenin sudan ayrılması sağlanmaktadır [23].

Biyolojik arıtma prosesleri, genel olarak aerobik ve anaerobik arıtma prosesleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aerobik üniteler de organik kirleticiler hava ile temas eden mikroorganizmalar biokütle ve karbondioksite çevrilmektedir. Aerobik sistemler, organik atık suların muamele edilmesinde yüksek verim sağladığı için kullanılması tercih edilen sistemlerdendir [24].

Anaerobik sistemler, organik kirlilik yükü yüksek olan atık suların arıtımında kullanılmaktadır. Proseste anaerobik ayrışma oksijensiz ortamda hidroliz, asit ve metan reaksiyonları tarafından gerçekleştirilir. Bu üç reaksiyon sırasıyla şu şekilde gerçekleşmektedir:

- I. Yüksek molekül ağırlıklı çözülmüş ve askı halinde bulunan organik kirleticilerin hidrolizi,
- II. Hidrolizle küçük organik moleküllerin parçalanmış kirleticilerin, uçucu yağ asitlerine (asetik asite) dönüşümü,
- III. Oluşan asetik asidin, aynı zamanda hidrojen ve karbondioksitin metana dönüşümüyle gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda biyokimyasal ayrışmayla açığa su, karbondioksit ve metan gazı oluşmakta ve oluşan metan gazı da enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Anaerobik proseslerin aerobik proseslere göre havalandırma gereksinimi olmamasından, arıtma tesislerinde kurulum alanı olarak daha az alanı kaplamasından ve düşük maliyet gerektirdiğinden daha çok tercih edilmektedir [17]. Şekil 2.5'te aerobik arıtma prosesi olan aktif çamur havuzu görüntüsü yer almaktadır. Şekil 2.6'da anaerobik arıtma prosesleri gösterilmiştir [25].



Şekil 2.5. Aerobik arıtma, aktif çamur prosesi [Çekim tarihi:22.07.2015]



Şekil 2.6. Anaerobik arıtma prosesleri [25]

2.4. İleri Arıtma Metotları

Genellikle endüstriyel faaliyetlerin üretim proseslerinde, atık suların yeniden kullanılabilirliğinin sağlanması amacıyla ileri arıtım metotları kullanılmaktadırlar. Ayrıca, endüstrilerin atık sularında, kanalizasyon sistemlerine yaptıkları deşarjlama da istenilen standart değerlere ulaşabilmek ve yapılan denetimlerde bu standartları sağlayabilmek için de ileri arıtım metotları endüstriler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır [17].

Klasik arıtma proseslerinin çıkışındaki arıtılmış atık suda kalan askıda katı maddeler, çözülmüş maddeler, azot ve fosfor gibi organik kirleticilerin ilave arıtımı ileri arıtımla sağlanmaktadır [26].

İleri arıtım metotlarına örnek olarak adsorpsiyon, ters ozmos, ultrafiltrasyon ve elektrodializ prosesleri verilebilmektedir.

2.4.1. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon işlemi, atık suyun, içerisinde yerleştirilmiş granül halde bulunan aktif karbonların bulunduğu kolonlardan geçirilerek, su içerisindeki kirleticilerin aktif karbonun yüzeyine tutunulmasını sağlayarak, atık suyun arıtılması işlemidir. Granül aktif karbon genellikle kolon içerisinde kullanılmaktadır. Kolonlardaki adsorplama

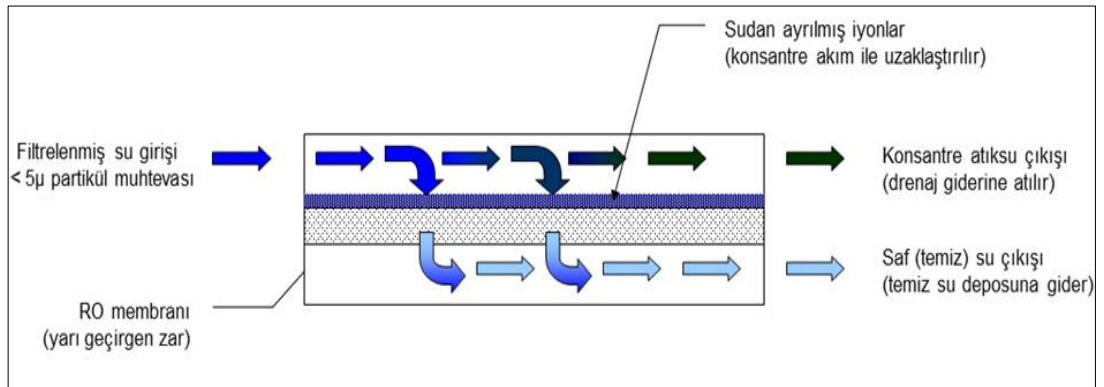
kapasitesi düşen granül aktif karbonların arıtım verimliliği açısından değişmesi gerekmektedir [27]. Şekil 2.7’de aktif karbon tankları gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Aktif karbon tankları [Çekim tarihi: 21.07.2015]

2.4.2. Ters ozmos

Ters ozmos prosesi, endüstriyel atık suyun yeniden kullanılabilmesini sağlamak amacıyla suyun geçişine izin verirken aynı anda çözülmüş iyonik maddelerin yarı-geçirgen membranlarda tutulmasını sağlayarak, kirleticilerin geçişini sınırlandıran bir sistemdir. Membranın bir tarafındaki saf olmayan atık su basınç uygulanması yoluyla membranın diğer tarafına geçirilir ve bünyesindeki maddelerin çoğunu geride bırakmaktadır. Böylece çözülmüş iyonik maddelerin membran tarafından sudan ayrılması sağlanmış olur. Şekil 2.8’de ters ozmos prosesinin çalışma prensibi gösterilmiştir [28].



Şekil 2.8. Ters ozmosun çalışma prensibi [29]

Ters ozmos sistemlerinde belli bir çalışma süresinden sonra membranlarda tıkanmalar meydana gelmektedir. Bu tıkanmalar ters ozmos cihaz veriminin düşmesine yol açmaktadır. Tıkanmaya yol açan etkenler, kolloidler, organik maddeler, biyolojik bileşenlerdir. Bu bileşenler zamanla membran yüzeyinde birikmelere sebep olmaktadır. Sonuç olarak ters ozmos cihazının verimini arttırmak ve tıkanmaları açmak için membranların kimyasallı solüsyon ile yıkanması ve cihazlarda geri yıkama yapılması gerekmektedir. Şekil 2.9'da ters ozmos prosesinin modülleri gösterilmiştir [29].



Şekil 2.9. Ters ozmos modülleri [Çekim tarihi: 21.07.2015]

2.4.3. Ultrafiltrasyon

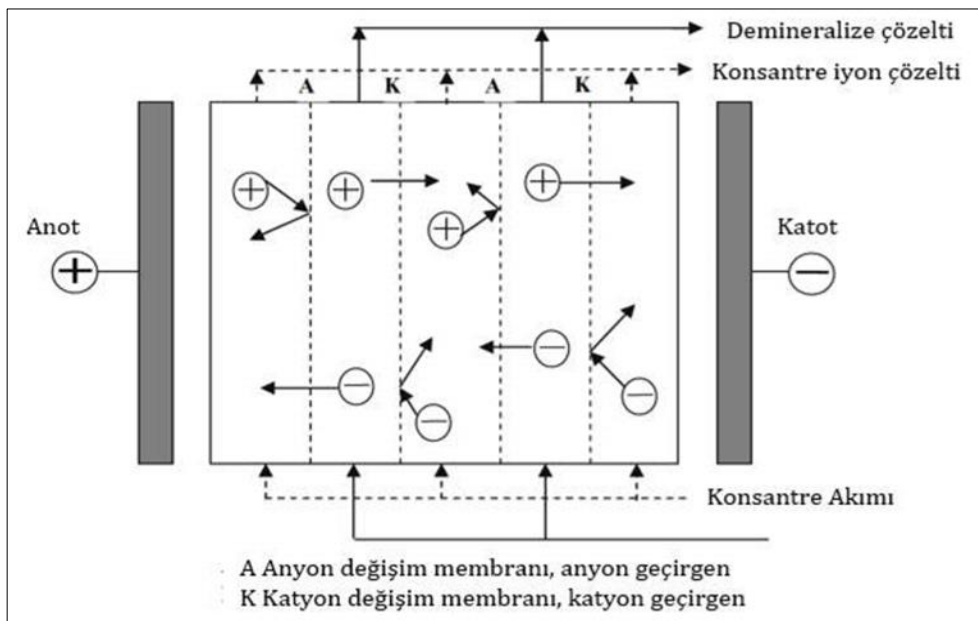
Çalışma prensibi ters ozmosa benzeyen ancak yarı geçirgen membranlardan geçirilen atık suya uygulanan basıncın daha düşük olduğu bir membran filtrasyon prosesidir [29]. Ultrafiltrasyon membranları, yüzey sularının arıtımında doğrudan kullanılabilir veya endüstriyel atık suların arıtımında koagülasyon-flokülasyon sistemleri ile entegre edilebilmektedirler. Ayrıca ters ozmos sistemlerinde ön arıtma prosesi olarak kullanımları mevcuttur [28]. Şekil 2.10'da ultrafiltrasyon ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Ultrafiltrasyon ünitesi [Çekim tarihi: 21.07.2015]

2.4.4. Elektrodializ

Elektrodializ, sulu çözeltilerdeki iyonik bileşenlerin, iyon değiştirici membranlar vasıtasıyla elektrik alanının akım kuvveti olarak kullanılmasıyla, atık sudan iyonik bileşenlerin uzaklaştırılmasıdır. Membranlar, seçici ve yarı geçirgendir, sadece anyonların veya katyonların geçişine izin vermektedir. Bileşenlerin sudan ayrılması işlemi, molekül boyutundan ziyade elektrik yükü yardımıyla gerçekleşmektedir. Şekil 2.11’de elektrodializin temel çalışma prensibi gösterilmiştir [28].



Şekil 2.11. Elektrodializin temel çalışma prensibi [28]

Tipik bir elektrodializ tesisi, %90'ın üzerinde atık suyun geri kazanılmasını sağlamaktadır. Bir elektrodializ sistemi, sıcaklık aralığının (43°C'ye kadar) yanı sıra geniş bir pH aralığında (pH 1,0-13,0) işletilebilmektedir. Elektrodializ prosesinin işletim ve bakım maliyeti, ters ozmosa göre biraz daha yüksektir. Bu prosesin dezavantajı, membran yüzeylerinin kolaylıkla tıkanabilmesidir [30].

Endüstriyel atık suların arıtım yöntemlerinden birisi de biyosorpsiyon yöntemidir. Çalışma da kullanılan atık sudaki metallerin giderilmesi işleminde biyosorpsiyon yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemin detaylandırılmasına, tez içerisinde 5. bölümde yer verilmiştir.



3. ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN ARITIMI İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde, metal sektörünün atık sularıyla yapılan arıtma yöntemlerine bakıldığında örneğin, emaye kaplama prosesinin ardından çıkan atık sulardaki kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) parametresinin fenton oksidasyonu ile arıtılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda KOİ parametresi için giderim veriminin %88'e ulaştığı tespit edilmiştir [13]. Bir başka çalışmada demir çelik endüstrisi atık sularının bünyesinde oluşan, Cl^- ve Ca^{+2} kirleticilerinin elektrosorpsiyon tekniği ile giderilerek suyun endüstri proseslerinde yeniden kullanımı sağlanmıştır. Cl^- ve Ca^{+2} 'nin ortalama giderim verimleri %75 ve %68 olarak bulunmuştur [31]. Diğer bir çalışmada ise, Çin'de akışkan yataklı reaktörler kullanılarak endüstriyel atık sulardaki ağır metal gideriminin yapılması hedeflenmiştir. Arıtım sonrası çamurda susuzlaştırma ihtiyacı olmamakla birlikte, giderimde uygun pH değeri 9-9,1 olarak saptanmış ve arıtımın verimi %95 olarak bulunmuştur [32].

Yapılan başka bir çalışma da kimyasal çöktürme, yüzdürme, koagülasyon-flokülasyon, iyon değiştirme ve membran filtrasyon gibi arıtım yöntemleri kullanılarak kontamine olmuş atık sudaki Zn, Cd, Mn, Cu ve Ni gibi ağır metallerinin giderilmesi üzerine çalışılmış, uygulanan arıtım yöntemlerinden kimyasal çöktürme, atık su arıtımında en etkili yöntemlerden biri olarak bulunmuştur. Bu yöntemle giderim verimleri sırasıyla %99,77, %99,67, %99,30, %80, %85 olarak tespit edilmiştir [33].

Ek olarak, bilinen arıtma yöntemlerinin dışında endüstriyel atık suların farklı türde mikroalglerle arıtılabilirliği konusunda literatürde birçok çalışma mevcuttur. Örneğin, Çin'de yapılan bir çalışmada endüstriyel atık sularda bulunan Ni ve Zn metallerinin gideriminde farklı türdeki mikroalglerin giderim performansı incelenmiştir. Çalışmanın ilk 300 dakikasında *S. quadricauda* 43 mikroalgiyle giderim verimi Ni için %99, Zn için %99,3 olduğu gözlemlenmiştir [34].

Diğer bir çalışma Suudi Arabistan'da bakırın sulu çözeltilerinde *Spirulina platensis*

mikroalginin biyosorpsiyonu araştırılmıştır. Çalışmada optimum koşullar gözlemlenerek %90,6 oranında Cu metalinin biyosorpsiyon verimliliğine ulaşılmıştır [35]. İran’da enerji santrali atık sularında 5 farklı mikroalg türü kullanılarak sülfat giderimi ve biyokütle üretimi karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada en yüksek sülfat giderim oranı %32 ile *Oocystis sp.* mikroalgi ve maksimum biyokütle verimliliği *Chlorella sp.* mikroalgi ile olduğu gözlemlenmiştir [36].

Birçok endüstriyel atık suda farklı türde mikroalglerle kirlilik gideriminin yapıldığı çalışmalar mevcuttur. Tekstil atık suları [37,38], domuz-sığır yetiştiriciliği yapan endüstri atık suları [39-41], tarımsal atık sular [42], ekmek mayası atık suları [43], et işleme tesisi atık suları [44], su ürünleri yetiştiriciliği atık suları [45,46] gibi çalışmalarda rastlanmak mümkündür. Endüstriyel atık suların arıtımı ile ilgili uygulamalar sırasıyla Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Endüstriyel atık suların arıtımı ile ilgili uygulamalar

Endüstri/Atıksu Türü	Arıtım Yöntemi	Parametreler	Verim (%)	Kaynak Yeri	Kaynak No
Metal Son İşlemleri Endüstrisi	Elektrokoagülasyon PS Çelik Elektrot	KOI, Ni, Zn	50-99-100	Türkiye	5
Metal Kaplama Endüstrisi	Elektrokoagülasyon Demir Elektrot	KOI, T-Cr, Ni, Zn	77,4-99,9 99,3-99,4	Türkiye	6
Metal Emaye Kaplama Endüstrisi	Fenton Oksidasyonu	KOI	88	Türkiye	13
Demir-Çelik Endüstrisi	Elektrosorpsiyon	Cl ⁻ , Ca ⁺²	75-68	Çin	31
Endüstriyel Atıksu	Akışkan Yataklı Reaktör	Cu, Ni, Zn	92-95	Çin	32
Kontamine Atıksu	Fiziko-Kimyasal Yöntemler	Zn, Cd, Mn, Cu, Ni	Kimyasal Çöktürme (>1000 mg/l)	Çin	33
Sentetik Atıksular	C.Sorokiniana *S. Quadricauda C. Vulgaris	Ni, Zn	*99-99,3	Çin	34
Bakırın Sulu Çözeltileri	Spirulina Platensis	Cu	90,6	S. Arabistan	35
Enerji Santrali Endüstrisi	Chlorella sp. Chlamydomonas sp. Fischlorella sp. Scenedenmus sp. *Oocystis sp.	SO4-2	*32	İran	36

Tablo 3.1.(Devam) Endüstriyel atık suların arıtımı ile ilgili uygulamalar

Endüstri/Atıksu Türü	Arıtım Yöntemi	Parametreler	Verim (%)	Kaynak Yeri	Kaynak No
Tekstil Endüstrisi	C. Pyrenoidosa	TN, TP	62-87	Pakistan Çin	37
Tekstil Endüstrisi	Chlorella sp. G23	N, KOİ	98-75	Tayvan	38
Domuz Yetiştiriciliği Endüstrisi	C. Zofingiensis	KOİ, TN, TP	79-82-100	Çin	39
Ekmek Mayası Üretim Endüstrisi	Chlorella Variabilis	KOİ	93,33	Türkiye	43
Et İşleme Endüstrisi	C. Vulgaris *S. Obliguus C. Protothecoides	KOİ, TN, TP	*89-55-72	ABD	44

4. ALGLER

Algler tek veya çok hücreli formlarda bulunabilen, gruplar halinde büyük kütleli koloniler oluşturabilen, basit yapılı, boyutları 3-10 µ ile 70 cm olabilen fotosentetik organizmalardır. Sınırlı besin ihtiyaçları ve hızlı bir üreme döngüleri sahiptirler [47].

Algler, ekosistemin her yerinde bulunabilirler. Alglerin %70'nin asıl yayılım alanı sular veya sulak alanlardır. Algler, koloni halinde, suyun olduğu her yerde (deniz, tatlı su kaynakları, göl ve su birikintileri), nemli toprak ve hayvanların vücutlarında yaşayan prokaryotik veya ökaryotik organizmalardır. Ayrıca fotosentez yoluyla hücreleri ışığı emerek inorganik maddeleri organik maddelere dönüştürmektedir [48].

Algler, vejetatif üreme, eşeyli ve eşeysiz üreme olmak üzere üç farklı üreme sistemine sahiptirler. Bunların içinde en yaygın olanı vejetatif üremedir. Bazı türlerde ise hücreler büyüyerek koloni oluşturur ve daha sonra normal büyüme sonucu bölünürler. Bazı türlerde ise algler, vejetatif üreme denilen, gelişme ve beslenme gibi yaşamsal faaliyetleri devam ettiği kısımlarından ana gövdenin büyümesiyle üreme gerçekleştirmektedir. Alglerin türleri, mikroalg ve makroalg olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır [49].

4.1. Mikroalglerin Karakteristik Özellikleri

Mikroalgler, en eski yaşayan alg gruplarından biridir. Kök, gövde ve yaprakları yoktur. Fotosentetik pigment olarak klorofil a vardır. Mikroalgler renklerine göre,

- *Chloophyceae* (yeşil renkli algler),
- *Rhodophyceae* (kırmızı renkli algler),
- *Cyanophyceae* (mavi-yeşil algler),
- *Pheophyceae* (kahverengi algler) olarak ayrılmaktadır.

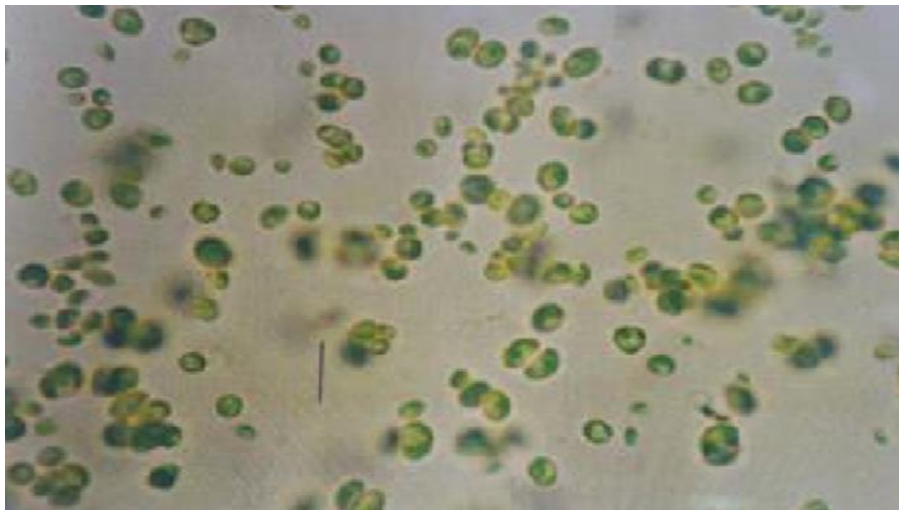
Mikroalglerin ürettikleri önemli pigmentler; Klorofil-a ve b, Karoten, Astaksantin, Fitosiyanin, Ksanthofil, Fitoeritrosin'dir. Bu pigmentler gıda sanayinde, eczacılıkta, tekstilde ve kozmetik sanayinde sıklıkla kullanılmaktadır [50]. 50000'den fazla türü

olduğu tahmin edilen mikroalglerin ancak yaklaşık 30000'e yakın tür belirlenebilmiştir. Mikroalglerin hücre yapısında başlıca lipitler (%4-55), karbonhidratlar (%6-57), proteinler (%10-63) olmak üzere birçok bileşen yer almaktadır [51].

Mikroalgler, diğer fotosentetik alglere kıyasla karbondioksit kullanımını açısından daha tüketgendir. Karasal bitkilere göre birim alan başına daha fazla karbondioksit tüketmektedirler. Evsel ve endüstriyel atık su arıtma tesislerindeki ikincil atık sular, mikroalgin metabolik faaliyetlerinin bir parçası olan beslenme için kullandıkları azot ve fosfor gibi besin ekementlerini yüksek düzeyde bulundurmaktadırlar. Buna ek olarak mikroalglerin Zn, Fe, Mg, Ca, Al, Na ve K vs. gibi metalleri biyosorpsiyon yöntemi ile hücre yüzeylerinde adsorbe etme özellikleri bulunmaktadır. Böylece mikroalgler, atık su arıtımına önemli ölçüde katkı sağlamaktadırlar [52].

4.1.1. *Chlorella* ESP-6

Çalışma da kullanılan *Chlorella* ESP-6, *Chlorella vulgaris* mikroalginin genetiği değiştirilerek elde edilmiş bir türüdür. Modern mikroalg kültür çalışmaları Beijerinck tarafından *Chlorella vulgaris* ile başlamıştır. *Chlorella* adı, yeşil anlamına gelen Yunanca *Chloras* kelimesinden gelmektedir. *Chlorella* ESP-6, *Chlorella vulgaris* mikroalginin karakteristik özelliklerini göstermektedir. Hücrelerin küresel çapı 4-10 µ arasında olup, bezelye yeşili rengindedir. Şekil 4.1'de *Chlorella vulgaris*in mikroskopik görüntüsüne yer verilmiştir [53].



Şekil 4.1. *Chlorella vulgaris* mikroalginin mikroskopik görüntüsü [54]

Biyoteknolojik uygulanabilirliği en yüksek olan mikroalg türlerinden *Chlorella vulgaris*, yeşil renkli alg olarak adlandırılan *Chlophyceae* mikroalg familyasının bir üyesidir ve vitamin ve mineral içermesinin yanında % 42-58 oranında yüksek protein içeriğine de sahiptir [55]. *Chlorella vulgaris* hücresinin içerisinde; mitokondri, küçük bir çekirdek, tek bir kloroplast ve golgi aygıtı organellerini barındırmaktadır [56].

Laboratuvar çalışmasında kullanılan katı kültür *Chlorella ESP-6* mikroalgi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. *Chlorella ESP – 6* [Çekim tarihi: 06.08.2018]

4.2. Mikroalg Üretim Prosesleri ve Üretimi Etkileyen Parametreler

Mikroalglerin büyük çaplı yetiştiriciliğin de amaç; az maliyetle, verimli ürün elde edebilmektir. Mikroalgler gelişimlerini, kendilerine özgü spesifik büyüme koşulları sağlandığında tamamlarlar. Mikroalglerin hem iç hem de dış ortamda üretimleri yapılabilmektedir [50].

4.2.1. Dış ortam üretim prosesleri

Mikroalglerin üretimi için dış ortam denildiğinde göletler, havuzlar ve her malzemenen imal edilen ağzı açık tanklar sayılabilmektedir. Bu proseslerin avantajları, kurulum ve işletiminin düşük maliyetli oluşu, kolay düzenlenebilir olması

ve yüksek üretim kapasitesine sahip olmasıdır. Dış ortam üretimlerinde güneş ışığından yararlanılabilmektedir. Ancak değişen hava koşulları bu durumu etkilemektedir [57]. Dış ortam üretim proses örnekleri Şekil 4.3 ve 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Dış ortam mikroalg üretim havuzları [50]



Şekil 4.4. Doğal gölette mikroalg yetiştirme sistemi [50]

4.2.2. İç ortam üretim prosesleri

İç ortam koşullarında mikroalg üretimi, dış ortamda olduğu gibi doğrudan çevre etkilerine, hava değişikliklerine maruz kalmamaktadır. Ancak alan sınırlaması olduğundan küçük ölçekli proseslerle üretim gerçekleştirilmektedir [58]. İç ortamda yetiştirilebilen mikroalg türlerinin çeşitliliği oldukça fazla olup, dış ortama göre iç ortam üretim proseslerinin kurulum teknolojisi yüksek maliyet gerektirebilmektedir [50].

İç ortam mikroalg üretim prosesleri, yeterli alan olmadığından ölçekli torbalar veya polyester tanklar, tübüler, levha ve biocoil tipteki fotobiyoreaktörlerle yapılabilmektedir [59].

4.2.2.1. Plastik torbalarda veya polyester tanklarda mikroalg üretimi

Geniş plastik torbalar ve polyester tanklarda, güneş ışığından faydalanılarak üretim yapılabilmekte ancak üretim performanslarının garanti altında olmayışı ve üretimin önceden belirlenememesi üretimin dezavantajıdır. Plastik torbalarda mikroalg üretiminin olumsuz yönleri, üretimin kesikli olması, fazla bir işçilik maliyeti gerektirmesi, torbaların üretim hacmi göreceli olarak arttırılmaktadır. Şekil 4.5'te plastik torbalarda, Şekil 4.6'da ise polyester tanklarda üretim görülmektedir [50].



Şekil 4.5. Plastik torbalarda üretim [50]



Şekil 4.6. Polyester tanklarda üretim [50]

4.2.2.2. Tübüler fotobiyoreaktörler

Tübüler fotobiyoreaktörlerde üretim, Biyo-Fence adı verilen sert ya da esnek yapılı şeffaf plastik boru veya tüpler kullanılarak mikroalg üretiminin gerçekleştirilmesine dayanmaktadır. Biyo-Fenceler isteğe bağlı olarak sayıları ve çapları artırılarak üretimde arttırılabilmektedir. Mikroalglerin biyo-fenceler içerisindeki dolaşımını pompa yardımıyla olmaktadır. Tüpler veya borular, dikey ya da yatay bir şekilde düzenlenerek kapalı ya da açık alanlarda belirli açıyla dizayn edilmektedir [59].

Şeffaf tüplerin ya da plastik boruların iç yüzeylerinde biriken mikroalgler toplama tankına alınmaktadır. Sistem temizliğinde ve toplanmasında özel patentli boncuklar kullanılmaktadır. Bu boncuklar, mikroalg ile birlikte sistemde dolaştırılarak sistemin temizliği sağlanmaktadır [50]. Tübüler fotobiyoreaktörün genel görünümü Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Tübüler fotobiyoreaktörün genel görünümü [54]

4.2.3. Mikroalg üretiminde etkili olan parametreler

Mikroalg üretimini, işletim parametrelerinden birçok faktör etkileyebilmektedir. Bu parametreler; ışık, pH değeri, sıcaklık, besin maddesi, karıştırma, tuzluluk oranı örnek olarak gösterilebilir [51].

Işık: Işık, mikroalglerin fotosentetik etkinliğini doğrudan etkilemektedir ve mikroalgler, karbondioksit ve ışığı kullanarak fotosentez yaparlar [60]. Işık kaynağına bağlı olarak absorbe edilen enerjiyi, kimyasal enerjiye dönüştürürler. Mikroalgler fotosentez için genellikle, spektrumuna göre 400-700 nm dalga boyundaki ışığa ihtiyaç duyarlar. Absorbe edilen dalga boyu mikroalgin türüne bağlı olarak da değişebilmektedir [51].

pH Değeri: pH değeri, mikroalglerin metabolik aktivitelerini değiştirmektedir [60]. Genel olarak, pH 10-11'in üzerinde, mikroalglerin gelişimi engellenebilmektedir. Birçok alg türünün gelişimi için optimum pH değeri 7-10 arasındadır [61,62].

Besin Maddesi: Mikroalglerin yetiştirilmesinde gerekli olan temel besin maddeleri karbon, azot ve fosfor dur [63,64]. Ayrıca eser miktarda silika, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, mangan, sülfür, çinko, bakır, kobalt gibi mikro besin maddelerine ihtiyaç duymaktadır. Atık sularda istenmeyen bu mikro besin maddeleri, mikroalgler için besin maddesi olmaktadır [51].

Karıştırma: Karıştırma, mikroalgler için önemli bir gelişim parametresidir [65]. Uygun karıştırma, ışık, sıcaklık, oksijen ve karbondioksitin homojen dağılımı için gerekmektedir [60]. Ayrıca, mikroalgler tarafından besin maddelerinin kullanımını artırmak için karıştırma gerekmektedir [66]. Karıştırma işlemi yavaş olursa, mikroalg kültürü içerisinde karanlık bölgeler oluşabilmektedir [60]. Karıştırma hızlı olursa, gerilmeden dolayı mikroalg hücreleri zarar görebilmektedir [65,67]. Karıştırma işlemi, mekanik karıştırıcılar veya pompalar, gaz dağıtıcı sistemler ile yapılmaktadır [51].

Tuzluluk Oranı: Her mikroalg türünün kültürel gelişimi için gereken optimum tuzluluk değeri değişmektedir [65]. *Synechococcus sp.*, *Nannochloropsis salina*, *Chlorococcum littorale* ve *Botryococcus braunii* gibi deniz mikroalgleri, yüksek tuzlu büyüme ortamında daha iyi gelişebilmektedir [60]. *Chlorella vulgaris* ve *Microcystisa*

eruginosa gibi tatlı su mikroalgleri ise daha az tuzlu besin ortamında gelişebilmektedir [60].

4.3. Mikroalglerin Kullanım Alanları

Tıp ve Eczacılık: Mikroalgler, tıp ve ilaç endüstrisinde, ilaçların ana maddesi olarak da kullanılmaktadır. *Chlorella* üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda, karaciğer üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca *Chlorella*, yüksekliği vücuda zararlı olan kan kolesterolü ve trigliserit seviyelerini düşürmektedir. *Spirulina*, obezite tedavisinde, yaraların kabuk bağlamasını hızlandırmada ve cilt metabolizmasının gelişiminde kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra kahverengi ve diğer alg türlerinden üretilen ilaçlar, tıp alanında kullanılmaktadır [68].

Beslenme: Mikroalglerin hücre içerisinde toksik olmayan proteinler bulunmaktadır. Bu proteinler, insan ve hayvan gıdalarına ek protein kaynağı olarak eklenebilmektedir. Mikroalglerden elde edilen agar denilen jelatinimsi, kıvam verici gıda maddesi, katılaşma özelliğinden dolayı yiyecek endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır. Örneğin; pasta, marmelat, puding, dondurma, peynir üretiminde, mayonez ve sosların yapımında kullanılmaktadır. Mikroalgler, koruyucu zar oluşturmaları nedeniyle konservecilikte de kullanılmaktadır [57].

Tarım: Tarımda algler, biyogübre olarak tüm dünyada kullanılmaktadır. Ayrıca tarım ilaçlarına mikroalglerin takviyesi yapılarak, zararlı canlılar, böcekler bitkilerden uzaklaştırılabilmektedir [68].

Atık Arıtma: Evsel ve endüstriyel atık sularda bulunan, çözünmüş ya da askıdaki organik ve inorganik bileşiklerin arıtımı, oksijenli ortamda gerçekleşmektedir. Bu oksijenlendirme mikroalgler tarafından sağlanabilmektedir. Atık sulardaki azot ve fosfor gibi bileşikler, mikroalglerin bulunduğu tanklara alınmaktadır. Mikroalgler tarafından besin kaynağı olarak kullanılan bu gibi kirleticiler ortamdan uzaklaştırılabilmektedir [57].

Biyodizel Üretimi: Biyodizel, bitkisel yağlardan üretilen ve değişikliğe uğramamış tüm dizel motorlarda çalışabilen bir motorize yakıttır. Yağ içeriği yüksek olan mikroalgler de biyodizel üretiminde kullanılan değerli kaynaklardandır. Yapılan

alışmalar sonucu mikroalglerden elde edilen bazı kuru yağ ağırlık oranları, *Scenedesmus* %12-40, *Chlorella* %14-22, *Dunaliella* %6-8, *Synechococcus* %11, *Botryococcus* %90 olarak bulunmuştur. En yüksek değere sahip olan *Botryococcus* 'un potansiyel yakıtlarla karşılaştırılması sonucu, diğer alternatif yakıtlardan daha fazla yenilenebilen likit yakıtlar elde edilebileceği ortaya çıkmaktadır [68].



5. BİYOSORPSİYON YÖNTEMİ

Endüstriyel atık sulardan metallerin giderilmesi amacıyla kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yanı sıra biyolojik maddelerin kullanımı hem alternatif hem de çevre dostu bir uygulama prosesi olmaktadır. Metal gideriminde biyolojik maddelerin kullanıldığı uygulamalara bakıldığında biyosorpsiyon yöntemi en başta gelebilmektedir.

Biyosorpsiyon, endüstri atık sularında bulunan metal iyonlarının biyolojik kökenli organizmaların yüzeyine tutunması işlemidir [69].

Metallerin üzerinde biriktirdiği organizmaya da biyokütle denmektedir. Biyosorpsiyon prosesi, sulu ortamdaki biyokütlenin yüzey alanı ile kirlilik yaratan metal çözeltilerinin temas etmesiyle, metal iyonlarının sudan uzaklaştırılması sürecidir [70].

Son yıllarda artan çevre bilinci ile çok çeşitli endüstri atıkları için yapılan yasal düzenleme ve yönetmelikler, düşük maliyetli arıtım sistemlerini gündeme getirmektedir. Bu nedenle ucuz ve yenilenebilir özellikte bulunan biyokütle ile yapılan biyosorpsiyon çalışmaları yaygınlaştırılmaktadır [70].

Biyolojik işlemlerle metal arıtımı, özellikle mikroalglerle yapılan metal biyosorpsiyonu etkili ve alternatif bir teknoloji oluşturacak güçtedir [71].

Biyosorpsiyon teknolojisinin avantajları; atık sulardaki metal konsantrasyonlarını çok düşük seviyelere indirgemekteki işlevliliği ve kolayca üretilebilen, ekonomik mikroalg biyokütlelerinin kullanılmasıdır. Yüksek seçiciliğe sahip olan mikroalgler, biyosorpsiyon yöntemiyle metal iyonlarının giderilmesinde ve çok seyreltik sulardan bile kirleticilerin etkili bir şekilde uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır [72].

Biyosorpsiyon yönteminin diğer avantajları ise yöntemin yerinde uygulanabilen bir yöntem olması, maliyetli özel dizaynlar ve endüstriyel işlemler gerektirmemesi ve birçok arıtım sistemiyle de ekonomik bir şekilde birleştirilerek arıtım veriminin en düzeye çıkarılabilmesidir [72].

5.1. Biyosorpsiyonu Etkileyen Parametreler

Biyosorpsiyon yönteminde, süreci etkileyen parametreler, biyokütlenin miktarı, karıştırma hızı, pH değeri ve sucul ortamın sıcaklığıdır.

5.1.1. Biyokütlenin miktarı

Biyosorpsiyon yöntemine etki eden parametrelerden ilki biyokütle miktarıdır. Genel olarak biyosorpsiyon yönteminin kullanıldığı, sabit bir başlangıç metal konsantrasyonunda, çözelti ortamındaki biyokütle miktarının artmasıyla biyosorpsiyon verimi artmaktadır. Başlangıç konsantrasyonu sabit iken çözeltide kalan iyon konsantrasyonunun azalması ve biyokütle miktarının artmasıyla biyosorpsiyonun verimi azalmaktadır [73].

5.1.2. Karıştırma hızı

Biyosorpsiyonun gerçekleşme hızı, sucul ortamdaki çözeltinin karıştırma hızıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Karıştırma hızının artmasıyla metal çözeltisi ile biyokütle arasında etkileşim artarak biyosorpsiyon işleminin verimi arttırmaktadır. Ancak karıştırma hızının fazla olması metal çözeltisi ile biyokütle arasında oluşan bağı bozmaktadır [74].

5.1.3. pH değeri

Biyosorpsiyon ortamının pH değeri metallerin, mikroalglerin yüzeyine tutunmasını etkileyen en önemli parametredir. Farklı pH değerlerinde, değişken adsorpsiyon hızlarının elde edilmesi metaller ile biyokütle arasındaki kimyasal etkileşimin bir sonucudur. Sulu çözeltide biyokütle olarak kullanılan mikroalglerin gelişimi, biyosorpsiyon sürecinde uygun pH değeri 7-10 arasında etkili olmaktadır [72].

5.1.4. Sıcaklık

Mikroalglerle metal biyosorpsiyonunda, enerjiye bağlı mekanizmaların varlığından dolayı biyosorpsiyon ortamının sıcaklığı etkili bir parametredir. Birçok biyosorpsiyon işlemi ekzotermiktir. Düşük sıcaklıklardan başlayarak sıcaklığın artırılması ile biyokütlenin yüzeyindeki porlar genişler ve tutunum daha yüksek düzeyde gerçekleşmektedir. Ayrıca biyosorpsiyon hızı da artmaktadır. Ancak genelde 25°C'nin

üzerindeki sıcaklıklarda biyosorpsiyonun ekzotermik özelliğinden dolayı verim azalmaktadır [75].



6. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan atık su, Kocaeli İlinde yer alan, 107.315 m² yüzölçümlü alan üzerinde kurulu, halat ve tel üretimi konu/konularında faaliyet göstermekte olan bir metal endüstri tesisinin arıtma ünitesine girmeden önceki ham atık su çıkışından alınarak temin edilmiştir. Numune atık suyun tesisten temin edilişi Şekil 6.1’de görülmektedir.



Şekil 6.1. Atık su numunesi temini [Çekim tarihi:05.10.2018]

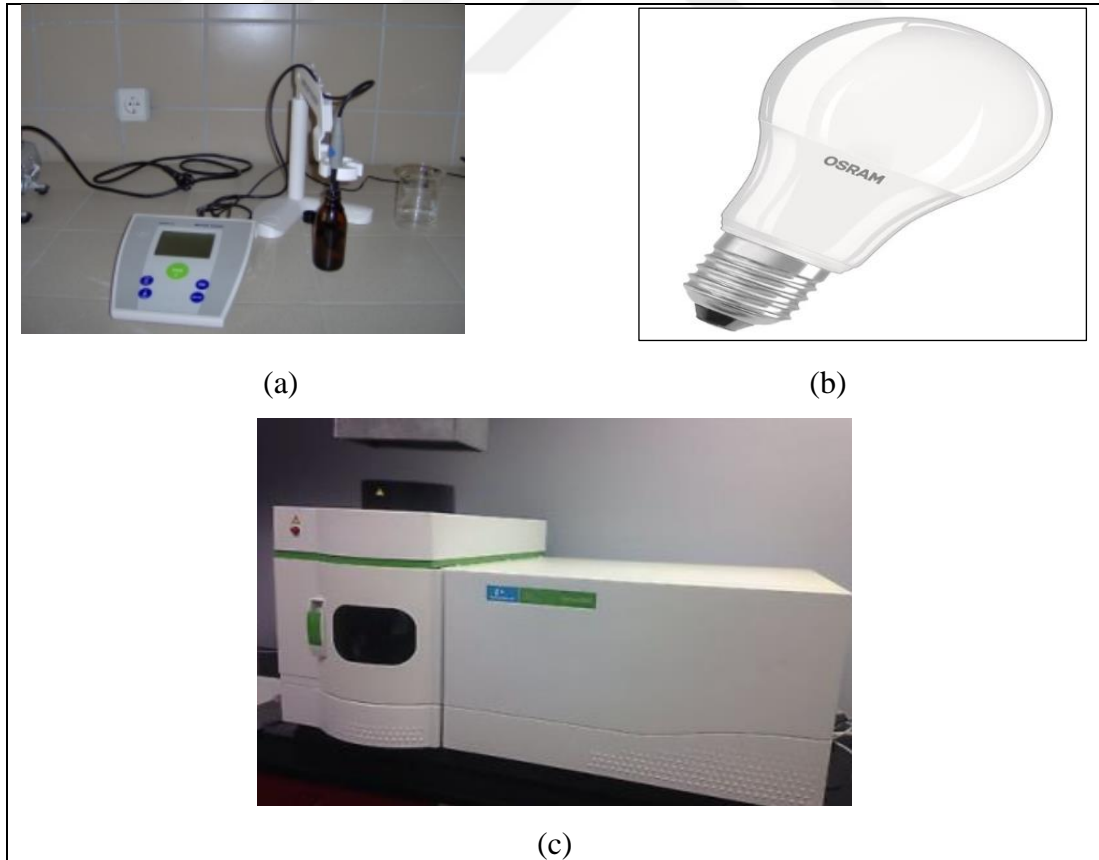
6.1. Deneysel Kurulum

Çalışma için kullanılan *Chlorella ESP-6* mikroalgi Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Biyoteknoloji laboratuvarından temin edilmiş olup, mikroalg ekimi ve çalışma takibi burada gerçekleştirilmiştir. Canlı olarak kullanılan *Chlorella ESP-6*, Şekil 4.2’de görülmektedir. Kullanılan laboratuvar ekipmanları ve optimum değerler Tablo 6.1’de gösterilmiştir. Ayrıca ekipman görsellerine Şekil 6.2’de yer verilmiştir. Başlangıç olarak katı partikülleri çöktürmek amacıyla 600 ml atık su

örneği 4000 rpm de 20 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminin yapıldığı Hermle Z 446 marka cihaz şekil 6.3'te görölmektedir. Ardından atık su örneğinin pH değeri ölçölmüş ve 7,6 olarak bulunmuştur. Numune sıcaklığı ise 25,4°C'dir.

Tablo 6.1. Laboratuvar ekipmanları ve kullanılan optimum değerler

Laboratuvar Ekipmanı	Ekipman Adı/Markası	Optimum Değer
pH metre	Orion	7,6
Sıcaklık ölçer	Orion	25,4°C
Santrifüj Cihazı	Hermle Z 446	4000 rpm
Ampuller	OSRAM (2 Adet)	806 lm 1060 lm
İnkübatör	Witeg Germany	120 rpm
Metal Ölçüm Cihazı	Perkin Elmer 8000 ICP-OES	50 ml saf su 5 ml nitrik asitle homojenize



şekil 6.2. Kullanılan Ekipmanlar; a) pH ve sıcaklık ölçer, b) Ampul, c) Perkin Elmer Optima 8000 ICP-OES cihazı [Çekim tarihi: 06.10.2018]



Şekil 6.3. Santrifüjleme cihazı Hermle Z 446 [Çekim tarihi: 06.10.2018]

Daha sonra 250 ml'lik erlenlere alınan atık su örnekleri hacimce %0-%10-%20 ölçülerinde saf su ile seyreltilmiştir. Seyreltilmiş atık su örneklerine öze yardımıyla 5 mg alınan *Chlorella ESP-6* mikroalgi, katı kültür ekimi yapılarak 120 rpm çalkalama hızında, sürekli aydınlatma yapan 2'şer adet 806 lm ve 1060 lm ışık akısında LED ampuller ile inkübe edilmişlerdir. Deney düzeneği ve kullanılan inkübatör cihazı Şekil 6.4'de görülmektedir. Çalışma 24. günde sonlandırılmıştır. Atık su örneklerinden, ekilen *Chlorella ESP-6* mikroalginin yetiştirme süresi boyunca 1. günde, 7. günde ve 24. günde örnekler alınmıştır.



Şekil 6.4. Deney düzeneği ve inkübatör cihazı [Çekim tarihi: 06.10.2018]

6.2. Metal Giderimi

Atık suyun *Chlorella ESP-6* mikroalgi ekimi öncesi ve sonrası metal ölçümleri, PerkinElmer Optima™ 8000 ICP-OES cihazı kullanılarak yapılmıştır. Metal analizleri için, mikroalglerin yetişmesi boyunca farklı günlerde 20 ml örnek alınarak kaba filtreden geçirilmiştir. Atık su örnekleri 0,01 ml yaklaşımla 100 ml'lik bir ölçülü balon jode tartılır. Daha sonra balon jodeye sırasıyla 50 ml saf su ve 5 ml nitrik asit ilave edilir. Balon jode işaret çizgisine kadar saf su ile doldurulur ve çözelti homojen hale getirilerek cihazda okutulur [76]. Metallerin başlangıç konsantrasyonları Tablo 6.2'de gösterilmiştir. 3 farklı günde alınan örneklere ait giderim sonrası metal konsantrasyonları ise Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Metallerin başlangıç konsantrasyonları (mg/l)

Parametreler	Konsantrasyon
Zn	0,802
Fe	0,347
Mg	3,115
Ca	23,060
Al	0,125
Na	18,800
K	1,551

Tablo 6.3. Giderim sonrası metal konsantrasyonları (mg/l)

Parametreler	%0 Seyreltme			%10 Seyreltme			%20 Seyreltme		
	1.GÜN	7.GÜN	24.GÜN	1.GÜN	7.GÜN	24.GÜN	1.GÜN	7.GÜN	24.GÜN
Zn	0,127	1,109	0,275	0,409	0,076	0,075	0,717	0,624	0,020
Fe	0,312	0,624	0,093	0,422	0,561	0,025	0,531	0,440	0,010
Mg	1,516	1,239	2,574	2,474	1,455	0,913	1,929	2,030	1,793
Ca	0,273	0,326	0,243	0,244	0,357	0,227	0,217	0,220	0,255
Al	0,034	0,040	0,033	0,028	0,051	0,016	0,018	0,028	0,024
Na	1,783	2,442	1,787	5,142	5,061	3,348	3,348	3,577	1,830
K	1,739	3,107	1,950	1,668	3,693	1,228	1,238	1,247	0,970

Metallerin giderim verimliliği aşağıda Denklem (6.1) 'deki eşitlikle hesaplanmıştır [77].

$$RE(\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (6.1)$$

RE (%), metal iyonlarının giderim verimi, C_i (mg/l), atık sudaki metallerin başlangıç konsantrasyonları, C_f (mg/l) ise çalışma süresince 1. gün, 7. gün ve 24. günlerde alınan atık su örneklerindeki giderim sonrası konsantrasyonlarını ifade etmektedir.



7. BULGULAR VE TARTIŞMA

%0-%10-%20 oranlarında seyreltilmiş metal atık sularında *Chlorella ESP-6* mikroalginin yetişmesi süresince 1.- 7. ve 24. günlerde alınan örneklerin metal giderim verimleri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Metallerin giderim verimleri (%)

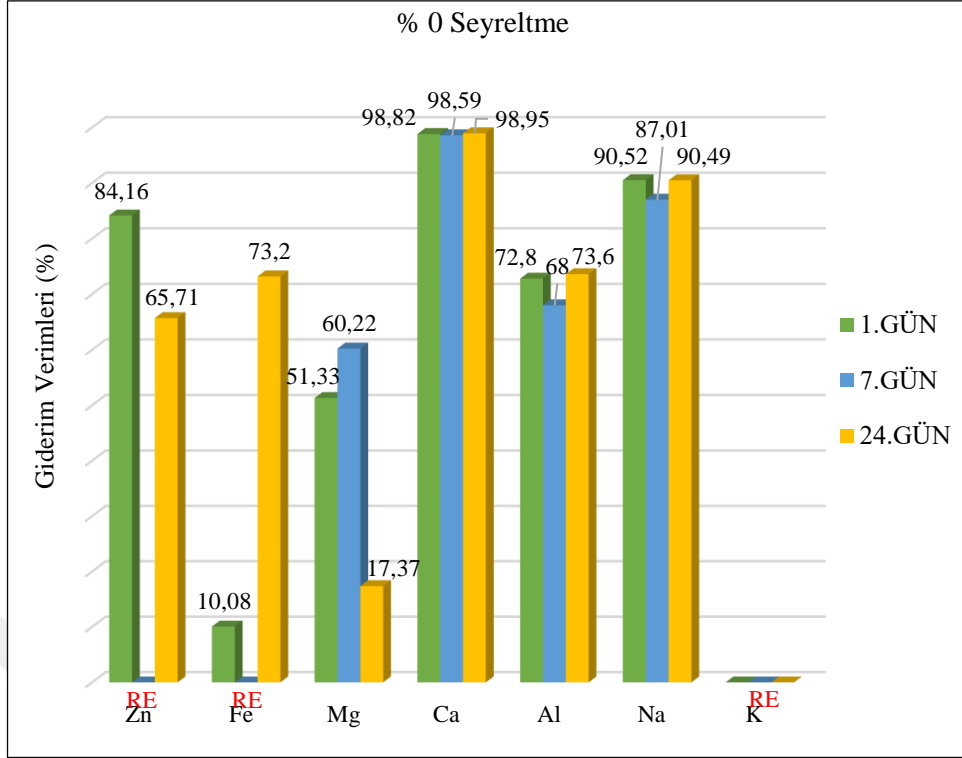
Parametreler	%0 Seyreltme			%10 Seyreltme			%20 Seyreltme		
	1.GÜN	7.GÜN	24.GÜN	1.GÜN	7.GÜN	24.GÜN	1.GÜN	7.GÜN	24.GÜN
Zn	84,16	RE	65,71	49,00	90,52	90,65	10,60	22,19	97,51
Fe	10,08	RE	73,20	RE	RE	92,80	RE	RE	97,12
Mg	51,33	60,22	17,37	20,58	53,29	70,69	38,07	34,83	42,44
Ca	98,82	98,59	98,95	98,94	98,45	99,02	99,06	99,03	98,89
Al	72,80	68,00	73,60	77,60	59,20	87,20	85,60	77,60	80,80
Na	90,52	87,01	90,49	72,65	73,08	82,19	82,19	80,97	2,66
K	RE	RE	RE	RE	RE	20,83	20,18	19,60	37,46

RE: Rapor edilemedi.

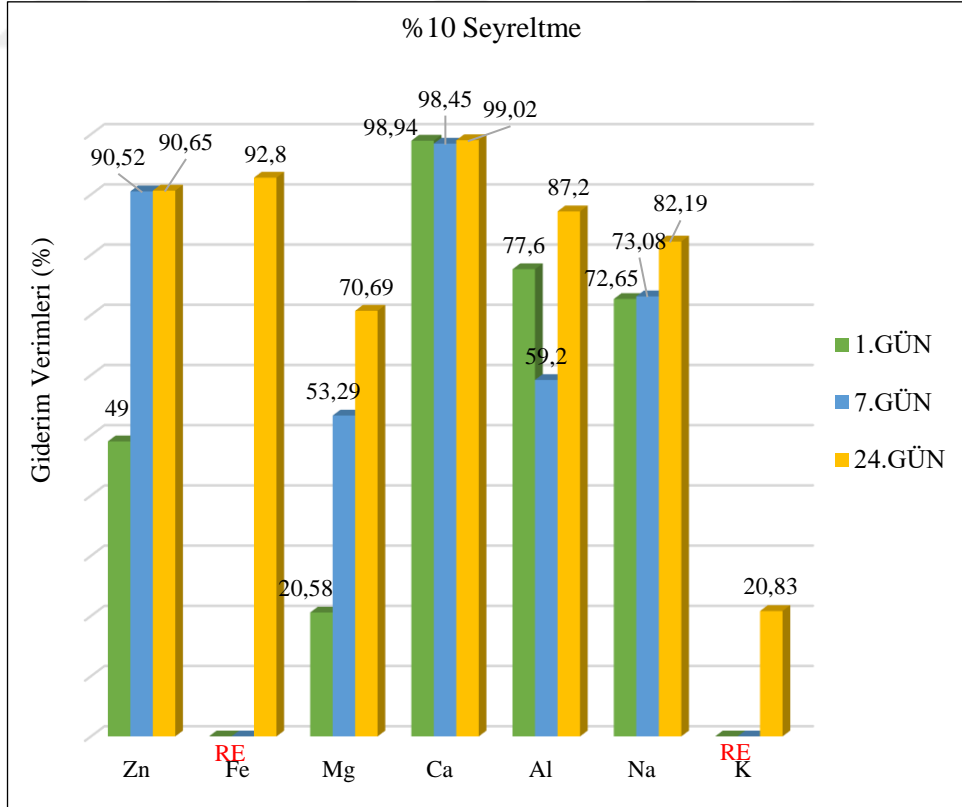
Atık su örneklerindeki metallerin günlere bağlı oluşturulan giderim verimleri ile ilgili grafikler %0 Seyreltme için Şekil 7.1’de, %10 Seyreltme için Şekil 7.2’de ve %20 Seyreltme için Şekil 7.3’te gösterilmiştir.

Tablo 7.1’de hacimce %20 oranında seyreltilen atık su örneğinde Zn metaline ait en yüksek giderim verimi %97,51 ile çalışmanın 24. gününde olduğu gözlemlenmiştir.

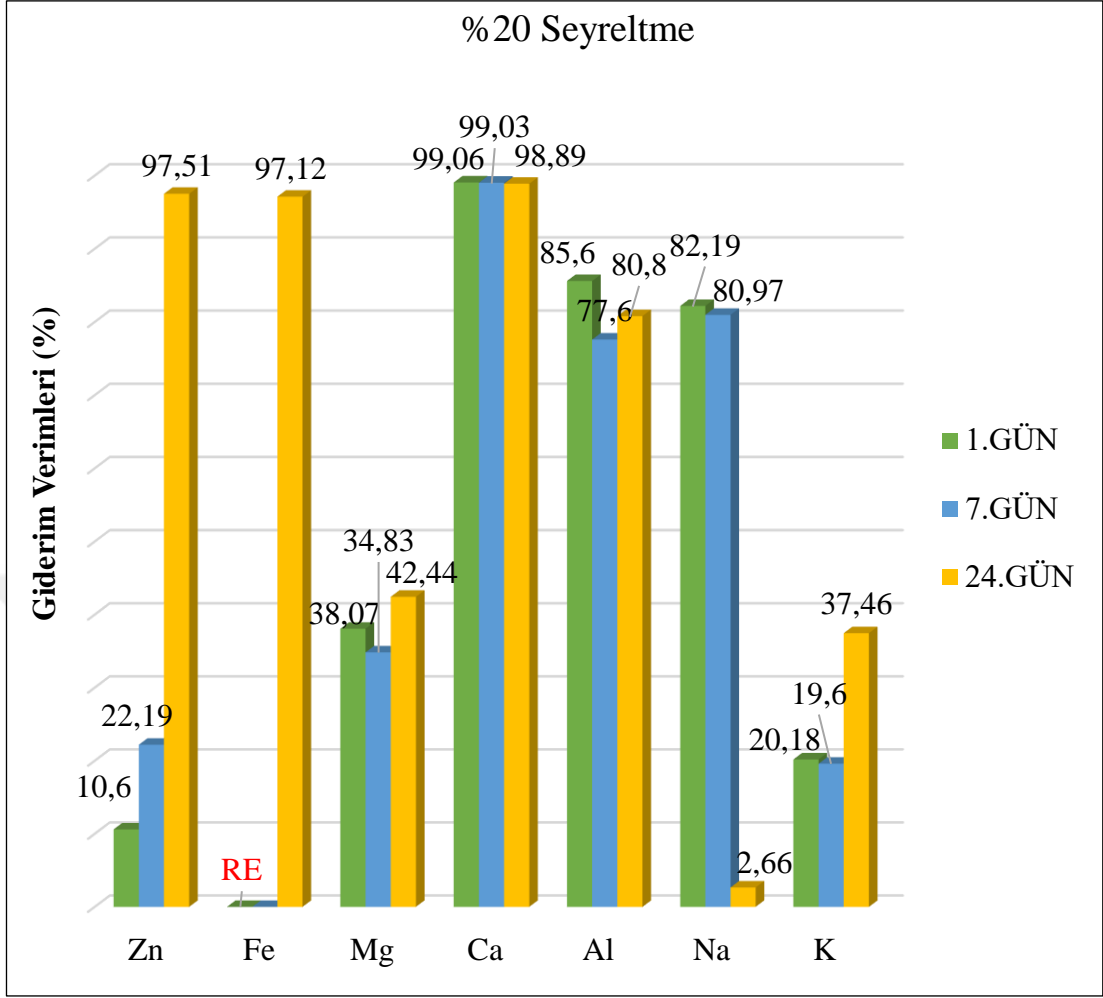
İspanya’da yapılan bir çalışmada Antofagasta bölgesinde bulunan Loa Nehri’nin yüksek oranda ağır metal içeren kirli sularının 4 farklı mikroalg türüyle arıtılması sonrası verim değişimleri konusu ele alınmıştır. Çalışma sonucunda Zn metali için *Chlorophyceae spp.* mikroalgiyle giderim veriminin %91,9 oranına ulaşıldığı gözlemlenmiştir [78]. Brezilya’da endüstriyel atıksuda bulunan Zn metalinin giderimi için *Sargassum sp.* mikroalgi kullanılmış, verim % 99,4 olarak bulunmuştur [79].



Şekil 7.1. %0 Seyreltilen atık su örneğindeki metallerin günlere göre verim değişimleri



Şekil 7.2. %10 Seyreltilen atık su örneğindeki metallerin günlere göre verim değişimleri



Şekil 7.3. %20 Seyreltilen atık su örneğindeki metallerin günlere göre verim değişimleri

Tablo 7.1’de Fe metali, %20 oranında seyreltilen atık su örneğinde %97,12 giderim verimi ile çalışmanın 24. gününde maksimum seviyede giderildiği hesaplanmıştır. İran’da tatlı su algı *Chlorella coloniales* kullanılarak sulu çözeltilerden bazı metallerin biyosorpsiyonu üzerine çalışılmış ve çalışma sonucunda Fe metalinin giderim verimi %98,6 olduğu gözlemlenmiştir [80]. Güçlü ve arkadaşının incelemiş olduğu atık sulardan alglerle metal uzaklaştırılması konulu çalışmasında canlı olarak kullanılan mikroalglerin atık sudaki toksisiteden etkilenip, giderimi uzun sürede gerçekleştirdiği kanısına varmışlardır [84]. Bu tez çalışmasında ise metal endüstrisi atık sularından *Chlorella ESP-6* mikroalgi ile Fe metalinin giderimi 24. günde en yüksek verime ulaştığı gözlemlenmiştir.

Mg metali için en yüksek giderim verimi %70,69 olup, bu verime 24. günde %10 oranında seyreltilmiş atık su örneğinde ulaşılmıştır. Çalışmanın 1. gününde %20

oranında seyreltilmiş atık sudaki Ca metalinin en yüksek giderim verimi %99,06 olarak bulunmuştur. Hacimce %10 oranında seyreltilen atık su örneğinde ise Al metaline ait en yüksek giderim verimleri %87,20 ile çalışmanın 24. gününde olduğu hesaplanmıştır. Minnesota Eyaleti'nde bulunan Saint Paul Şehri'nin atık su arıtma tesisinin 4 farklı noktasından alınan atık su örneklerinde yetiştirilen *Chlorella sp.* mikroalginin, metal iyonları giderimine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda Al, Ca, Fe, Mg ve Zn metallerinin giderim verimleri sırasıyla %87,3, %95,4, %100, %98,4, %81,2 olarak bulunmuştur [81]. Mısır'da BeniSuef kentindeki evsel ve endüstriyel atık su arıtma tesisinden alınan örneklerle *Chlorella sp.* mikroalgi ekilerek sudaki kirleticilerin giderilmesi incelenmiştir. Çalışmada Fe, Zn, Al metalleri için giderim verimleri sırasıyla %92,2, %51,4, %98,8 olarak bulunmuştur [82].

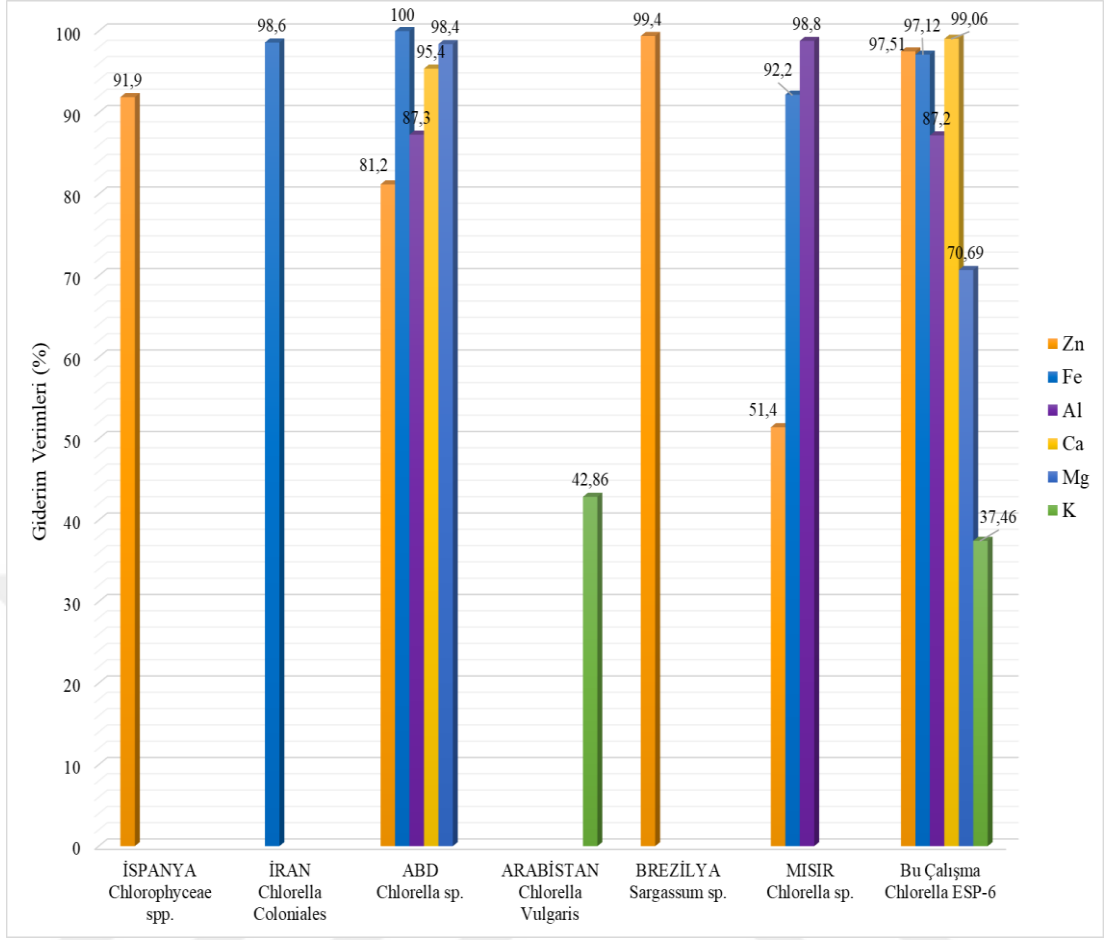
Na metalinin en yüksek giderim verimi %90,52 olup bu değere çalışmanın 1. gününde %10 oranında seyreltilmiş atık su örneğinde ulaşılmıştır. Çalışmanın 24. gününde %20 oranında seyreltilmiş atık suda ise K metalinin en yüksek giderim verimi %37,46 olarak bulunmuştur.

Literatüre bakıldığında, Fathi ve arkadaşlarının Suudi Arabistan'ın El-Hassa Bölgesinde yaptığı bir çalışmada bölgenin 4 farklı atık su kaynaklarından alınan örneklere *Chlorella* türü mikroalgin ekimi yapılmış, yetiştirilmesinin 7. gününde atık sudaki kirleticilerin giderim verimleri hesaplanmıştır. K metali için giderim verimi %42,86 olarak bulunmuştur [83].

Atık sularda *Chlorella* türü mikroalglerin K metalini gidermesiyle ilgili yapılan çalışmalarda ilk günlerde giderimin gerçekleşmediği ve giderim verimlerinin yüksek seviyelerde olmadığı düşünülmüştür.

Tez kapsamında bu bölümde incelenen çalışmalarla oluşturulan karşılaştırmalı verimler Şekil 7.4'de gösterilmiştir.

Çalışma esnasında ve sonunda bazı metallerinin giderim sonrası konsantrasyonlarına bakıldığında yüksek çıkmaktadır. Bu nedenle bu metallerin belirli günlerdeki verimleri rapor edilememiştir. Ölçüm sırasında hata payları ve cihazda tıkanmaların yaşanabileceği düşünüldüğünden ölçümlerin belirli aralıklarla tekrarlanmasında yarar vardır.



Şekil 7.4. Tez kapsamında ölçülen giderim veriminin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son on beş yıl içinde endüstriyel atık suların arıtımında mikroalglerin çeşitli türlerinin kullanılması üçüncül bir arıtma olarak tercih edilen önemli yöntemlerden birisi olmuştur. Bununla ilgili olarak arıtım sektöründe çağa ayak uyduran, çeşitli teknolojik iyileştirmeler bugün değerlendirilmeye devam edilmektedir. Temeldeki varsayım, mikroalglerin sudaki kirleticilerin bir kısmını tehlikeli olmayan maddelere dönüştüreceği ve arıtılmış suyun güvenle tekrar kullanılabilceğidir.

Bu çalışmada metal sektörü atık sularında bulunan Zn, Fe, Mg, Ca, Al, Na ve K metallerinin giderim verimleri sırasıyla %97,51, %97,12, %70,69, %99,06, %87,20, %90,52 ve %37,46 olarak bulunmuştur.

Laboratuvar çalışmasına gün bazlı bakıldığında ise metallerin giderim verimlerinin en yüksek oranda gerçekleştiği günler, arıtımın başlangıcı olan 1. gün ve çalışmanın sonlandırıldığı 24. günde olduğu kanısına varılmıştır. Metal endüstrisi atık sularında *Chlorella ESP-6* mikroalginin metal giderimine uygun olduğu ve yüksek giderim sağladığı gözlemlenmiştir.

SKKY'ne göre; metal endüstrisi atık sularının alıcı ortama deşarj standartları Tablo 15.2'de verilmiştir. Buna göre Zn metali 5 mg/l, Fe 3 mg/l ve Al 3 mg/l olarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen giderim sonrası metal konsantrasyonlarına bakıldığında, çalışmanın 24. gününde Zn metali 0,020 mg/l, Fe 0,010 mg/l ve Al için 0,016 mg/l olarak bulunmuştur. Karşılaştırma yapıldığında *Chlorella ESP-6* mikroalgi ile metal gideriminin SKKY'nde istenilen standart değerleri sağladığı görülmüştür.

Sonuç olarak, diğer maliyetli ve daha kompleks olan geleneksel arıtım teknolojilerine karşın mikroalglerle arıtımın daha ekonomik ve çevre dostu bir yaklaşım olduğu görülmüştür.

Metal endüstrisi atık sularının arıtımı kapsamında endüstrinin arıtım ünitelerine ilave kurulacak biyolojik arıtım prosesiyle çoğaltılmış *Chlorella ESP-6* mikroalgi ile kirliliğe sebep olan metallerin atık sudan giderimleri sağlanabilir.

Arıtım sonucunda gelişen mikroalgler, biyodizel yakıtı üretim çalışmalarında kullanılabilir.

Bunun yanı sıra tez çalışması kapsamında pH, ışık yoğunluğu, sıcaklık, karıştırma hızı gibi deney çalışmasını etkileyen parametrelerin gün bazlı ölçümleri yapılarak, karşılaştırmalar neticesinde optimum parametre değerlerine ulaşılabilir. Böylece çalışmalar için ideal koşullar sağlanabilir.

Ek olarak, ölü ve canlı mikroalglerin metalleri biyosorplama yetenekleri birbirinden farklıdır. Hamutoğlu ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada ölü ve canlı mikroalglerin atık su arıtımındaki rolleri karşılaştırılarak, avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir. Sonuç olarak çalışma, ölü mikroalg türü ile tekrarlanarak kıyaslamalar yapılabilir. Ayrıca canlı ve ölü mikroalglerle arıtımda, giderim verimlerinin karşılaştırılmasıyla uygun arıtım yöntemine ve koşullarına ulaşılabilir.

Üniversite-Sanayi-Belediyeler ile iş birliği içerisinde daha kapsamlı çalışmalar yapılarak konu üzerinde daha fazla veriler elde edilebilir. Bu verilere dayanılarak hayata geçirilebilecek fikirlere ulaşılabilir.

Bu konularda yapılacak çalışmaların hem temiz çevre hem de ekonomik yönden gelecek dünya için fayda sağlayacağı düşünüldüğünden desteklenmesi oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] Şahinkaya S., Çevre Mühendisliğine Giriş Ders Notları, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, 2014.
- [2] Büyükgüngör H., Atıksu Arıtma Yöntemleri Ders Notları, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, 1-177, 2003.
- [3] Er M. B., Metal Sanayi Atıksularının Arıtımı ve Bu Atıksuların Çevre Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016, 416982.
- [4] Ruckelshaus W. D., Schatzow S., *Development Document For Effluent Limitations Guidelines And Standards For The Metal Finishing*, 440/1-83/091, EPA, Washington, 1983.
- [5] Oden M. K., Sari Erkan H., Treatment of Metal Plating Wastewater Using Iron Electrode by Electrocoagulation Process: Optimization and Process Performance, *Process Safety and Environmental Protection*, 2018, **119**, 207–217.
- [6] Arslan T., Kabdaşlı I., Arslan-Alaton İ., Ölmez T., Tünay O., Kompleks Olarak Bağlı Metal İçeren Atık suların Elektrokoagülasyon Prosesi ile Arıtımı, *İTÜ dergisi/e*, 2008, **18**(1), 42-52.
- [7] Korkmaz K., Yeni Bir Gıda Atığı Kullanarak Sulu Çözeltiden Biyosorpsiyon Metoduyla Bazı Kirliliklerin Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, 2019, 546120.
- [8] Hasanoğlu S., Kutluk T., Kapucu N., Metal Endüstrisi Atık Sularının *Chlorella* Türü Mikroalg ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, *III. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 04-05 Mayıs 2018.
- [9] Tünay O., *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü*, 1578, İ. T. Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1996.
- [10] Emir B., Tel ve Halat Üretimi Fabrikası, Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği, Ders Sunumu, 2017.
- [11] Yılmaz E., Taban Malzeme Emaye Arayüz İlişkilerinin Emaye Kalitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 353709.
- [12] Ürersoy A., Çelik-Tel Sanayi Atık Sularında Mikroalg ile Metal Gideriminin Araştırılması, Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2018, 456958.

- [13] Dolay E., Emaye Kaplama Endüstrisi Atık sularının Fenton Prosesi ile Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2009, 245787.
- [14] Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2004.
- [15] Eltem R., *Atık Sular ve Arıtım*, 172, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir, 2001.
- [16] Öztürk İ., *Atıksu Mühendisliği*, Stilnet Basım, İstanbul, 2016.
- [17] Muslu Y., *Çevre Mühendisliğinin Esasları*, 1. Baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi Yayını, İstanbul, 1998.
- [18] Eckenfelder W. W., *Industrial Water Pollution Control*, Second Edition, McGraw-Hill International Editions, Newyork, 1989.
- [19] Anlı E. A., Şanlı T., Süt Endüstrisi Atık Sularının Arıtılmasında Aktif Çamur Prosesinin Kullanımı, *Akademik Gıda*, 2019, **17**(2), 252-259.
- [20] Öztürk M., *Asidik ve Bazik Atıkların Nötralizasyonu*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayınları, Ankara, 2018.
- [21] Özan K., Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Arıtılmasında Kullanılmak Üzere Lab/Pilot Ölçekte Membran Biyoreaktör Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2012, 334815.
- [22] Eryılmaz C., Genç A., Seyreltik Emülsiyeye Yağlı Atıksuların Arıtım Yöntemleri, *XI. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, Bursa, 15-17 Ekim 2015.
- [23] Farizoğlu B., Keskinler B., Yıldız E., Çakıcı A., Peyniraltı Sularının Arıtıldığı Jet Loop Membran Biyoreaktörün Membran Filtrasyonu Özelliklerinin Araştırılması, *Su Kirlenmesi Kontrol Dergisi*, 2004, **14**(2), 1-8.
- [24] Chan Y. J., Chong M. F., Lim L. C., Hassell D. G., A Review on Anaerobic–Aerobic Treatment of Industrial and Municipal Wastewater, *Chemical Engineering Journal*, 2009, **155**(1-2), 1-18.
- [25] URL-1: <http://metrekup.com.tr/sayfalar>, (Ziyaret tarihi: 03 Ağustos 2020).
- [26] Öztürk İ., Timur K., Koşkan U., *Atıksu Arıtımının Esasları*, Eysel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2005.
- [27] Camcı S., Metal Kaplama Atıksuyunun Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2006, 213439.

- [28] Koyuncu İ., *Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları*, 1. Baskı, Türkiye Çevre Vakfı, İstanbul, 2018.
- [29] Yaşa E., Ters Ozmoz (TO) Su Arıtma Tekniği ve Muhtelif Kullanım Alanları, *Tesisat Mühendisliği*, **16**(118), 5-15.
- [30] Chen J.P., Wang L.K., Yang L., Zheng Y.M., Desalination of Seawater by Thermal Distillation and Electrodialysis Technologies, *Membrane and Desalination Technologies*, 2011, **13**, 525-558.
- [31] Zhang Y. H., Gan F. X., Li M., Wang D. H., Huang Z. M., Gao Y. P., Treatment of Reused Comprehensive Wastewater in Iron and Steel Industry With Electrosorption Technology, *Journal of Iron and Steel Research*, 2011, **18**(6), 37-42.
- [32] Zhou P., Huang J.C., Alfred W.F.L., Wei S., Heavy Metal Removal From Wastewater in Fluidized Bed Reactor, *Water Research*, 1999, **33**(8), 1918-1924.
- [33] Kurniawan T. A., Chana G. Y. S., Lo W. H., Babel S., Physico-chemical Treatment Techniques for Wastewater Laden with Heavy Metals, *Chemical Engineering Journal*, 2006, **118**, 83-98.
- [34] Chong A. M. Y., Wong Y. S., Tam N. F. Y., Performance of Different Microalgal Species in Removing Nickel And Zinc From Industrial Wastewater, *Chemosphere*, 2000, **41**, 251-257.
- [35] Al-Homaidan A. A., Al-Houri H. J., Al-Hazzani A. A., Elgaaly G., Moubayed N. M. S., Biosorption of Copper Ions From Aqueous Solutions by *Spirulina platensis* Biomass, *Arabian Journal of Chemistry*, 2014, **7**, 57–62.
- [36] Mohammadia M., Mowlaa D., Esmailzadeha F., Ghasemi Y., Cultivation of Microalgae in A Power Plant Wastewater for Sulfate Removal and Biomass Production: A Batch Study, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2018, **6**, 2812–2820.
- [37] Fazal T., Mushtaq A., Rehman F., Khana A.U., Rashid N., Farooq W., Rehman M. S. U., Xu J., Bioremediation of Textile Wastewater and Successive Biodiesel Production Using Microalgae, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, **82**, 3107–3126.
- [38] Wu J. Y., Lay C. H., Chen C. C., Wu S. Y., Lipid Accumulating Microalgae Cultivation in Textile Wastewater: Environmental Parameters Optimization, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2017, **79**, 1–6.
- [39] Zhu L., Wang Z., Shu Q., Takala J., Hiltunen E., Feng P., Yuan Z., Nutrient Removal and Biodiesel Production by Integration of Freshwater Algae Cultivation with Piggery Wastewater Treatment, *Water Research*, 2013, **47**, 4294-4302.

- [40] García D., Godos I., Domínguez C., Turiel S., Bolado S., Muñoz R., A Systematic Comparison of The Potential of Microalgae-Bacteria and Purple Phototrophic Bacteria Consortia For The Treatment of Piggery Wastewater, *Bioresource Technology*, 2019, **276**, 18–27.
- [41] Lv J., Liu Y., Feng J., Liu Q., Nan F., Xie S., Nutrients Removal From Undiluted Cattle Farm Wastewater by The Two-Stage Process of Microalgae-Based Wastewater Treatment, *Bioresource Technology*, 2018, **264**, 311–318.
- [42] Hülsen T., Hsieh K., Lu Y., Tait S., Batstone J. D., Simultaneous Treatment and Single Cell Protein Production From Agri-industrial Wastewaters Using Purple Phototrophic Bacteria or Microalgae – A Comparison, *Bioresource Technology*, 2018, **254**, 214–223.
- [43] Oktor K., Treatment of Baker’s Yeast Wastewater with Freshwater Microalga and Its Green Chemistry Evaluation, *Hacettepe J. Biol. & Chem.*, 2018, **46**(3), 457-463.
- [44] Hu X., Meneses Y. E., Stratton J., Wang B., Acclimation of Consortium of Micro-Algae Help Removal of Organic Pollutants from Meat Processing Wastewater, *Journal of Cleaner Production*, 2019, **214**, 95-102.
- [45] Ansari F. A., Singh P., Guldhe A., Bux F., Microalgal Cultivation Using Aquaculture wastewater: Integrated Biomass Generation and Nutrient Remediation, *Algal Research*, 2017, **21**, 169–177.
- [46] Gao F., Li C., Yanga Z. H., Zeng G. M., Feng L. J., Liu J. Z., Liu M., Cai H. W., Continuous Microalgae Cultivation in Aquaculture Wastewater by A Membrane Photobioreactor For Biomass Production and Nutrients Removal, *Ecological Engineering*, 2016, **92**, 55–61.
- [47] Duygu D., Erkaya İ., Sızmaç Ö., Doğal Tatlısu Ortamlarından Yığın Halinde Toplanan *Cladophora Glomerata* (Linnaeus) Kützing ve *Mougeotia Sp.* Türlerinin Biyokimyasal Kompozisyonu, *Aquatic Research*, 2019, **2**(1), 24-31.
- [48] Shelknanloymilan L., Atık Sulardan Azot ve Fosforun *Chlorella Vulgaris* Beijerinck Yardımıyla Deneysel Olarak Uzaklaştırılması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013, 293200.
- [49] Aktar S., Cebe G., Alglerin Genel Özellikleri, Kullanım Alanları ve Eczacılıktaki Önemi, *Ankara Ecz. Fak. Derg.*, 2010, **39**(3), 237-264.
- [50] Gezici M., Biyodizel Üretimine Uygun Mikroalglerin Gelişimine Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2012, 312009.
- [51] Elcik H., Çakmancı M., Mikroalg Üretimi ve Mikroalglerden Biyoyakıt Eldesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2017, **32**(3), 795-820.

- [52] Kumar R., Heavy Metal Biosorption Using Algae, B. Tech Thesis, National Institute of Technology, Department of Chemical Engineering, Rourkela, 2014.
- [53] Shihira I., Krauss R., *Chlorella Physiology and Taxonomy of Forty-one Isolates*, University of Maryland College Park Maryland, 1963.
- [54] Duygu D., *Chlorella vulgaris* Beyerinck [Beijerinck] (Chlorophyta) Suşlarının Kesikli Kültür Sisteminde Yığın Kültürlerinin Üretimi Üzerine Bir Çalışma, *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 2017, **3**(2), 61-67.
- [55] Özdemir S., Sukatar A., Öztekin G., *Chlorella vulgaris* Üretimi ve Sera Organik Domates Yetiştiriciliğinde Biyogübre Olarak Kullanımının Etkileri, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2016, **22**, 596-605.
- [56] Safi C., Morphology, Composition, Production, Processing and Applications of *Chlorella Vulgaris*: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, **35**, 265-278.
- [57] Yılmaz H., Mersin için Mikroalg Üretimnin Önemi, *Mersin sempozyumu*, Mersin, 12-22 Kasım 2008.
- [58] Eliçin K., Koç C., Biyoyakıt Amaçlı *Nannochloropsis salina* Mikroalg Türünün Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Belirlenmesi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2013, **9**(2), 99-107.
- [59] Yılmaz Kargın H., Mikroalg Üretimi İçin Fotobiyoreaktör Tasarımları, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 2006, **23**, 327-332.
- [60] Rashid N., Ur Rehman M. S., Sadiq M., Mahmood T., Han J.-I., Issues and Developments in Microalgae Derived Biodiesel Production, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2014, **40**, 760-778.
- [61] Lavens P., Sorgeloos P., Manual on the Production and Use of Live Food For Aquaculture, *FAO Fisheries*, 1996, **361**, 1295.
- [62] Katarzyna L., Sai G., Singh O. A., Non-Enclosure Methods For Non-Suspended Microalgae Cultivation: Literature Review and Research Needs, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2015, **42**, 1418-1427.
- [63] Christenson L., Sims R., Production and Harvesting of Microalgae For Wastewater Treatment, Biofuels and Bioproducts, *Biotechnol. Adv.*, 2011, **29**(6), 686-702.
- [64] Ramaraj R., Tsai D. D. W., Chen P. H., Carbon Dioxide Fixation of Freshwater Microalgae Growth on Natural Water Medium, *Ecol. Eng.*, 2015, **75**, 86-92.
- [65] Mata T. M., Martins A. A., Caetano N. S., Microalgae For Biodiesel Production and Other Applications: A Review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2010, **14**(1), 217-232.

- [66] Zeng X., Danquah M. K., Chen X. D., Lu Y., Microalgae Bioengineering: From CO₂ Fixation to Biofuel Production, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2011, **15**(6), 3252-3260.
- [67] Eriksen N. T., The Technology of Microalgal Culturing, *Biotechnol. Lett.*, 2008, **30**(9), 1525-1536.
- [68] Akbaba G., Biyoteknolojide Mikroalgler, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 2003, **426**, 28-30.
- [69] Zhou, J. L., Kiff R. J., The Uptake of Copper From Aqueous Solution By Immobilized Fungal Biomass, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 1991, **52**(3), 317-330.
- [70] Kale M., Biyokütle Kullanılarak Metal İyon Biyosorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2018, 514269.
- [71] Sağlam N., Cihangir N., Ağır Metallerin Biyolojik Süreçlerle Biyosorpsiyonu Çalışmaları, *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1995, **11**, 157-161.
- [72] İzgi N., Bakır İyonlarının Biyosorpsiyon Yöntemiyle Giderilmesinde *Rhizobium Phaseoli* Bakterisinin Etkisi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2012, 302333.
- [73] Hamutoğlu R., Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon ve Fitoremediasyon Yöntemleri ve Uygulamaları, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 2012, **69**(4), 235-253.
- [74] Mustafaoğlu, D., Adsorpsiyon ve Biyosorpsiyon Yöntemiyle Fenol Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2011, 284345.
- [75] Yazıcı H., *Marrubium Globosum* Ssp. *Globosum* Bitkisi ile Sulu Çözeltilerden Cr ve Cu⁺² İyonlarının Biyosorpsiyonunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2007, 200497.
- [76] Salunkhe S., Experimental Notes Optima™ 8000 ICP-OES, India.
- [77] Fahad H. G., A Study of Efficiency of Different Microorganisms in Thorium Sorption From Aqueous Solutions, M.Sc. Thesis, College of Science, Baghdad University, Iraq, 1994.
- [78] Saavedra R., Muñoz R., Taboada M. E., Vega M., Bolado S., Comparative Uptake Study of Arsenic, Boron, Copper, Manganese and Zinc From Water by Different Green Microalgae, *Bioresource Technology*, 2018, **263**, 49–57.

- [79] Esteves A. J. P., Valdman E., Leite S. G. F., Repeated Removal of Cadmium and Zinc From An Industrial Effluent by Waste Biomass *Sargassum sp.*, *Biotechnology Letters*, 2000, **22**, 499–502.
- [80] Jaafari J., Yaghmaeian K., Optimization of Heavy Metal Biosorption onto Freshwater Algae (*Chlorella coloniales*) Using Response Surface Methodology (RSM), *Chemosphere*, 2019, **217**, 447-455.
- [81] Wang L., Min M., Li Y., Chen P., Chen Y., Liu Y., Wang Y., Ruan R., Cultivation of Green Algae *Chlorella sp.* in Different Wastewaters from Municipal Wastewater Treatment Plant, *Appl Biochem Biotechnol*, 2010, **162**, 1174-1186.
- [82] Hammouda O., Abdel-Raouf N., Shaaban M., Kamal, M., Treatment of Mixed Domestic-industrial Wastewater Using Microalgae *Chlorella sp.*, *Journal of American Science*, 2015, **11**(12), 303-315.
- [83] Fathi A. A., Azooz M. M., Al-Fredan M. A., Phycoremediation and The Potential of Sustainable Algal Biofuel Production Using Wastewater, *American Journal of Applied Sciences*, 2013, **10**(2), 189-194.
- [84] Güçlü Z., Ertan Ö., Atık Sulardan Ağır Metal İyonlarının Kaldırımında Alglerin Kullanımı, *Tarım Bilimler Araştırması Dergisi*, 2011, **4**(1), 19-23.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Şen H.,** Oktor K., Investigation of Metals Removal with *Chlorella Esp-6* Microalgae in Metal Sector Wastewater, *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*, 2019, **9**(4), 635-640. DOI: 10.31407/ijees94



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'nin İzmit İlçesinde tamamladı. 2011 yılında kazandığı Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde, lisans öğreniminden 2016 yılında mezun olarak aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2020 yılı Nisan ayından beri Sivas İlinde Polis Memuru olarak görev yapmaktadır.

