

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIKSULARDAN Cr(VI) GİDERİMİNDE TERMOFİL MİKROALG VE
SİYANOBAKTERİLERİN KULLANIMI**

Elif SAFRAN

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2017**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Elif SAFRAN tarafından hazırlanan “Atıksulardan Cr(VI) Gideriminde Termofil Mikroalg ve Siyanobakterilerin Kullanımı” adlı tez çalışması 31.05.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ
Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Zümriye AKSU
Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Gül Nilhan TUĞ
Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ
Ankara Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

31.05.2017



Elif SAFRAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIKSULARDAN Cr(VI) GİDERİMİNDE TERMOFİL MİKROALG VE SİYANOBAKTERİLERİN KULLANIMI

Elif SAFRAN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ

Bu çalışmada Ayaş, Haymana ve Kızılcahamam kaplıcalarından alınan su örneklerinden izole edilen mikroalg ve siyanobakteri türleri kullanılmıştır. En yüksek Cr(VI) biyogiderimi yapan tür, *Cyanobacterium aponinum* olmuştur. Siyanobakterinin Cr(VI) biyogiderim kapasitesini belirlemek amacıyla farklı pH'larda (6.5, 7.5, 8.5 ve 9.5), artan Cr(VI) (4.9 mg/L, 10.8 mg/L, 14.5 mg/L ve 34.4 mg/L) ve biyokütle (%10 (v/v), %20 (v/v), %30 (v/v) ve %40 (v/v)) konsantrasyonlarında BG11 besiyerlerinde denemeler yapılmıştır. Çalışmada *C. aponinum*'un Cr(VI) biyosorpsiyon kapasitesi de araştırılmıştır. Biyosorpsiyon denemeleri farklı pH (2, 4, 6, 8 ve 10), artan Cr(VI) (5.7 mg/L, 11.8 mg/L, 17.0 mg/L, 24.8 mg/L ve 39.5 mg/L) ve biyokütle konsantrasyonlarında (%10 (v/v), %20 (v/v), %30 (v/v) ve %40 (v/v)) gerçekleştirilmiştir. Biyogiderim çalışmaları sonucunda *C. aponinum*'un en yüksek giderimi pH 9.5'da yaptığı belirlenmiştir. En yüksek Cr(VI) biyogiderimi başlangıç kirletici konsantrasyonu 4.9 mg/L olan ortamda %25.5 olarak belirlenmiştir. Biyokütle konsantrasyonunun %40 (v/v) olduğu besiyerinde ağır metal biyogiderimi %44'e yükselmiştir. Biyosorpsiyon çalışmaları sonucunda ortam pH'sı 2 olduğunda *C. aponinum*'un en yüksek kapasite ile Cr(VI) biyosorpsiyonu (%41.4) yaptığı belirlenmiştir. Başlangıç kirletici konsantrasyonu 5.7 mg/L olan ortamda %71.9 Cr(VI) giderimi yapılmıştır. Biyokütle konsantrasyonunun %40 (v/v) olduğu ortamda Cr(VI) biyogiderimi %73 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, termofil bir siyanobakteri olan *C. aponinum*'un atıksulardan Cr(VI) biyogideriminde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Mayıs 2017, 48 sayfa

Anahtar Kelimeler: *Cyanobacterium aponinum*, Siyanobakteri, Mikroalg, Atıksu, Cr(VI), Biyogiderim

ABSTRACT

Master Thesis

USAGE OF THERMOPHILE MICROALGAE AND CYANOBACTERIA IN REMOVAL OF CR(VI) FROM WASTEWATERS

ELİF SAFRAN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Supervisor: Assoc. Prof. Nur KOÇBERBER KILIÇ

In this study, microalgae and cyanobacteria species were used that were isolated from water samples taken from Ayaş, Haymana and Kızılcahamam springs. The species having the highest bioremoval was *Cyanobacterium aponinum*. To determine the bioremoval capacity of cyanobacteria, trials were done in BG11 media under different pH (6.5, 7.5, 8.5 and 9.5), increasing Cr(VI) (4.9 mg/L, 10.8 mg/L, 14.5 mg/L, and 34.4 mg/L) and biomass (%10 (v/v), %20 (v/v), %30 (v/v), and %40 (v/v)) concentrations. In the study, biosorption capacity of *C. aponinum* was also investigated. Biosorption experiments were carried out at different pH levels (2, 4, 6, 8, and 10), increasing Cr(VI) (5.7 mg/L, 11.8 mg/L, 17.0 mg/L, 24.8 mg/L, and 39.5 mg/L) and biomass concentrations (10% (v/v), 20% (v/v), 30% (v/v), and 40% (v/v)). As a result of bioremoval studies, it was determined that the highest removal of *C. aponinum* was at pH 9.5. The highest Cr(VI) bioremoval was found as 25.5% under media with 4.9 mg/L initial pollutant concentration. In medium with 40% (v/v) biomass concentration, heavy metal removal increased to 44%. As a result of the biosorption experiments, it was determined that *C. aponinum* done Cr(VI) biosorption with the highest capacity (41.4%) when media pH was 2. Under 5.7 mg/L initial Cr(VI) concentration, Cr(VI) bioremoval was done as 71.9%. Chromium(VI) bioremoval was found 73% in media with 40% (v/v) biomass concentration. The results of the study have shown that a thermophilic cyanobacteria as *C. aponinum* can be used effectively in bioremoval of Cr(VI) from wastewaters.

May 2017, 48 pages

Key Words: *Cyanobacterium aponinum*, Cyanobacteria, Microalgae, Wastewater, Cr(VI) bioremoval

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde ve araştırmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan değerli danışmanım sayın hocam Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ'a (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı) ve değerli Hocalarım Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ'e (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı) ve Doç. Dr. Sevgi ERTUĞRUL KARATAY'a (Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı) teşekkürlerimi sunarım.

Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Araştırma Laboratuvarı'ndaki değerli lisansüstü öğrenci arkadaşlarıma ve özellikle Kübra ERDEM'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Her daim yanımda olan ve maddi manevi destek olan çok değerli annem Sema SAFRAN, babam Nizamettin Sedat SAFRAN ve ağabeyim Sertan SAFRAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Elif SAFRAN

Ankara, Mayıs 2017

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1 Atıksu Özellikleri	3
2.2 Ağır Metaller, Özellikleri ve Çevresel Etkileri	4
2.2.1 Krom(VI) ve özellikleri	7
2.3 Atıksu Arıtım Yöntemleri	9
2.3.1 Krom (VI) içeren atıksuların arıtımı	10
2.3.2 Biyosorpsiyon	11
2.3.3 Biyobirikim	12
2.4 Mikroalg ve Siyanobakteriler	15
2.5 Mikroalg ve Siyanobakterilerde Ağır Metallere Karşı Direnç Mekanizmaları	17
2.6 Siyanobakteriler ile Yapılan Cr(VI) Biyogiderim Çalışmaları	20
2.7 Siyanobakteriler İle Yapılan Cr(VI) Biyosorpsiyon Çalışmaları	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1 Mikroorganizma, İzolasyon ve Tanınması	23
3.2 BG11 Besiyerinin Hazırlanışı	23
3.3 Cr(VI) Stok Solüsyonunun Hazırlanışı	24
3.4 Analiz Yöntemleri	24
3.4.1 Krom(VI) analizi	24
3.4.2 Cr(VI) standardının hazırlanması	24
3.4.3 Optik yoğunluğun belirlenmesi	25
3.4.4 Kuru ağırlığın belirlenmesi	25
3.5 Biyogiderim Çalışmaları	26
3.5.1 Suş seçimi	26
3.5.2 Farklı pH değerlerinin Cr(VI) biyogiderimine etkisi	26
3.5.3 Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonunun biyogiderime etkisi	27
3.5.4 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi	27
3.6 Biyosorpsiyon Çalışmaları	27
3.6.1 Farklı pH değerlerinin Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisi	27
3.6.2 Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonuna biyosorpsiyonun etkisi	28
3.6.3 Farklı başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisi	28
3.7 Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan Kısaltmalar	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	29
4.1 Saf Kültürler ve Tanınmaları	29
4.2 Mikroalg ve Siyanobakterilerin Cr(VI) Giderimi	29

4.3 Farklı pH Değerlerinin Cr(VI) Biyogiderimine Etkisi	31
4.4 Farklı Başlangıç Cr (VI) Konsantrasyonlarının Biyogiderime Etkisi	32
4.5 Farklı Başlangıç Biyokütle Konsantrasyonlarının Biyogiderime Etkisi	34
4.6 Farklı pH'ların Cr(VI) Biyosorpsiyonuna Etkisi	35
4.7 Farklı Başlangıç Cr(VI) Konsantrasyonlarının Biyosorpsiyona Etkisi	36
4.8 Farklı Başlangıç Biyokütle Konsantrasyonlarının Biyosorpsiyona Etkisi	38
5.TARTIŞMA VE SONUÇ	40
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	48



SİMGELER DİZİNİ

C0	Başlangıç ağır metal miktarı (mg/l).
Cf	Mikroorganizmaların ortamdan uzaklaştırdığı ağır metal miktarı (mg/l).
qm	Mikrobiyel kütle için gram başına biriktirilen ağır metal derişimi (mg/g).
X	Mikroorganizmaların kuru ağırlığı (g/l)
Cr(VI)	Krom
Cd	Kadmiyum
Cu	Bakır
Pb	Kurşun
Ni	Nikel
Zn	Çinko
Fe	Demir
Mn	Mangan
Mo	Molibden
(CrO ₄ ²⁻)	Kromat
(Cr ₂ O ₇ ²⁻)	Dikromat
K ₂ Cr ₂ O ₇	Potasyum dikromat
CrCl ₃	Krom klorür
-COOH	Karboksil
-OH	Hidroksil
-PO ₃	Fosfat
-NH ₂	Amino
-SH	Sülfidril
NaOH	Sodyum hidroksit
HCl	Hidroklorik asit
S	Sıcaklık
T	Zaman
Lx	Işık şiddeti
µm	Mikrometre

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Ağır metallerin doğal ekosistemlere giriş yolları	6
Şekil 2.2 Genel atıksu arıtım yöntemleri	9
Şekil 2.3 Biyolojik olarak ağır metallerin bağlanma mekanizmaları	11
Şekil 2.4 <i>Cyanobacterium aponinum</i> 'un farklı tip mikroskoplardaki görüntüleri	17
Şekil 2.5 Alg hücre duvarı yapısı	18
Şekil 3.1 BG11 besiyeri kullanılarak hazırlanan Cr(VI) standardı	25
Şekil 4.1 İzole edilen mikroalg ve siyanobakteri suşlarının Cr(VI) biyogiderim verimleri.....	30
Şekil 4.2 En yüksek verimle ağır metal giderimi yapan HB suşu	31
Şekil 4.3 Farklı pH'ların <i>C.aponinum</i> 'un Cr(VI) biyogiderimine etkisi	31
Şekil 4.4 Farklı başlangıç Cr(VI) konsantrasyonlarının <i>C.aponinum</i> biyogiderimine etkisi	32
Şekil 4.5 Başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının <i>Cyanobacterium</i> <i>aponinum</i> 'un Cr(VI) biyogiderimine etkisi	34
Şekil 4.6 <i>C.aponinum</i> 'un Cr(VI) biyosorpsiyonuna pH etkisi	36
Şekil 4.7 Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonlarının <i>C.aponinum</i> 'un Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisi	37
Şekil 4.8 Farklı başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının <i>C. aponinum</i> Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisi	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 EPA'ya göre atıksularda bulunan ağır metallerin sınırlandırılması	4
Çizelge 2.2 Ağır metallerin kullanıldığı endüstri alanları ve insan sağlığına etkileri	4
Çizelge 2.3 Ağır metallerin biyogideriminde kullanılan bazı mikroorganizmalar	13
Çizelge 2.4 Ağır metal ile kontamine olmuş atıksuların gideriminde kullanılan bazı mikroalg ve siyanobakteriler	14
Çizelge 3.2 BG11 besiyeri içeriği	23
Çizelge 4.1 Mikroorganizmaların izole edilen yerlere göre kodları	29
Çizelge 4.2 Çalışmada kullanılan izolatların morfolojik özellikleri	29
Çizelge 4.3 Artan Cr(VI) konsantrasyonlarında <i>C. aponinum</i> 'un maksimum spesifik Cr(VI) giderimleri (qm)	33

1. GİRİŞ

Dünya, giderek artan enerji tüketimi, küresel ısınma ve su kirliliğinin de dâhil olduğu ekonomik ve çevresel problemler yaşamaktadır. Bu problemler toplumları farklı şekillerde etkilemektedir. Çevresel kirliliğin insan nüfusuna bağlı artışı yaşam kaynaklarının kirlenmesine ve ekosistemin zarar görmesine sebep olmuştur. Dünyada artan insan popülasyonu ve kentleşme ile beraber endüstrileşme de gelişmiştir. Endüstriyel olarak gelişen ülkeler büyük oranda çevresel kirlilik yaratırlar. Son zamanlarda endüstrileşmeye bağlı çevresel problemler arttıkça kirlilik, toplumların temel endişe kaynağı haline gelmiştir. Bu çevresel problemlerin başında su kirliliği ve su kaynaklarının kontaminantlarla kirlenmesi sonucu su kaynaklarında meydana gelen azalma gelmektedir.

Yenilenebilir su kaynakları dünyadaki su stoğunun % 2.5'lük kısmını oluştururken, kullanılabilir su kaynakları ise yalnızca % 0.3'lük kısmı oluşturmaktadır. Türkiye'de ise kullanılabilir su potansiyeli 112 milyar m³'tür. Bu rakamın yaklaşık 7 milyar m³'ü içme ve kullanma suyu olarak, 5 m³'ü sanayide, 32 milyar m³'ü tarımda kullanılmaktadır. Bu oran her geçen yıl daha da azalmaktadır. Dünyada yaklaşık 750 milyon insanın suya erişimi yoktur.

Endüstrileşme, sonucu çevreye sızan kontaminantlar dolayısıyla suya erişimi olan insanların sayısı gün geçtikçe azalmaktadır. Denizlere, göllere, nehirlere, akarsulara ve yeraltı sularına sızan bu kontaminantlar, inorganik ve organik madde yönünden zengindir. Farklı aktiviteler sonucu üretilen atıksular, kimyasal özellikleri bakımından farklılık gösterir.

Çeşitli endüstriyel aktiviteler sonucu (maden endüstrisi, enerji ve yakıt üretiminde, gübre ve pestisit sanayinde, metalürji ve demir ve çelik sanayinde, deri işleme endüstrisinde) oluşturulan atıksular ağır metal yönünden zengindir.

Ağır metal içeren endüstriyel atıksuların kontrolsüzce doğaya karışması canlı yaşamını tehdit eder. Ağır metaller biyobirikime eğilimlidir. Ağır metaller, kimyasal ve biyolojik olarak değrede edilebilirler ama tamamen yıkımları yapılamaz. Ağır metal içeren atıksuların akuatik ekosistemlere arıtılmadan değarj edilmesinin bütün ekosistemlere etki eden yıkıcı bir etkisi vardır ve akuatik ekosistemlerin kendini temizleme özelliğini etkiler. Bu nedenle ağır metal içeren atıksuların arıtılması gerekir.

Yapılan bu çalışmada, termofilik mikroalg ve siyanobakterilerle Cr(VI) biyogiderimi gerçekleştirilmiştir. Daha önceki çalışmalar ağır metal gideriminde genellikle daha farklı özelliklere sahip mikroalg ve siyanobakteri kullanıldığını göstermektedir. Bununla birlikte tez çalışmasının özgünlüğü Cr(VI) biyogideriminde termofilik mikroalg ve siyanobakteri gideriminin kullanılmasıdır. Termofilik mikroalg ve siyanobakteriler Cr(VI) giderim çalışmalarında yaygın olarak kullanılan mikroorganizmalar değildir. Termofilik mikroalg ve siyanobakterilerin kullanılması bu alanda yapılan önemli bir yenilik olacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Atıksu Özellikleri

Su kaynaklarının kirliliği organik ya da inorganik maddelerin çevreye salınmaları ile meydana gelir. Bu maddeler kentsel, zirai ve endüstriyel aktiviteler sonucu doğaya karışıp su kalitesini bozar. Büyük miktarda atıksuyun oluşmasına neden olurlar. Kentsel, zirai ve endüstriyel aktivitelere bağlı olarak atıksuyun kimyasal kompozisyonu değişir (Abdel vd. 2012).

Kentsel atıksular, yerleşim bölgeleri, eğitim kurumları, hastane vb. kurum ve kuruluşların ürettiği kirleticilerin su ve su kaynaklarına karışmasıyla meydana gelir.

Zirai Atıksular, tarım ve hayvancılık faaliyetleri oluşan kirleticilerin su, yeraltı suyu gibi su kaynaklarına karışması sonucu oluşurlar. Zirai atıksular yüksek miktarda azot ve fosfor içerir. Zirai atıksularda fazla azot, fosfor miktarının yanı sıra pestisit, herbisit, insektisit, fungusit gibi ilaçların kalıntıları da bulunur (Tebbutt 1983).

Dünyada yaklaşık olarak 665 milyar ton su, endüstriyel amaçlı kullanılır. Kullanım amacına göre içeriği değişse de genel olarak diğer atıksu türlerinden daha fazla ağır metal daha az azot, fosfor içerirler. Endüstriyel faaliyetler sonucu üretilen atıksuların içerdikleri organik ve inorganik maddeler, (ağır metaller) sularda kimyasal ve fiziksel değişikliklere neden olur.

Endüstriyel faaliyetler sonucu üretilen atıksuların herhangi bir işlemde geçirilmeden doğal ekosistemlere ve su kaynaklarına verilmeleri sonucu su kirliliği meydana gelir.

Endüstriyel atıksular yüksek oranda ağır metal içerir. Endüstriyel atıksuyun içerdiği bu ağır metaller doğada biyolojik birikime neden olarak ekosistemlerin devamlılığını da tehlikeye sokar (Volesky vd. 1995). Çizelge 2.1'de endüstriyel atıksuların içerdikleri ağır metal konsantrasyonlarının sınırlandırılması verilmiştir.

Çizelge 2.1 EPA'ya göre atıksularda bulunan ağır metallerin sınırlandırılması (https://www.epa.gov, 2017).

Kontaminant	Maksimum kontaminant standart (mg/L)
Kurşun	0.01
Arsenik	0.01
Selenyum	0.05
Kadmiyum	0.005
Bakır	1.3
Demir	0.02
Mangan	0.05
Antimon	0.006
Krom (Toplam)	0.1
Berilyum	0.004
Cıva	0.002

2.2 Ağır Metaller, Özellikleri ve Çevresel Etkileri

Ağır metaller yer kabuğunda ve toprakta doğal olarak bulunurlar. Yoğunlukları 5 g/cm³'ten yüksek olan metallerdir. 53 tane element ağır metal kategorisinde sınıflandırılır (Duruibe vd. 2007, Jing vd. 2007, Srivastava vd. 2007, Garcia vd. 2009).

Çizelge 2.2 Ağır metallerin kullanıldığı endüstri alanları ve insan sağlığına etkileri

AĞIR METAL	ENDÜSTRİ	YOL AÇTIĞI HASTALIK
Cr	Elektrokaplama, Antikoroziv ürünler, Endüstriyel atıksular, Metal alaşımı	Zihinsel hastalıklar, kanser, ülser, hiperkeratoz
Cd	Madencilik, Elektrokaplama	Solunum, kardiyovasküler, böbrek rahatsızlıkları
Cu	Elektrokaplama, Metal alaşımı, Madencilik	Anemi
Pb	Batarya tesisi, Boru hattı, pigment üretimi, Kömür, benzin	Nörotoksik hastalıklar
Ni	Metal alaşımı, Bitkisel yağların üretimi	Deri alerjileri, Akciğer fibrözu, Kardiyovasküler sistem hastalıkları
Zn	Boru hattı, Metal alaşımı, Pigment üretimi	Abdominal ağrı, Bulantı, İshal, Baş ağrısı, Anemi

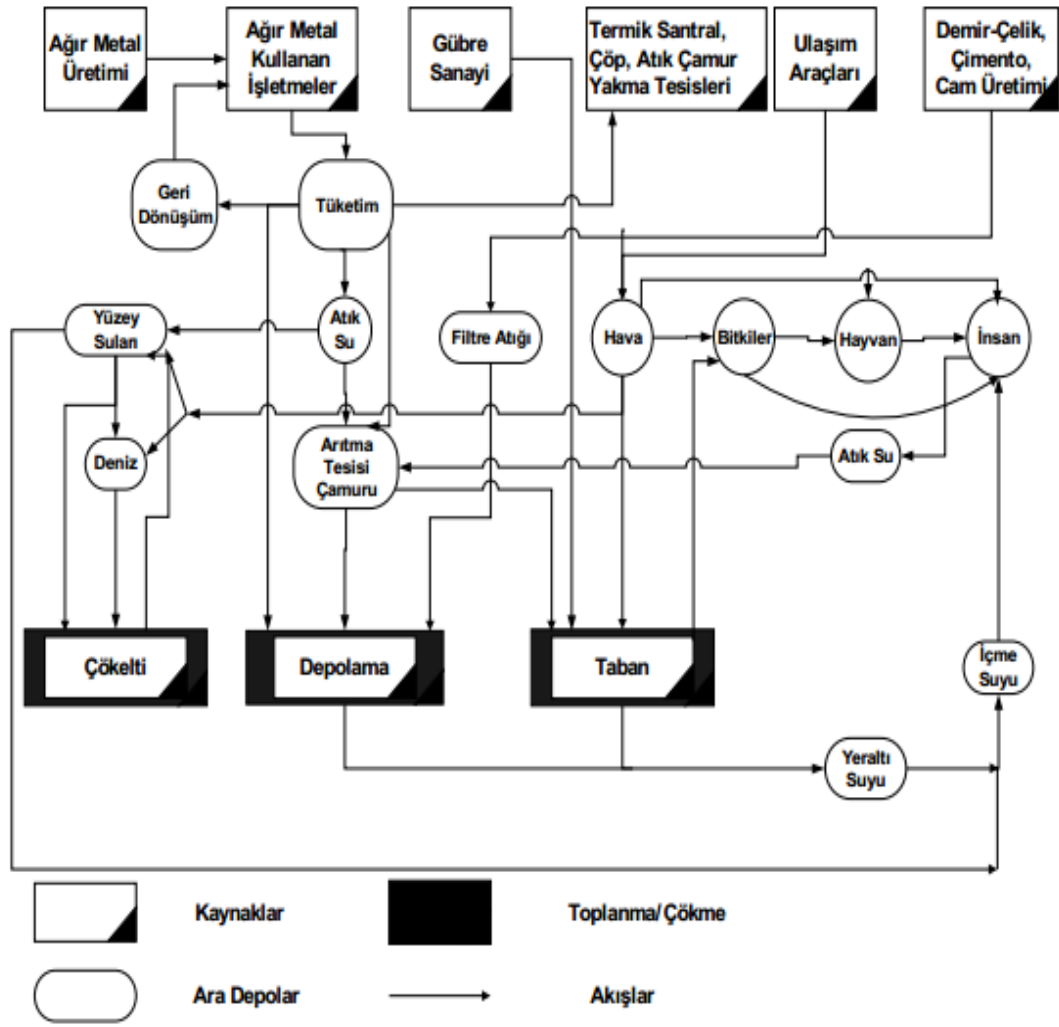
Ağır metaller endüstriyel alanların birçoğunda sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğın; Metal alaşımı kaplama üretimleri içeren alanlarda krom, kadmiyum, bakır kullanılmaktadır. Bu denli fazla alanda kullanım potansiyeline sahip ağır metallerin çevreye de olumsuz etkileri olabilmektedir. Çizelge 2.2’de gösterildiğı üzere ağır metaller kanser, anemi, solunum ve kardiyovasküler hastalıklar gibi birçok rahatsızlığa neden olabilmektedirler.

Ağır metaller, ekolojik boyutta biyolojik olarak degrede olamamaları ve doğada biyolojik birikim potansiyellerinin olmasıdır (Estrella ve Garcia 2009).

Akuatik ortamlarda ağır metaller iyon formunda bulunur ve akuatik canlılar ve insanlar tarafından absorbe edilebilirler, ayrıca besin zincirine karışabilirler. Canlılar tarafından tolere edilemezler.

Ağır metaller endüstriyel atıksuların içme, yeraltı, kaynak sularına karışması yoluyla veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla çevreye yayılırlar. Ağır metaller çeşitli endüstrilerde uygulanan farklı işlemler sonucu doğaya karışılırlar.

Şekil 2.1’de farklı işlemler sonucu doğal ekosistemlere ağır metal girişi şematize edilmiştir.



Şekil 2.1 Ağır metallerin doğal ekosistemlere giriş yolları (Kahvecioğlu vd. 2004)

Ağır metallerin düşük konsantrasyonda canlı sistemlerde bulunması metabolik faaliyetler açısından önemlidir. Ağır metaller, mikronutrient olarak eser miktarda bulunur ve canlı gelişiminde önemli rol oynar. Bu ağır metaller Cu, Fe, Mn, Mo, Zn'dir (Gaur ve Adholeya 2004). Redoks tepkimelerinde, enzim yapılarında, ozmotik basıncın düzenlenmesinde görev alırlar.

Bakır, dokuların yenilenmesinde ve kemik dokusunun sağlamlığının sürdürülmesinde gereklidir.

Demir, bazı minerallerin emilimi ve kanda oksijeni taşıyan kırmızı kan hücrelerinin ve çeşitli enzimlerin üretimi için gereklidir. Ayrıca bağışıklık sistemini de güçlendirir.

Mangan, insan vücudunda protein sentezlenmesinde ve sindirimde görev alır.

Molibden, baklagillerde bakterilerin azot bağlama sürecinde katalizör işlevi görür. Molibden trioksit ve sodyum molibdat bitkilerin beslenmesinde eser miktarda kullanılır.

Çinko, bağışıklık sisteminin dengelenmesi açısından önemlidir. Enzim fonksiyonlarının düzenlenmesinde görev alır.

Fakat uzun süre ağır metale maruz kalan canlılarda ciddi sağlık sorunlarına neden olurlar. Ağır metallerin düşük konsantrasyonları zehirleyicidir. Fakat yüksek konsantrasyonları toksik, karsinojenik ve mutajeniktir (Kotas vd. 2000). Bu durumda hücre metabolizmasına zarar verebilir, hücre fonksiyonlarını durdurabilir ve DNA yapısını bozabilir. Ağır metallerin toksisitesinin etkisi, konsantrasyonuna, metal iyonları çözünürlüğüne, kimyasal yapısına göre değişir. Bu nedenle gıdaların ve içme sularının içinde bulunan maksimum konsantrasyon değerleri saptanmıştır ve yasal kuruluşlar tarafında sıkı bir şekilde kontrol edilmeleri zorunludur.

2.2.1 Krom(VI) ve özellikleri

Krom(VI), 1797'de Fransız kimyacı Louis Nicolas Vauquelin tarafından Sibirya'da bulunan bir cevher örneğinin içinde keşfedilmiştir. Krom ismini bileşiklerinde birçok farklı rengi barındırması nedeniyle Yunanca'da renk anlamına gelen "chroma"dan almıştır (Ogawa vd. 1989). Türkçe'de krom sözcüğü, tabiatta oksit halinde bulunan kromite ve krom cevherine verilen bir isimdir (Ağaçayak vd. 2004). Krom, dünyada en çok bulunan elementler arasındadır. Kromun atom numarası 24, atom ağırlığı 51.9961 g/mol'dür ve oda sıcaklığında gümüşümsü metalik katı halde bulunur. Krom, periyodik tablonun IV B grubunda bulunan bir geçiş metalidir.

Çok farklı formlarda bulunabilmesine rağmen en yaygın ve kararlı formları, üç değerlikli Cr(III) ve altı değerlikli Cr(VI)'dır. Krom, çevrede doğal olarak trivalan (+3) formuyla Cr₂O₃ şeklinde bulunmaktadır (Muter vd. 2001). Krom (III) yeraltı suyunda

çok az çözünmekte ve toprak tarafından kuvvetlice tutulmaktadır. Krom (III)'ün çözünlülüğünün yok denecek kadar az olması, çevrede yaratacağı toksik etkiyi de en aza indirmektedir. Buna rağmen Cr(VI) yüksek derecede çözünür olmakla birlikte, oksijen ile birleşerek kromat (CrO_4^{2-}) veya dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) iyonu şeklinde bulunmaktadır. Taşınabilirliği de Cr(III)'e göre çok daha fazladır. Krom(VI) güçlü bir oksitleyici ajandır ve organik madde varlığında Cr(III)'e indirgenebilmektedir. Bu indirgenme asit içeren topraklarda olduğu gibi asitli çevrelerde daha hızlı olmaktadır (Muter vd 2001).

Krom(VI), çeşitli endüstriyel aktiviteler sonucu oluşan atıksuların uygunsuz şekilde arıtılması sonucu çevreye yayılır. Yer altı kaynak suları, akarsular, göller, denizler ve çeşitli su kaynaklarına karışarak besin zincirine sızar. Akuatik sistemlerde krom çeşitli formlarda bulunabilir. Fakat Cr(VI) ve Cr(III) formları daha yaygındır. Cr(VI) formu, Cr(III) formundan 100 kat daha toksiktir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, içme sularında izin verilen Cr(VI) ve toplam krom miktarı 2 mg/L'de 0.05 mg'dır (Gupta ve Rastogi 2009).

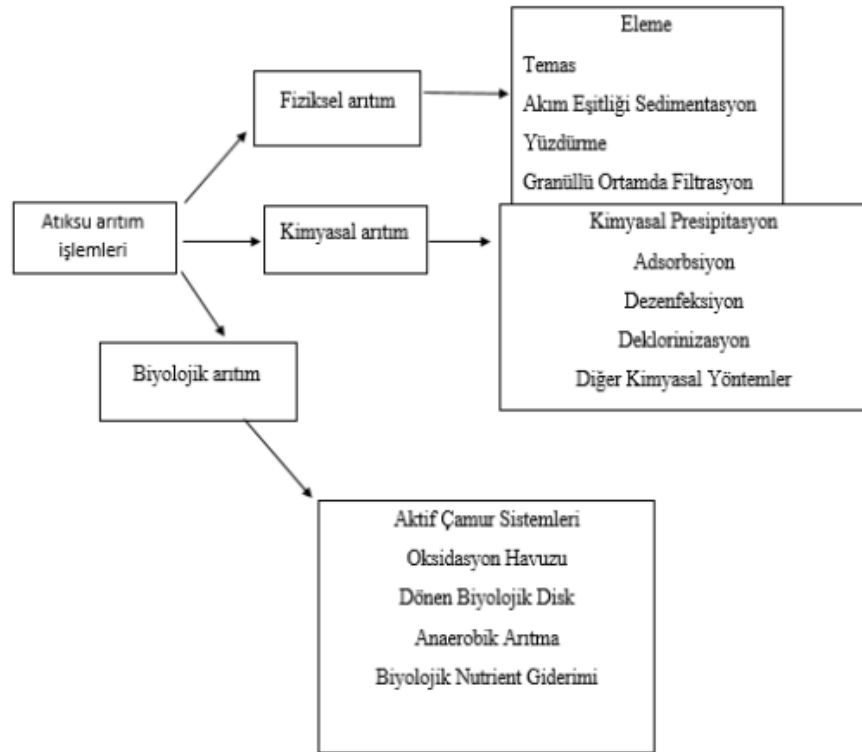
Cr(VI), prokaryotik ve ökaryotik hücrelerin membranlarından kolayca geçebilmektedir. (Badar vd. 2000, Cervantes vd. 2001). Krom(III) proteinler ve nükleik asitlerle etkileşime girebilmektedir. CrCl_3 ile yapılan çalışmalarda, nükleik asit sentezinin başlamasında gecikme ve böylece nükleik asit içeriğinde azalma belirlenmiştir.

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ile yapılan deneylerde de hücre bölünme süresinin uzaması ve hücre bölünmesinde azalma kaydedilmiştir. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, DNA sentezini fazlasıyla etkilemekte ve etkisini muhtemelen DNA polimerazı etkileyerek yapmaktadır. İkili sarmal DNA ile etkileşime girmemektedir. Oysa CrCl_3 , DNA çift sarmalı ile direkt olarak etkileşime girmektedir. İkili sarmal DNA, bazlar arasındaki H bağları ve buradaki negatif yüklü fosfatların karşılıklı olarak birbirini itme kuvveti ile kararlı olarak tutulmaktadır. CrCl_3 'teki Cr(III) negatif yüklü fosfat gruplarına bağlanmaktadır. Böylece negatif yüklü fosfatlar nötrale olmakta ve DNA'nın kararlı yapısı artarak erime sıcaklığı yükselmektedir. Cr(III)'ün artırılmasıyla DNA'daki bazlar arasındaki zayıf H bağları kopmakta ve DNA kararlı yapısını kaybetmekte ve erime sıcaklığı düşmektedir (Ogawa

vd. 1989). Yüksek konsantrasyonlarda uzun süre Cr(VI)'ya maruz kalınması akciğerde bronş kanserine neden olabilir. Sindirim yoluyla Cr(VI) alınması, mide ülseri, böbrekler ve karaciğerde fonksiyon bozulması ve ölüme neden olabilir (<http://www.inchem.org> 2017).

2.3 Atıksu Arıtım Yöntemleri

Ağır metal içeren atıksuların arıtılması için klasik metodlar vardır. Bunlar fiziksel, kimyasal (adsorbsiyon, dezenfeksiyon, deklorinizasyon vb.) ve biyolojik metodlar (aktif çamur sistemi, oksidasyon havuzu, biyolojik dönen disk, anaerobik arıtma, biyolojik nutrient giderimi vb.) olarak 3 ana başlıkta toplanırlar. Şekil 2.3'te atıksu arıtım yöntemleri özetlenmiştir (Rawat vd. 2011).



Şekil 2.2 Genel atıksu arıtım yöntemleri (Rawat vd. 2011)

2.3.1 Krom(VI) İçeren Atıksuların Arıtımı

Krom(VI) ile kontamine olmuş atıksularının arıtılmasında kimyasal veya biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Krom(VI) ile kontamine olmuş atıksuların arıtımında kullanılan kimyasal yöntemler şunlardır:

- Kimyasal indirgeme-öktürme
- Adsorbsiyon
- Ters ozmoz
- İyon değişimi
- Elektrodializ
- Fotokataliz

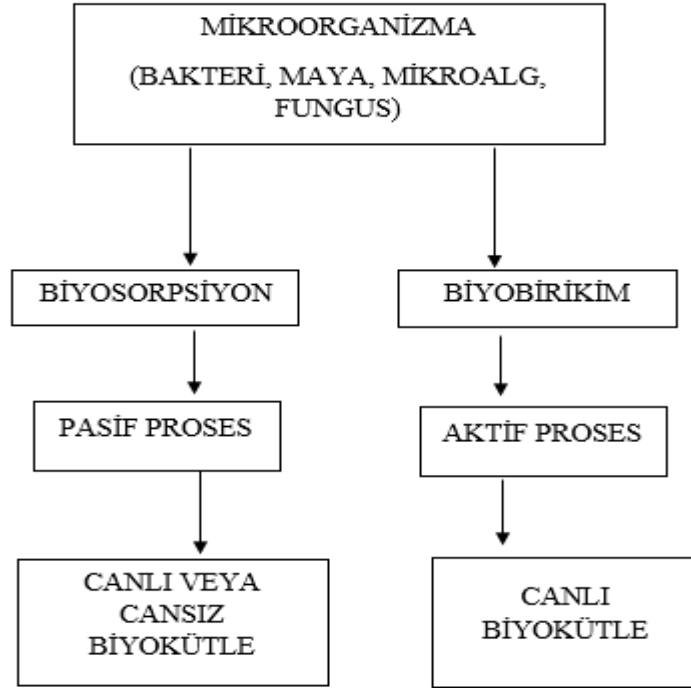
Fiziksel ve kimyasal arıtım metodları, yatırım maliyetinin yüksekliği ve arıtma sonucu ortaya çıkan ürünün kirletme potansiyelinin yüksek olması sebebiyle pratik ve ekonomik değildir.

Ağır metal içeren atıksuların arıtımında kullanılan biyolojik arıtım yöntemleri ekonomiktir. Biyolojik arıtımda çeşitli mikroorganizmalar kullanılır. Biyolojik arıtımda mikroorganizmalar, kirliliği enzimatik yolla zararsız ürünlere dönüştürebilir. Bu yöntem sadece çevresel şartların mikrobiyal büyüme ve aktiviteye izin verdiği durumlarda etkili olabilir. Kirleticiyi parçalayan mikroorganizmalar, kirleticiler ile temas etmeli ve doğru yerde olmalıdır (Singh ve Ward 2004). Mikroorganizmaların hücre yüzeyinde çeşitli anyonik yapılar vardır. Hücre yüzeyi negatif yüklüdür. Mikroorganizmaların hücre yüzeyinin yükü metal katyonlarına bağlanma özelliği kazandırır. Mikroorganizmaların hücre yüzeyinde bulunan fonksiyonel gruplar amino, karboksil, sülfidril, fosfat ve thiol grupları hücre yüzeyinin yükünü oluştururlar ve bu gruplar metal bağlamada farklı afinitelere sahiptirler (Bruins 2000).

Canlı veya cansız olan mikroorganizmalar, ağır metali biriktirebilme, tutabilme veya daha az toksik formlarına indirgeyebilme özelliklerini kullanarak kirleticiyi ortamdan uzaklaştırırlar.

Biyolojik yöntemlerle ağır metal giderimi genel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır (Zouboulis vd. 2004). Şekil 2.3'te ağır metallerin biyolojik olarak bağlanma mekanizmaları gösterilmiştir.

1. Canlı olmayan biyokütle ile pasif olarak yapılan ağır metal biriktirilmesi: biyosorpsiyon
2. Canlı biyokütle ile aktif olarak yapılan ağır metal giderimi: biyobirikim (biyoakümülyasyon)



Şekil 2.3 Biyolojik olarak ağır metallerin bağlanma mekanizmaları (Coelho vd. 2015)

2.3.2 Biyosorpsiyon

Cansız veya büyümeyen biyokütelleri kullanarak akuatik ortamdan kirleticileri pasif olarak alır. Biyobirikim yöntemine göre hızlı ve geri çevrilebilir bir işlemdir. Ağır metal

içeren endüstriyel atıksuların arıtılması için potansiyeli yüksek bir giderim yoludur. Biyosorpsiyonda ağır metaller hücre yüzeyine absorbe edilir. Ağır metaller ve mikroorganizmaların hücre yüzeyi arasında fizikokimyasal etkileşimler (iyon değişimi, presipitasyon, adsorpsiyon) kullanılarak ağır metaller tutuklanır. Biyosorpsiyon işleminin başarısı çalışılan mikroorganizmanın yapısına bağlıdır. Üreme hızı, besin gereksinimleri, metabolik ürünleri ve kültür koşulları (sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ihtiyacı) biyosorpsiyon hızını etkiler.

Biyosorpsiyonun avantajları;

- Yüksek oranlarda hızlı bir şekilde giderim kapasitesine sahiptir.
- Ağır metallerin toksisitelerinden etkilenmeden giderim sağlar.
- Yüksek afinite ve etki gösterir.
- Düşük enerji gerektirir.
- Biyokütle tekrar kullanılabilir.
- Toksik ikincil atıkların oluşmasını engeller (Coelho vd. 2015).

2.3.3 Biyobirikim

Sadece canlı hücrelerle gerçekleşen adsorpsiyon işlemine biyobirikim denir. Ağır metallerin hücre membranından, hücre içi metabolik döngüsüne alımıyla gerçekleşir.

Mikroorganizmalar, ağır metallerin toksik etkilerinden korunmak için çeşitli direnç mekanizmaları geliştirmişlerdir. Bu direnç mekanizmaları aşağıda listelenmiştir (Bruins 2000).

1. Ağır metallerin hücre içine alınmaması
2. Ağır metallerin hücre içinden aktif olarak taşınması
3. Ağır metallerin hücre dışında tutulması
4. Ağır metallerin daha az toksik forma dönüştürülmeleri
5. Ağır metallerin özel proteinlere bağlanması

Biyolojik yolla ağır metal giderimiyle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok mikroorganizma ağır metal gideriminde etkili şekilde kullanılmıştır. Bunlar bakteri, fungus, maya ve mikroalgleri içermektedir. Çizelge 2.3'te biyolojik yolla ağır metal giderimi yapan çeşitli mikroorganizmalar özetlenmiştir.

Çizelge 2.3 Ağır metallerin biyogideriminde kullanılan bazı mikroorganizmalar

	MİKROORGANİZMA	KULLANIM ALANI	REFERANS
BAKTERİ	<i>Kocuria flava</i>	Cu biyogiderimi (%95)	Achal vd. (2011)
BAKTERİ	<i>Bacillus megaterium,</i>	Cd Biyogiderimi(%79)	Liv vd. (2017)
BAKTERİ	<i>Pseudomonas sp.</i>	Hg,(%85) Ni(%15), Cd(%60), Biyogiderimi	Giovanella vd. (2017)
BAKTERİ	<i>Neorhizobium huautlense</i>	Cd Biyogiderimi(%96)	Liv vd. (2017)
FUNGUS	<i>Alternaria sp. Penicillium sp</i>	Ni(%71.), Ni(%70) Biyogiderimi	Costa vd. (2017)
FUNGUS	<i>Aspergillus versicolor</i>	Cr(VI)(%99.89) Ni(II)(%30.05), Cu(II)(%29.06) Biyogiderimi	Dönmez vd. (2010)
MAYA	<i>Candida utilis</i>	Cd(%42) Biyogiderimi	Kujan vd. (2006)
MAYA	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Cu(II)(%78), Ni (II)(%52),Cr(VI)(%98)	Machado vd. (2010)

Ağır metallerin biyolojik olarak arıtımında birçok mikroorganizma kullanılmasına rağmen mikroalg ve siyanobakteriler son zamanlarda yükselişe geçmiştir. Çizelge 2.4'te ağır metal içeren atıksulardan kontaminant gideriminde kullanılan çeşitli mikroalg ve siyanobakteriler özetlenmiştir.

Çizelge 2.4 Ağır metal ile kontamine olmuş atıksuların gideriminde kullanılan bazı mikroalg ve siyanobakteriler

MİKROORGANİZMA	KULLANIM ALANI	REFERANS
<i>Dunaliella sp.</i>	Cr(VI) giderimi	Dönmez vd.(2002)
<i>Chlorella minutissima</i>	Kadmiyum, Çinko, Bakır giderimi	Yang vd. (2015)
<i>Spirulina platensis</i>	Kurşun giderimi	Al-Homaidan vd.(2016)
<i>Chlorella vulgaris</i>	Çinko giderimi	Ferreira vd. (2011)
<i>Chlorella vulgaris</i>	Cr(VI) giderimi	Quian vd. (2013)
<i>Nannochloris oculata</i>	Cr(VI) giderimi	Kim vd. (2011)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	Siyanür giderimi	Gürbüz vd. (2009)
<i>Phormidium bigranulatum</i>	Pb, Cu ve Cd Biyogiderimi	Kumar vd. (2012)
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Cu, Zn, Cd ve Pb Biyogiderimi	Tonietto vd. (2014)
<i>Cyanothece sp.</i>	Cu ve Cd Biyogiderimi	Mota vd. (2015)

Atıksu gideriminde mikroalg biyoteknolojisi doğal ekosistemlere dayanır. Bu nedenle ikincil kirliliğe neden olmaz. Mikroalg ve siyanobakterilerin metal iyonları bağlama kapasiteleri yüzey alanlarının genişliğinden dolayı yüksektir. Bu nedenle atıksulardan ağır metal arıtımında kullanılabilirler.

Literatüre bakıldığında farklı siyanobakteri türleri olan *Limnococcus limneticus* ve *Leptolyngbya subtilis*'in konsorsiyum oluşturularak kullanıldığı bir çalışmada, başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 15 mg/L, olan ortamda Cr(VI) biyogiderimi % 50 olarak belirlenmiştir (Sen vd. 2017).

Bir başka çalışmada (Balaji vd. 2014), *Arthrospira platensis* kullanılarak Cr(VI) biyogiderimi yapılmıştır. Deri atıklarıyla kirlenen atıksuda (başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu: 155 mg/L) ise Cr(VI) biyogiderim verimi % 73.5 olarak belirlenmiştir.

Dönmez ve Sadettin (2007)'in yaptığı bir çalışmada, termofil bir siyanobakteri olan *Phormidium sp.* kullanılarak Cr(VI) biyogideriminin yanısıra Remazol Blue ve Reaktif Black B boyaalarının da biyogiderim kapasitesi araştırılmıştır.

Das (2012) adlı araştırıcının yaptığı bir çalışmada ise *Oscillatoria laete-virens* biyokütlesi kullanılarak Cr(VI) biyosorpsiyon kapasitesi ve bunun yanısıra Ni biyosorpsiyon kapasitesi de araştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre en yüksek Cr(VI) biyosorpsiyon verimi temas süresi 60-75 dakika aralığında, Cr(VI) miktarı: 103.09 mg/g⁻¹ olacak şekilde gerçekleşmiştir.

2.4 Mikroalg ve Siyanobakteriler

Mikroalgler; fotosentetik, ökaryotik olan mikroskobik canlılardır. Boyutları birkaç mikrometreden birkaç bin mikrometreye kadar çeşitlilik gösterirler. Doğada 200.000-800.000 arası mikroalg türü vardır. Fakat bunlardan şimdiye kadar 50.000 tanesi tanımlanmıştır. Mikroalgler, güneş ışığına hücre sentezi için kullanır. Güneş ışığını absorblayarak ATP(Adenozin Trifosfat)'ye ve NADPH'a çevirerek fotosentez yaparlar. İnorganik maddeleri daha basit şeker kaynaklarına çevirerek hücre metabolizmasında enerji kaynağı olarak kullanır. Mikroalg türleri farklı oranlarda lipid, nişasta ve protein içerirler. Karetonoid, antioksidant, vitamin, enzim, polimer, toksin, sterol, PUFA (uzun zincirli poli doymuş yağ asitleri) gibi çeşitli ve zengin ürünler üretirler. Bunun yanı sıra antimikrobiyal, antiviral, antihistaminik, antikanser maddeler üretirler (Ibraheem 1995, Haroun vd. 1995).

Siyanobakteriler fotosentetik, prokaryotik olan mikroskobik canlılardır. Siyanofitler ya da mavi yeşil algler olarak ta isimlendirilirler. Siyanobakteri ismi bakterinin renginden (Greek: κυανός (kyanós) = mavi anlamına gelir. Sucul ekosistemde azot dōngüsüne katıldığı için siyanobakteriler önemlidir (<https://en.wikipedia.org> 2017).

Siyanobakterilerdeki fotosentez suyun bir elektron donörü olarak kullanılarak ve yan ürün olarak oksijen üretilerek gerçekleşir. Fotosentez, tilakoid membranlar ile yapılır ve klorofil güneş ışınlarını absorbe etmek için kullanılır. Fotosentez yapan çoğu canlının aksine, siyanobakterilerde doğrudan hücrenin sitoplazmasında bu işlemi gerçekleştirir.

Siyanobakteriler okyanuslardan, tatlı sulara, kayalardan, toprağa kadar birçok habitata uyum sağlayabilir ve yaşayabilirler (Rippka vd. 1979). Fakat bazı siyanobakteri ve mikroalg türleri pH, sıcaklık, tuzluluk, basınç parametrelerinin mikroorganizma üzerine stres yarattığı ortamlarda gelişirler. Bu canlılar ekstremofil mikroalg ve siyanobakteriler olarak sınıflandırılırlar. Sıcaklık, canlıların gelişimi ve yaşabilmesi için önemli bir faktördür. Türler, optimum gelişme sıcaklıklarına göre psikrofil, mezofil, termofil ve hipertermofil olarak kategorize edilirler. Psikrofil mikroalg ve siyanobakteriler 15°C'ye kadar olan sıcaklıklarda, mezofil mikroalg/siyanobakteriler yaklaşık 30°C'ye kadar olan sıcaklıkları tolere edebilir. Termofil mikroalg/siyanobakteriler 50°C ve üzerindeki sıcaklıklarda gelişimi gerçekleştirebilirken hipertermofil mikroalg/siyanobakteriler ise optimum 80°C ve üzerindeki sıcaklıklarda gelişebilirler (Varshney vd. 2015).

Siyanobakteriler, morfolojik özelliklerine göre tek hücreli veya filamentli olarak bulunurlar. Siyanobakteri filumu Gloeobacterales, Synechococcales, Spirulinales, Chroococcales, Pleurocapsales, Oscillatoriales, Chroococcidiopsidales ve Nostocales olmak üzere özelliklerine göre sınıflandırılır. Çalışmamızda kullanılan siyanobakteri termofilik özelliklere sahiptir ve sınıflandırılması şu şekildedir (Moro vd. 2007).

› Cyanobacteria

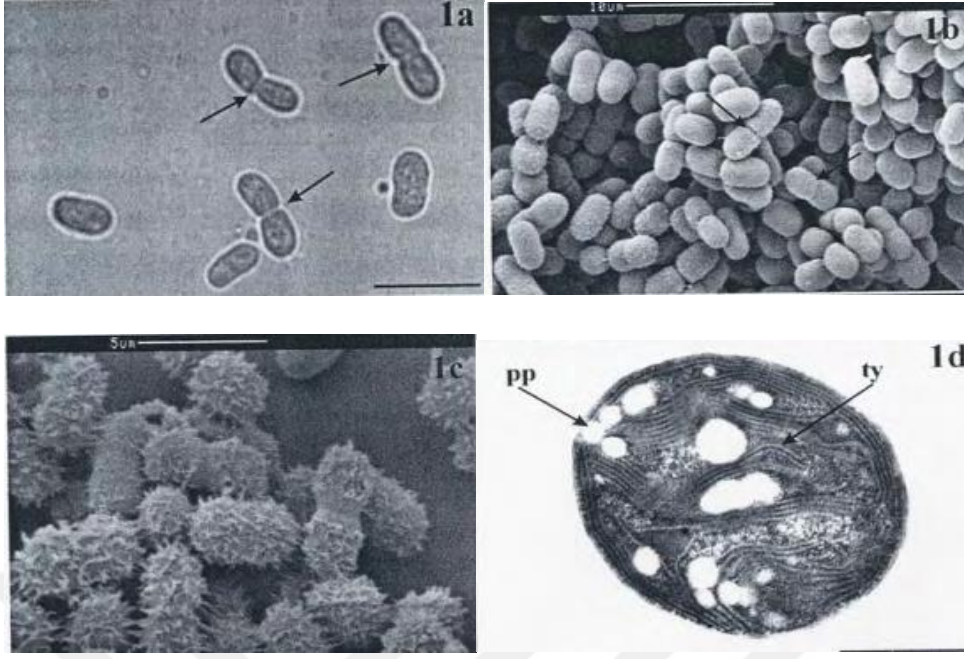
› Oscillatoriothycideae

› Chroococcales

› Cyanobacteriaceae

› Cyanobacterium

› *Cyanobacterium aponinum*

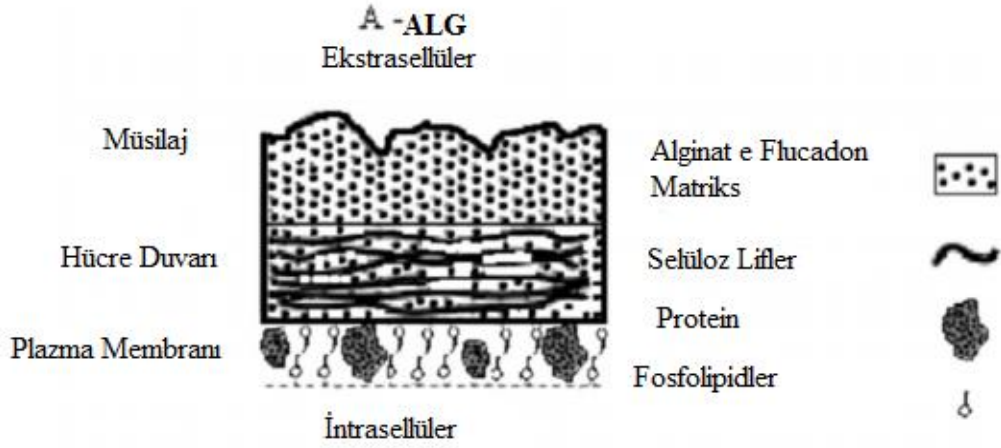


Şekil 2.4 *Cyanobacterium aponinum*'un farklı tip mikroskoplardaki görüntüleri (Moro vd. 2007)

(1a-Işık mikroskop görüntüsü,1b/c-SEM mikroskop görüntüsü,1d-TEM mikroskopunda çekilen C.aponinum'un sitoplazmadaki polifosfat inklüzyonları ve tilakoidlerinin görüntüsü)

2.5 Mikroalg ve Siyanobakterilerde Ağır Metallere Karşı Direnç Mekanizmaları

Ağır metallerin toksik etkilerinden korunmak için mikroalg ve siyanobakteriler çeşitli direnç mekanizmaları geliştirmiştir. Ağır metal-hücre etkileşimi ilk olarak hücre duvarında gerçekleşir. Hücre duvarının yapısı dolayısıyla protein, lipid ve çeşitli fonksiyonel gruplar (karboksil, $-\text{COOH}$; hidroksil, $-\text{OH}$; fosfat, $-\text{PO}_3$; amino, $-\text{NH}_2$; sülfidril, $-\text{SH}$) içerir (Crist vd. 1981). Hücre duvarında bulunan bu gruplar taşıdıkları yüklerden dolayı hücrenin yükünü (-) negatif yaparlar. Hücre duvarının negatif yükü, ağır metal katyonlarının bağlanma ilgisini artırır.



Şekil 2.5 Alg hücre duvarı yapısı (Vendruscolo vd. 2016)

Hücre duvarında bulunan anyonik ve katyonik bağlanma bölgeleri hücre duvarına amfoterik özellik vererek iyon değişimi mekanizmasıyla metal iyonlarının bağlanabileceği bölgeler oluşturur. Fiziksel adsorbsiyon mekanizmasıyla hücre duvarı ve solüsyondaki metal iyonları arasında polielektrolitik etkileşimlerle elektrostatik kuvvet oluşturularak metal iyonları hücre duvarına bağlanır. Ayrıca düşük pH değerlerinde, hücre duvarındaki aktif bağlanma bölgeleri protonlarla etkileşimde bulunur. Böyle metal iyonlarının ilgisi sınırlandırılarak metal iyonlarının çözünmesi azaltılır ve ağır metallerin presipitasyonu meydana gelir (Perpetuo vd. 2011).

Ağır metalin hücre duvarına bağlandıktan sonra taşıyıcı proteinleri ile sitoplazmaya alınması gerekir. Membran transportörleri Grup A Transportörleri (NRAMP (Doğal Direnç Bağlantılı Makrofaj Proteinleri), ZIP (Zrt- Irt-benzeri Proteinler), FTR (Fe Transportör) ve CTR (Cu TRansportör) Aileleri) ve Grup B Transportörleri (CDF (Kasyon Difüzyon Sağlayıcı), P1B-tip ATPases, FPN (FerroPortiN) ve Ccc1 (Ca(II)-Duyarlı Çapraz-Tamamlayıcı 1)/ VIT1 (Vakuolar Demir Transportör 1) aileleridir. Grup A Transportörleri ağır metali sitoplazmaya taşırken, Grup B Transportörleri metalin sitoplazmik konsantrasyonunu azaltır (Blaby-Haas ve Merchant 2012).

Ağır metaller hücre duvarındaki fonksiyonel gruplara bağlanabildikleri gibi, mikroalg hücresinde üretilen mikrobiyel organik asitlerle (fumarik asit, sitrik asit, glukonik asit,

oksalik asit, malik asit, laktik asit) organometalik kompleksler oluşturur. Bu organik asitler metallerin süzülmesi ve çözünmesiyle etkilerinin azalmasını sağlar.

Ağır metallere karşı başka bir direnç mekanizması ise, iyon transportörleriyle veya aktif taşıma sistemleriyle taşınarak moleköl ağırlığı düşük thiollere bağlanmalarıdır. Molekül ağırlığı düşük thiollere, metallothionein proteinleri denir. Bu proteinler, sistein açısından zengin, mRNA translasyon ürünleridir ve ökaryotik hücrelerde ağır metalleri bağlama özelliğine sahiptirler (Stillman 1995). Prokaryotik canlılarda metallothionein proteinlerine benzer özellikte proteinler, ATP harcanarak ağır metal akışı ve enzimatik değişikliklerle ağır metalleri detoksifike etmede rol oynarlar. Metalloiyonein proteinleri iki gruba ayrılır (Nies 1999).

- Enzimatik olarak sentezlenen Sınıf III metalloiyoneinler
- Genetik olarak kodlanan Sınıf II metalloiyoneinler

Sınıf III metalloiyoneinleri; yüksek bitkilerde, alglerde ve funguslarda bulunur. İzolasyonu ilk olarak yüksek bitkilerden yapıldığı için fitoşelatlayıcılar olarakta adlandırılırlar. Ağır metaller, metalloiyonein III proteini ile farklı hücrelerin organellerinde (mitokondri, vakuol) bölümlere ayrılarak biriktirilirler.

Sınıf II metalloiyoneinleri; siyanobakterilerde, alglerde ve yüksek bitkilerde bulunur (Thiele 1992).

Mikroalg ve siyanobakterilerin Cr(VI)'ya karşı geliştirdiği direnç mekanizmaları, ağır metallere karşı geliştirilen mekanizma ile benzerdir.

Kısaca özetlenecek olursa, Cr(VI) iyonları hücre duvarındaki yüklü fonksiyonel gruplara bağlanır. Fonksiyonel gruplardaki elektron donörlerinin etkileşimleriyle Cr(VI)'nın Cr(III)'e indirgenir. Cr(III) iyonları elektrokimyasal etkileşimlerle bağlanırlar. Böylece hücrede Cr(VI) biyogiderimi sağlanır (Park vd. 2004).

2.6 Siyanobakteriler ile Yapılan Cr(VI) Biyogiderim Çalışmaları

Farklı siyanobakteri türleri olan *Limnococcus limneticus* ve *Leptolyngbya subtilis*'in konsorsiyum oluşturularak kullanıldığı bu çalışmada, besiyeri olarak BG11 kullanılmıştır. Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 15 mg/L, pH: 9, biyokütle konsantrasyonu %10 (V/V), olan ortamda inkübasyon periyodunun 12.gününde en yüksek Cr(VI) biyogiderimi %50 olarak belirlenmiştir (Sen vd. 2017).

Kushwaha vd. (2014) yapılan başka bir siyanobakteri konsorsiyum çalışmasında, *Oscillatoria subbrevis* ve *Gloeocapsa atrata* türleri inkübasyon süresi boyunca Chu-10 besiyerinde inkübe edilmiştir. Optimum Cr(VI) biyogiderimi, 9.günde başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 11.08 mg/L, pH değeri 9 ve başlangıç biyokütle konsantrasyonu 0.39 g olan ortamlarda Cr(VI) biyogiderim verimi % 71.6 olarak gerçekleşmiştir.

Bir başka çalışmada (Balaji vd. 2014), farklı siyanobakteri türü kullanılarak Cr(VI) biyogiderimi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan siyanobakteri türü *Arthrospira platensis*'tir. Siyanobakteri farklı başlangıç Cr(VI) konsantrasyonlarının (0.01,0.05 ve 0.1 mM) olduğu ortamlara (Zarrouk's besiyeri) inoküle edildi. Ayrıca Cr(VI) biyogideriminin etkisini belirleyebilmek amacıyla, Tamil Nadu bölgesinden alınan deri atıkları sonucu kirlenen ve içinde Cr(VI) konsantrasyonunun 155 mg/L olduğu atıksuya da *Arthrospira platensis* inoküle edildi. Deri atıklarıyla kirlenen atıksuda gelişen siyanobakteri kontrol grubu olarak kullanıldı. Analiz sonuçlarına göre, Cr(VI) biyogiderim verimi 0.01mM olan ortamda % 75.8 olarak bulunurken, krom(VI) başlangıç konsantrasyonu 0.05mM olan ortamda % 72.2, Cr(VI) konsantrasyonu 0.1mM olan ortamda % 66.5 şeklinde gerçekleşmiştir. Deri atıklarıyla kirletilen atıksuda ise Cr(VI) biyogiderim verimi % 73.5 olarak belirlenmiştir.

Kiran (2008)'de yaptığı çalışmada tuz ve metale tolerans gösteren siyanobakteri türlerinin (*Lyngbya putealis*, *Nostoc spongiaeforme*, *Nostoc punctiforme*) farklı başlangıç Cr(VI) ve farklı tuz konsantrasyonlarında biyogiderim kapasitesi araştırılmıştır. Bu çalışmada siyanobakterilerin gelişimi için en uygun besiyeri olarak BG11 kullanılmıştır.

Kültür ortamlarına, konsantrasyonları sırasıyla 0 mg/L kontrol grubu olarak, 10 mg/L ve 20 mg/L NaCl eklenmiş ve farklı Cr(VI) konsantrasyonlarında (5mg/L, 10mg/L, 15mg/L, 20mg/L) Cr(VI) biyogiderimi ölçülmüştür. Bu çalışmaya göre, *Lynbya spp.* ve *Gleocapsa sp.* türlerinde tuz konsantrasyonu arttıkça ağır metal giderimi artmıştır. Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 20 mg/L olan tuz içeren ortamda 21.günün sonunda biyogiderim verimleri %56-%72'dir.

Dönmez ve Sadettin (2007) araştırmacılarının yaptığı bir çalışmada termofil bir siyanobakteri olan *Phormidium sp.* kullanılmıştır. Bu çalışmada Cr(VI) biyogideriminin yanısıra Remazol Blue ve Reaktive Black B boyaalarının da biyogiderim kapasitesi araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle Cr(VI) konsantrasyonları sabit tutularak kullanılan boyaaların başlangıç konsantrasyonları 11.8 ve 84.6 mg/L olacak şekilde değiştirilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda Remazol Blue ve Reaktive Black B boyaalarının olduğu ortamda başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 0-20 mg/L olan erlenlerde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaya göre en yüksek Cr(VI), Remazol Blue ve Reaktive Black B başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 15 mg/L olan ortamda gerçekleşmiştir. Kullanılan siyanobakteri termofilik olduğu için çalışmada farklı sıcaklık dereceleri olan 40 °C, 45 °C ve 50 °C parametrelerinin biyogiderim üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın verilerine göre en yüksek Cr(VI) biyogiderimi inkübasyon süresi olan 14 günün sonunda 40 °C'de gerçekleşmiştir.

2.7 Siyanobakteriler İle Yapılan Cr(VI) Biyosorpsiyon Çalışmaları

Cr(VI) biyosorpsiyonunda çeşitli siyanobakterilerle çalışmalar yapılmıştır. Bir çalışmada (Das 2012) *Oscillatoria laete-virens*'in Cr(VI) biyosorpsiyon kapasitesi ve bunun yanısıra Ni biyosorpsiyon kapasitesi de araştırılmıştır. Siyanobakteri gelişimi için BG11 besiyeri kullanılmıştır. Deney ortamında Cr(VI) biyosorpsiyon kapasitesine pH etkisini araştırmak için farklı pH değerleri denenmiştir. Fakat en iyi Cr(VI) biyosorpsiyon giderim veriminin pH: 2 değerinde sıcaklık: 28±2 °C temas süresi: 60-75 dakika aralığında, Cr(VI) miktarı: 103.09 mg/g⁻¹ olarak gerçekleştiği belirlenmiştir.

Başka bir siyanobakteri türü olan *Synechococcus sp.* ile yapılan bir çalışmada ise, Cr(VI) biyosorpsiyon kapasitesinin yanısıra Pb (II) biyosorpsiyon giderim kapasitesi de çalışılmıştır (Li vd.2008). Bu çalışmada liyofilize ve immobilize edilen hücrelerin çeşitli pH (2, 4, 6, 8ve10) ve sıcaklık(10, 50 °C) değerlerinde yaptıkları ağır metal biyosorpsiyonunun etkinliği araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre asidik pH değerlerinde biyosorpsiyon veriminin yükseldiği, sıcaklığın verimi çok az etkilediği sonucuna varılmıştır.

Spirulina sp. kullanılarak yapılan bir çalışmada (Rezaei 2013) farklı başlangıç Cr(VI) konsantrasyonlarında (10, 20, 50, 100 mg/L) biyosorpsiyon kapasitesi araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre en yüksek biyosorpsiyon verimi Cr(VI)başlangıç konsantrasyonu: 10 mg/L, pH: 5, sıcaklık: 28±2°C olan ortamlarda temas süresinin ilk 120 dakikasında gerçekleşmiştir.

Siyanobakterilerin kullanıldığı bir başka çalışmada, Cr(VI) biyosorpsiyonu hidrojen fermentörü kullanılarak yapılmıştır (Sharma vd. 2011). Hidrojen fermentöründe üretilen *Nostoc linkia* biyokütlesi immobilize edilerek kullanılmıştır. Çeşitli pH değerlerinde (2, 4 ve 6) denemeler yapılmış seçilen pH: 2 değerinde farklı başlangıç Cr(VI) konsantrasyonları denenmiştir. En yüksek Cr(VI) biyosorpsiyon verimi pH:2, başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu: 55 mg/L ve sıcaklık: 25±2 °C’de temas süresinin 135.dakikasında % 81.02 olarak belirlenmiştir.

Kurutulmuş *Spirulina platensis* biyokütlesinin LiCl/DMSO çözücülerıyla çözünerek Cr(VI) biyosorpsiyon için kullanıldığı bir çalışma yapılmıştır (Kwak vd. 2015). LiCl/DMSO karışımı, siyanobakterideki organik maddelerin (protein, polisakkarit vb.) daha kolay çözünebilmeleri için kullanıldı. Böylece *S.platensis* biyokütlesinin, Cr(VI) giderimini polimerik destek olmadan yapması amaçlandı. En yüksek Cr(VI) biyosorpsiyonu başlangıç konsantrasyonu: 100 mg/L olan asidik ortamda (pH:2) temas süresinin 24.saati sonunda %70 verimle gerçekleşmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Mikroorganizma, İzolasyon ve Tanınması

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Ankara İlinin Ayaş, Kızılcahamam ve Haymana ilçelerindeki termal kaynaklardan alınan su örnekleri mikroorganizma kaynağı olarak kullanılmıştır. Alınan su örnekleri BG11 (Rippka vd. 1988) besiyerine aşılınmış ve 2400 lx sürekli ışık kaynağında inkübe edilmiştir. Besiyerinde gelişme görüldükten sonra aktif karışık mikroalg ve siyanobakteri kültüründen agar içeren BG11 besiyerlerine ekimler yapılarak saflaştırma işlemlerine devam edilmiştir. Agar içeren besiyerlerinde tek koloniler elde edilmiş ve bunların saflık kontrolleri tekrar aynı besiyerlerine ekilerek yapılmıştır. Saf kültürler, yatkı agarda, muhafaza edilmiş ve ayda bir yenilenmiştir.

Saf kültürlerin moleküler düzeyde tanınması RefGen Gen Araştırmaları ve Biyoteknoloji Limited Şirketi'ne (Ankara Teknokent, Ankara) yaptırılmıştır.

3.2 BG11 Besiyerinin Hazırlanışı

Mikroalg ve siyanobakterilerin gelişimi için BG11 besiyeri kullanılmıştır. BG11 besiyerinin içeriği çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 BG11 besiyeri içeriği

Madde	Miktarı (1L için)
NaNO ₃	1.5 g
K ₂ HPO ₄	0.04 g
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.075 g
CaCl ₂ .2H ₂ O	0.036 g
Sitrik asit	0.006 g
Amonyum ferrik sitrat	0.006 g
EDTANa ₂	0.001 g
Na ₂ CO ₃	0.02 g

Çizelge 3.2 BG11 besiyeri içeriği (devam)

Eser element solüsyonu	
H ₃ BO ₃	2.86 g
MnCl ₂ .4H ₂ O	1.81 g
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.22 g
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.39 g
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.079 g
Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	49.4 mg

3.3 Cr(VI) Stok Solüsyonunun Hazırlanışı

Potasyum dikromat (K₂Cr₂O₇) %99.5 (Sigma) saflıkta toz halinde alınmıştır. Krom(VI) stok solüsyonu, 1g/L olacak şekilde K₂Cr₂O₇ kimyasalından, seyreltmeler yapılarak kullanılmıştır.

3.4 Analiz Yöntemleri

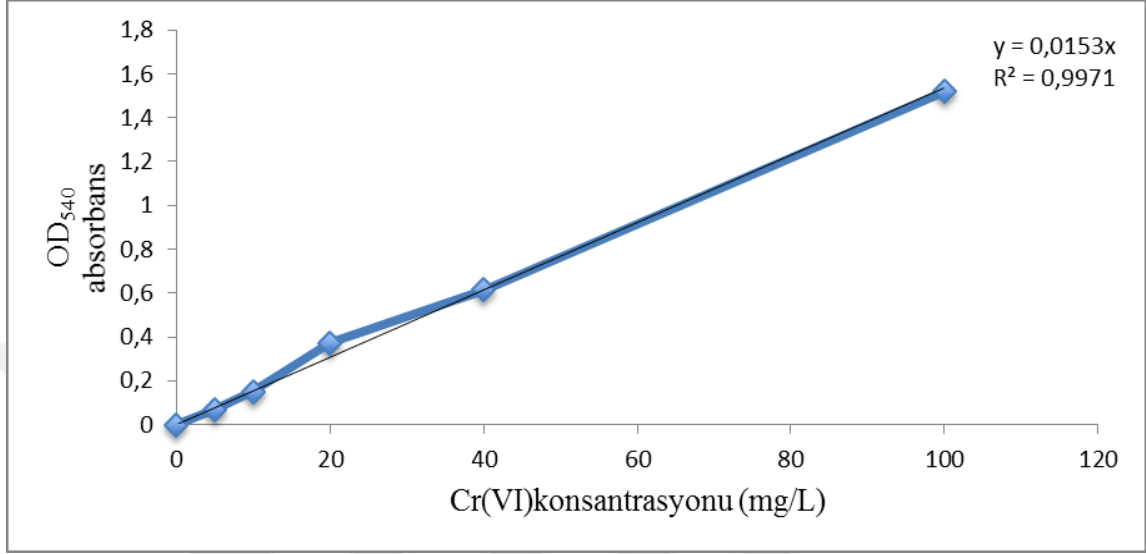
3.4.1 Krom(VI) analizi

Krom analizi Cr(VI)'nın sülfürik asit içeren ortamda difenilkarbazid ile verdiği reaksiyondan yararlanılarak yapılmıştır. Reaksiyonda kullanılan difenilkarbazid solüsyonu 0.25 g difenilkarbazidin 100 ml etil alkolde (%95) çözülmesi ile hazırlanmıştır. Alınan örneklerden 1 ml, %20'lik H₂SO₄'ten 3.3 ml ve difenilkarbazid solüsyonundan 1 ml alınarak yapılan karışım, distile su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Ölçümler spektrofotometre (Shimadzu UV 2001) kullanılarak 540 nm'de gerçekleştirilmiştir (Snell ve Snell 1959).

3.4.2 Cr(VI) Standardının hazırlanması

Cr(VI) standardının hazırlanması için öncelikle 5–100 mg/L aralığında Cr(VI) konsantrasyonu içeren 100 ml'lik balon jojeler içerisinde besiyerleri hazırlanmıştır. Standardı hazırlamak için içerisinde Cr(VI) ağır metali bulunan bu besiyerleri 540

nm’de spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlerin hesaplanması ile standart hazırlanmıştır. Şekil 3.1’de Cr(VI) standart grafiği gösterilmektedir. Yapılan Cr(VI) standart biyogiderim ve biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılmıştır.



Şekil 3.1 BG11 besiyeri kullanılarak hazırlanan Cr(VI) standardı

3.4.3 Optik yoğunluğun belirlenmesi

İnkübasyon süresi boyunca belirli zaman aralıklarında Erlenmeyerlerden örnekler alınmış, 5000 rpm de 10 dakika boyunca santrifüjlenmiştir (Hettich EBA12). Çökelti distile su ile yıkanmış ve gerekli seyreltmeler yapılarak optik yoğunluk, 600 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak belirlenmiştir.

3.4.4 Kuru ağırlığın belirlenmesi

Optik yoğunluğu belirlenen örnekler, boş ağırlığı alınmış alüminyum folyolara alınarak etüvde (Nüve FN 400) 80 °C’de 12 saat kurutulmuş ve tartılmıştır.

3.5 Biyogiderim Çalışmaları

3.5.1 Suş seçimi

Farklı kaynaklardan izole edilen mikroalg ve siyanobakteri suşlarının Cr(VI) giderim kapasitelerini belirlemek amacıyla başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 20.2 mg/L olan BG11 besiyerleri (pH:7.5) hazırlanmış ve mikroorganizmalar bu ortamlara aşılannmıştır.

En yüksek giderim yapan mikroorganizma seçiminden sonra, optimum biyogiderim yapılan koşulları belirlemek için farklı pH, Cr(VI) ve biyokütle konsantrasyonlarında denemeler yapılmıştır.

Biyogiderim çalışmaları için öncelikle mikroorganizmalar biyogiderim çalışmalarının yapılacağı benzer besiyerlerine aşılannmıştır. Adaptasyon sürecinden sonra denemeler, 80 ml'lik besiyeri içeren 250 ml hacimli Erlenmeyerlere %20 (v/v) ekim ile gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon süresi boyunca mikroorganizmalar geliştirilerek, örnekler alınmıştır. Örneklerdeki mikroorganizmalar santrifüj yöntemiyle uzaklaştırılmış ve besiyerindeki Cr(VI) miktarı ölçülmüştür. Deneyler 2 paralel olarak yapılmıştır.

3.5.2 Farklı pH değerlerinin Cr(VI) biyogiderimine etkisi

Biyogiderimin en iyi yapıldığı pH değerini belirlemek için 12.4 mg/L Cr(VI) içeren BG11 besiyeri pH dereceleri 0.1 M NaOH ve 0.1 M HCl kullanılarak 6.5, 7.5, 8.5 ve 9.5'a ayarlanmıştır. Deneyler, 250 ml'lik Erlenmeyerlerde, 80 ml'lik ortamlarda, %20 (v/v) mikroorganizma ekimi yapılarak, 2400 lx sürekli ışık kaynağı altında 5 gün inkübasyon süresi boyunca gerçekleştirilmiştir. Farklı pH'larda hazırlanan besiyerlerine aynı besiyerlerinde aktifleştirilen saf kültürden inoküle edilmiştir.

3.5.3 Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Bu denemelerde seçilen pH değerine ayarlanmış besiyerinde Cr(VI)'nın farklı başlangıç konsantrasyonlarının biyogiderime etkisi çalışılmıştır. Besiyerinin pH'ı 9.5 a ayarlanmış ve 4.9 mg/L, 10.8 mg/L, 14.5 mg/L, 34.4 mg/L Cr(VI) konsantrasyonlarında seçilen suş ile denemeler gerçekleştirilmiştir.

3.5.4 Başlangıç biyokütle konsantrasyonunun biyogiderime etkisi

Farklı başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının Cr(VI) giderimine etkisini araştırmak için ekimler %10 (v/v), %20 (v/v), %30 (v/v) ve %40 (v/v) şeklinde 250 ml'lik Erlenmeyerlerde toplam hacim 100 ml olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.6 Biyosorpsiyon Çalışmaları

Biyosorpsiyon çalışmalarında en yüksek biyogiderim oranı yapan tür seçilerek çalışmalara devam edilmiştir. Biyosorpsiyon çalışmaları, 150 ml'lik Erlenmeyerlerde 45 ml'lik biyosorpsiyon ortamlarında mikroorganizma miktarı 1g/L (kuru ağırlık) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Erlenler 30°C'de 100 rpm karıştırma hızındaki çalkalayıcıda (NB-205V) belirli aralıklarla örnekler alınarak 4 saat inkübe edilmiştir. Biyosorpsiyon çalışmaları 2 paralel yapılmıştır.

3.6.1 Farklı pH değerlerinin Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisi

Farklı pH'ların Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisini araştırmak amacıyla, biyosorpsiyon ortam pH'ları 2, 4, 6, 8 ve 10'a ayarlanmıştır. Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonları pH: 2 için 22.1 mg/L, pH: 4 için 17.8 mg/L, pH: 6 için 16.7 mg/L, pH: 8 için 30.2 mg/L, pH: 10 için 20.5 mg/L olacak şekilde ayarlanmıştır.

3.6.2 Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi

Artan Cr(VI) konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisini belirlemek amacıyla, biyosorpsiyonun optimum olarak yapıldığı pH'da ortamlar hazırlanmıştır. Bu denemelerde başlangıç Cr(VI) konsantrasyonları 5.7 mg/L, 11.8 mg/L, 17.0 mg/L, 24.8 mg/L ve 39.5 mg/L şeklindedir.

3.6.3 Farklı başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının biyosorpsiyona etkisi

Artan *C. aponinum* biyokütlesinin Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisini belirlemek amacıyla başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 21.1 mg/L olan, optimum pH değerine ayarlanmış BG11 besiyerlerine %10 (v/v), %20 (v/v), %30 (v/v) ve %40 (v/v) konsantrasyonunda biyokütle ekimleri yapılmıştır.

3.7 Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan Kısaltmalar

C_0 = Başlangıç ağır metal miktarı (mg/l).

C_f = Mikroorganizmaların ortamdaki uzaklaştırdığı ağır metal miktarı (mg/l).

q_m = Mikrobiyel kütle başına biriktirilen ağır metal derişimi (mg/g).

$$q_m = C_{gid} / X$$

X = Mikroorganizmaların kuru ağırlığı (g/l)

$$\%giderim = \left[\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right] \times 100$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Saf Kùltürler ve Tanılanmaları

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Ankara İlinin, Ayaş, Haymana ve Kızılcahamam İlçelerinden alınan su örneklerinden 6 adet mikroalg ve siyanobakteri izole edilmiştir. Mikroorganizmalar izole edilen kaynaklara göre kodlandırılmıştır. Çizelge 4.1’de alınan kaynaklara göre verilen kodlar gösterilmektedir. Çizelge 4.2’de ise çalışmada kullanılan izolatların morfolojik özellikleri sıralanmıştır.

Çizelge 4.1 Mikroorganizmaların izole edilen yerlere göre kodları

Ayaş	S Kodu
Haymana	H Kodu
Kızılcahamam	K Kodu

Çizelge 4.2 Çalışmada kullanılan izolatların morfolojik özellikleri

Suş	Şekil	Renk	Büyükük(µm)	İzolasyon yeri
KA	Yuvarlak	Yeşil	5x5	Kızılcahamam
KD	Çubuk	Yeşil	5x4.5	Kızılcahamam
KG	Çubuk	Açık Yeşil	5x4.5	Kızılcahamam
HB	Çubuk	Koyu Yeşil	3x3.5	Haymana
HE	Filament	Yeşil	1.5 (en)	Haymana
S9E	Yuvarlak	Yeşil	6x6	Ayaş

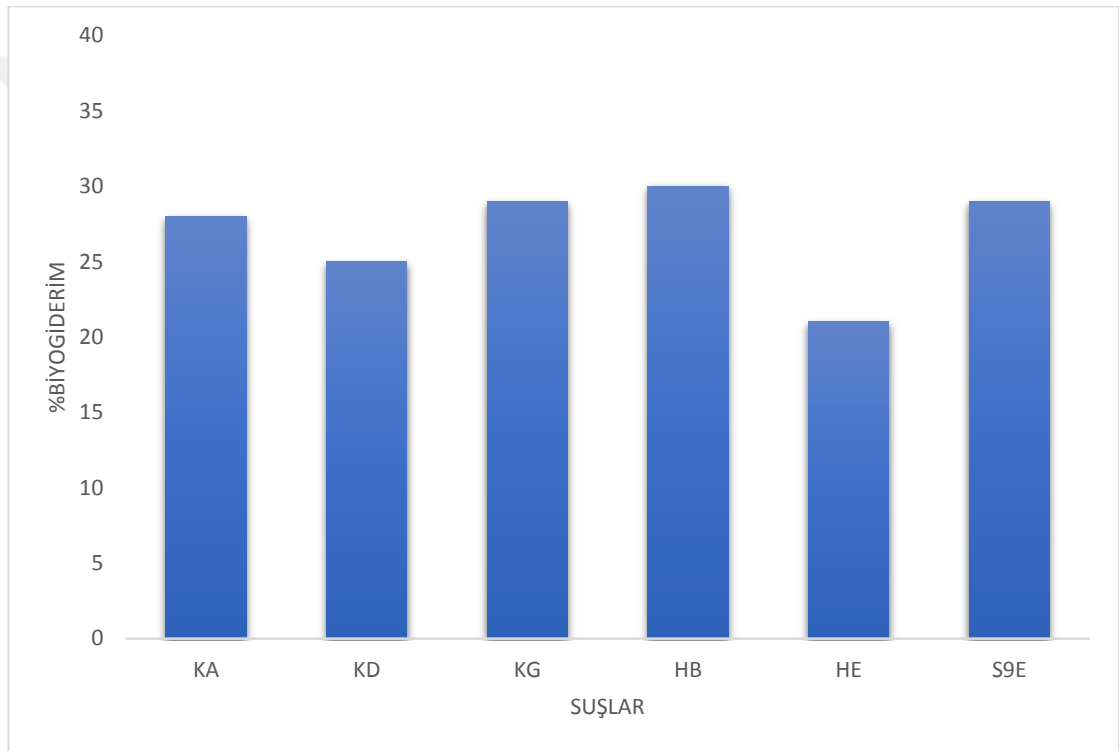
4.2 Mikroalg ve Siyanobakterilerin Cr(VI) Giderimi

En yüksek kapasite ile biyogiderim yapan mikroalg ve siyanobakteriyi seçebilmek amacıyla başlangıç konsantrasyonu 20.2 mg/L olan besiyerinde yapılan çalışmalara göre izolatlardan HB suşunun (%30) en yüksek verimle ağır metal giderimi yaptığı

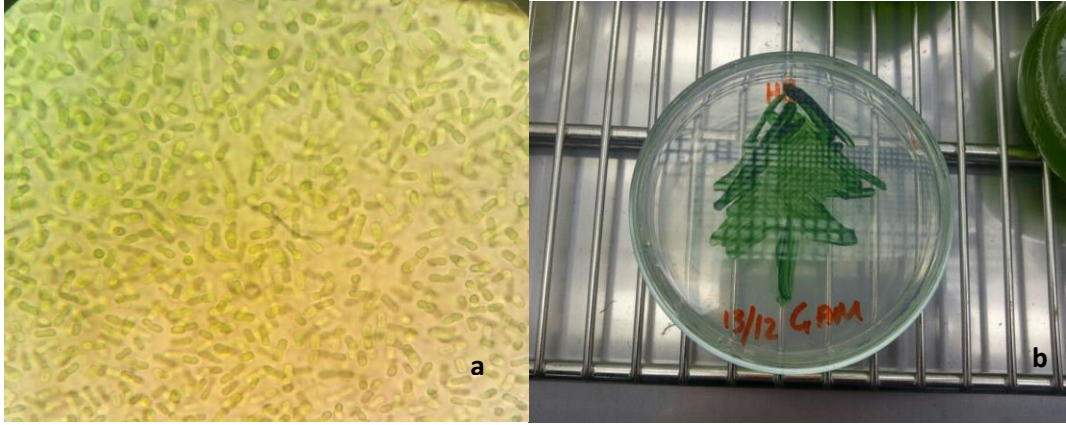
görülmüştür (Şekil 4.1). Bunun yanısıra diğer suşlarda sırasıyla %28 (KA), %25 (KD), %29 (KG), %21 (HE) ve %29 (S9E) verimle ağır metal giderimi yapmıştır.

Bu verilere göre tez çalışmasındaki daha sonraki deneylerde HB suşu kullanılmıştır (Şekil 4.2).

En yüksek verimle Cr(VI) giderimi yapan HB suşunun moleküler tanımlanmasında *Cyanobacterium aponinum* olduğu belirlenmiştir.



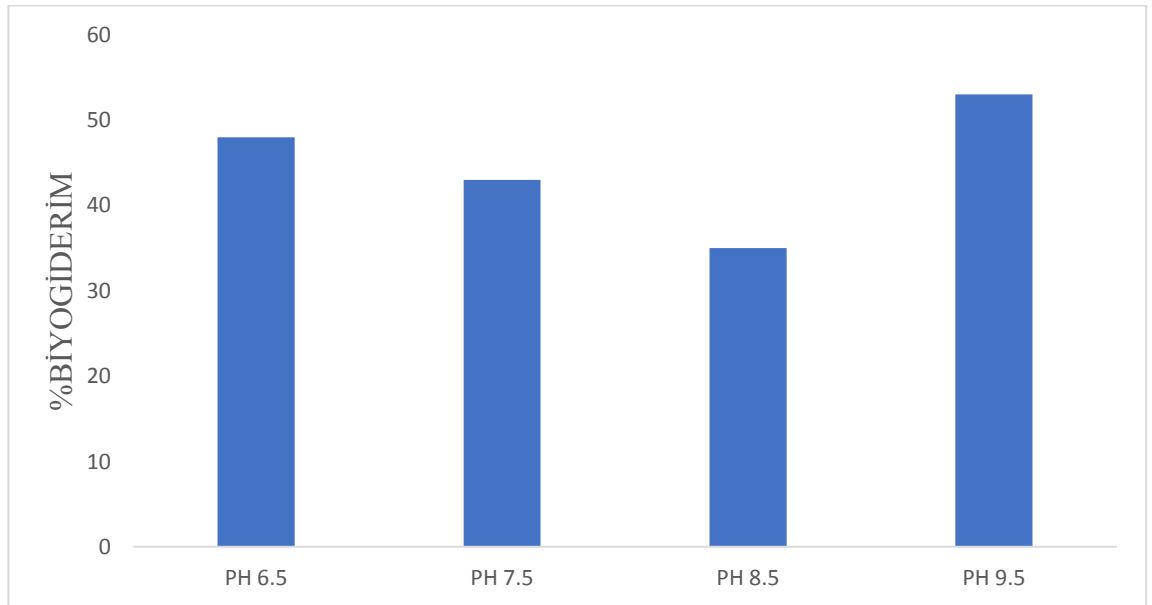
Şekil 4.1 İzole edilen mikroalg ve siyanobakteri suşlarının Cr(VI) biyogiderim verimleri (C₀: 20.2 mg/L, İnkübasyon süresi:14 gün, T: 22±2°C, Işık şiddeti: 2400lx)



Şekil 4.2 En yüksek verimle ağır metal giderimi yapan HB suşu
a *C. Aponinum* ışık mikroskobu görüntüsü, b BG11 agarlı petrideki görüntüsü

4.3 Farklı pH Değerlerinin Cr(VI) Biyogiderimine Etkisi

Seçilen HB suşunun en iyi Cr(VI) biyogiderimi yaptığı pH değerini araştırmak amacıyla, Cr(VI) başlangıç konsantrasyonu 12.4 mg/L olan ortamlar hazırlanmıştır. İnkübasyon süresi sonunda besiyerinde kalan Cr(VI) miktarı belirlenmiştir; elde edilen sonuçlar şekil 4.3’de gösterilmiştir.



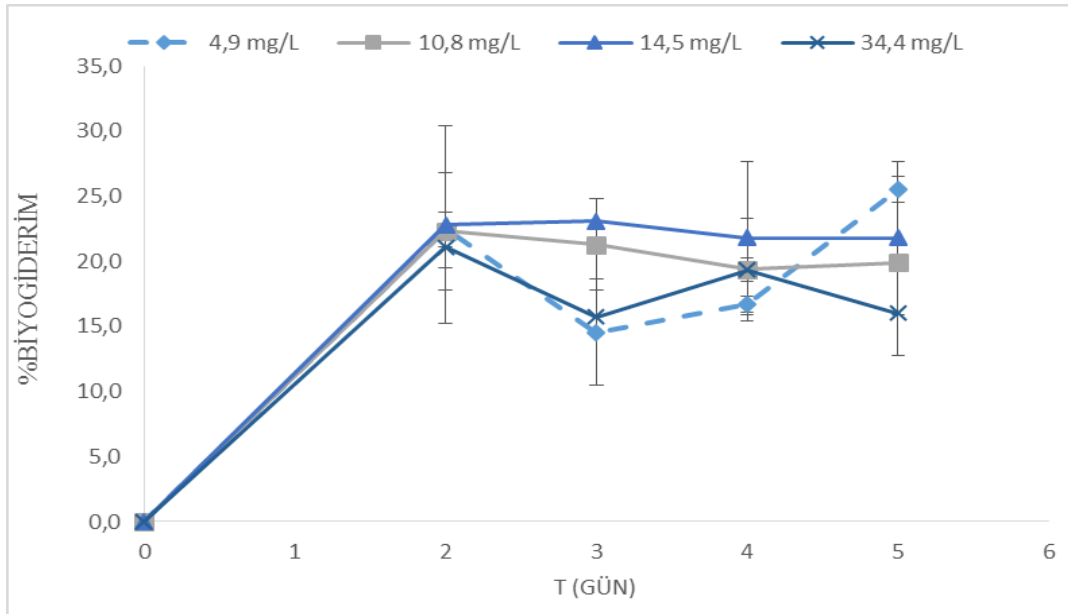
Şekil 4.3 Farklı pH'ların *C. Aponinum*'un Cr(VI) biyogiderimine etkisi

(Co: 12.4 mg/L; İnkübasyon süresi: 5 gün; T: 22±2°C; Işık şiddeti: 2400lx)

Ortam pH değeri 6.5 olduğunda *C. aponinum*'un Cr(VI) biyogiderim verimi % 48.8 olmuştur. pH değeri 7.5'e ayarlanan ortamlarda siyanobakteri % 43.1 verimle ağır metal giderimi yapmıştır. BG11 besiyerinin pH değeri 8.5'e ayarlandığında yapılan çalışmalarda *C. aponinum* giderim kapasitesi % 35.2 olarak belirlenmiştir. Ortam pH'sı daha alkali olduğunda (9.5) ağır metal uzaklaştırılmasının % 53 verimle gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bundan sonraki çalışmalara ortam pH'sı 9.5'e ayarlanarak devam edilmiştir.

4.4 Farklı Başlangıç Cr(VI) Konsantrasyonlarının Biyogiderime Etkisi

Tez çalışmasında seçilen siyanobakteri suşu ile optimum pH değerinde hazırlanan besiyerlerinde farklı başlangıç Cr(VI) konsantrasyonlarının ağır metal biyogiderimine etkisi araştırılmıştır. Kullanılan ortamlar 250 ml Erlenmeyerlerde 100 ml besiyeri olacak şekilde hazırlanmış ve başlangıç Cr(VI) konsantrasyonları, 4.9 mg/L, 10.8 mg/L, 14.5 mg/L ve 34.4 mg/L olacak şekilde ayarlanmıştır. İnkübasyon süresi boyunca ortamda kalan Cr(VI) konsantrasyonu ölçülmüştür. Yapılan çalışmanın sonuçları şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Farklı başlangıç Cr(VI) konsantrasyonlarının *C. aponinum* biyogiderimine etkisi

(İnkübasyon süresi: 5 gün; pH: 9.5 T: 22±2 °C; ışık şiddeti: 2400lx)

Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 4.9 mg/L olduğunda inkübasyon süresinin ikinci gününde % 22.5 verimle biyogiderim yapılmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda aynı ortamda siyanobakteri % 25.5 verimle biyogiderim yapmıştır.

Cr(VI) konsantrasyonu yaklaşık iki katına arttırıldığında (10.8 mg/L) *C. aponinum* ağır metal giderimi inkübasyon süresinin ikinci gününde % 22.3 verimle gerçekleşirken, inkübasyon süresinin beşinci gününde % 19.9 verimle gerçekleştirilmiştir.

Cr(VI) konsantrasyonu 14.5 mg/L olan ortamda inkübasyon süresinin ikinci gününde %22.8 verimle biyogiderim gerçekleşirken, inkübasyon süresinin beşinci gününde % 21.8 verimle biyogiderim yapılmıştır.

Bu çalışmada siyanobakterinin maruz kaldığı en yüksek Cr(VI) konsantrasyonu olan 34.4 mg/L olan ortamda inkübasyon süresinin ikinci gününde %21.1 verimle ağır metal giderimi gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresinin beşinci gününde ise biyogiderim verimi % 16.0 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.3 Artan Cr(VI) konsantrasyonlarında *C. aponinum*'un maksimum spesifik Cr(VI) giderimleri (q_m)

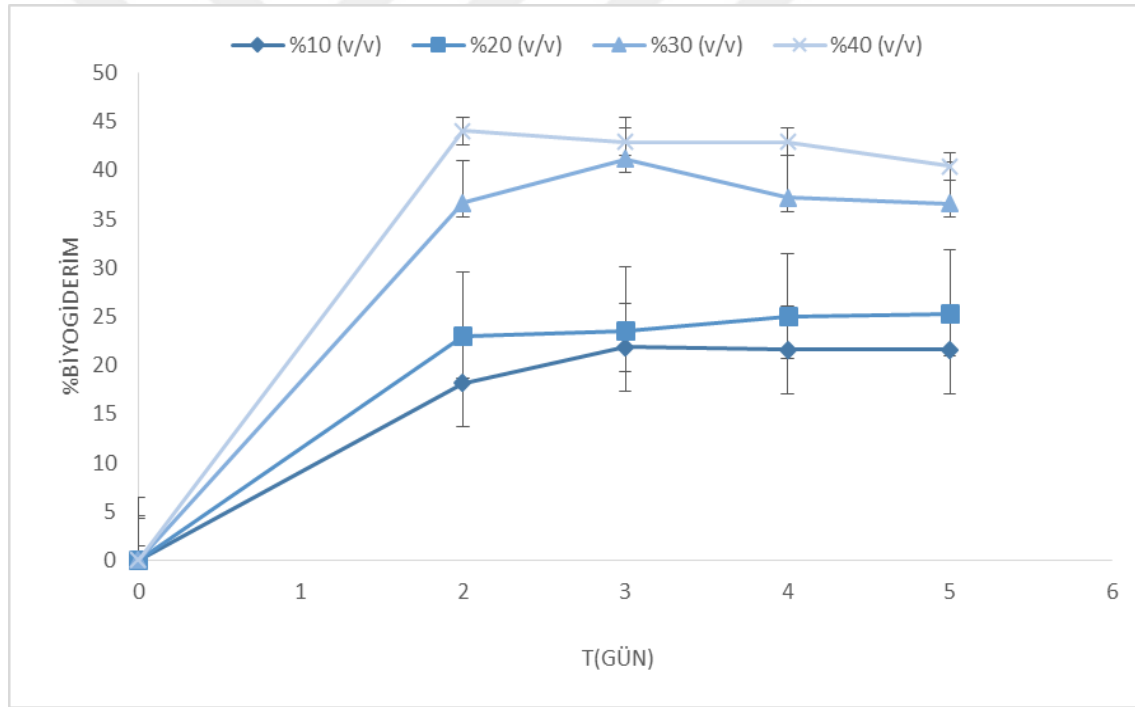
C_o (mg/L)	C_{gid}	q_m (mg/g)
4.9	1.3 ± 0.1	2.5 ± 0.1
10.8	2.2 ± 0.1	3.6 ± 0.1
14.5	3.2 ± 0.9	4.5 ± 1.2
34.4	5.5 ± 1.1	9.2 ± 1.8

Siyanobakterinin 1 gram biyokütlesinin giderdiği ağır metal miktarları (q_m) çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu değerlere göre başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 4.9 mg/L olan ortamda q_m 2.5 mg/g olarak bulunmuştur. Ortamdaki Cr(VI) konsantrasyonu 10.8 mg/L olduğunda 1 gram siyanobakteri kütlesi başına ortamdan uzaklaştırılan kirletici miktarı 3.6 mg olmuştur. Ortamdaki kirletici konsantrasyonu 14.5 mg/L olduğunda q_m 4.5 mg/g

olarak belirlenmiştir. Cr(VI) konsantrasyonu 34.4 mg/L'ye arttırıldığında 1 gram *C. aponinum* kütlesi başına ortamdan uzaklaştırılan kirletici miktarı 9.2 mg/g dır.

4.5 Farklı Başlangıç Biyokütle Konsantrasyonlarının Biyogiderime Etkisi

Denemelerin bu aşamasında *C. aponinum* ile yapılan Cr(VI) biyogiderim çalışmalarında başlangıç biyokütle konsantrasyonunun ağır metal giderimine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla optimum pH değerine ayarlanmış BG11 besiyerlerine %10 (v/v), %20 (v/v), %30 (v/v) ve %40 (v/v) oranlarında biyokütle ekimleri yapılmıştır. İnkübasyon süresi boyunca ortamda kalan Cr(VI) miktarları ölçülmüştür. Yapılan çalışmanın sonuçları şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının *Cyanobacterium aponinum*'un Cr(VI) biyogiderimine etkisi

(C₀: 11.5 mg/L, İnkübasyon Süresi: 5 gün; pH: 9.5; T: 22±2 °C; ışık şiddeti: 2400 lx)

Biyokütle miktarı %10 (v/v) olan ortamda biyogiderim inkübasyonun ikinci günü %18.2, üçüncü günü % 21.9 ve dördüncü günü % 21.6 olarak belirlenmiştir.

Biyokütle oranının 2 katına (%20 (v/v)) çıkarıldığı ortamda Cr(VI) biyogiderim verimi inkübasyonun ikinci günü % 23.0, üçüncü günü % 23.6, dördüncü günü % 25.0 ve beşinci günü % 25.3 olarak belirlenmiştir.

C. aponinum biyokütlesi %30 (v/v) oranında kullanılarak ağır metal giderimi yapılan ortamda ise Cr(VI) biyogiderimi inkübasyonun üçüncü günü % 41.2 olarak gerçekleşmiştir.

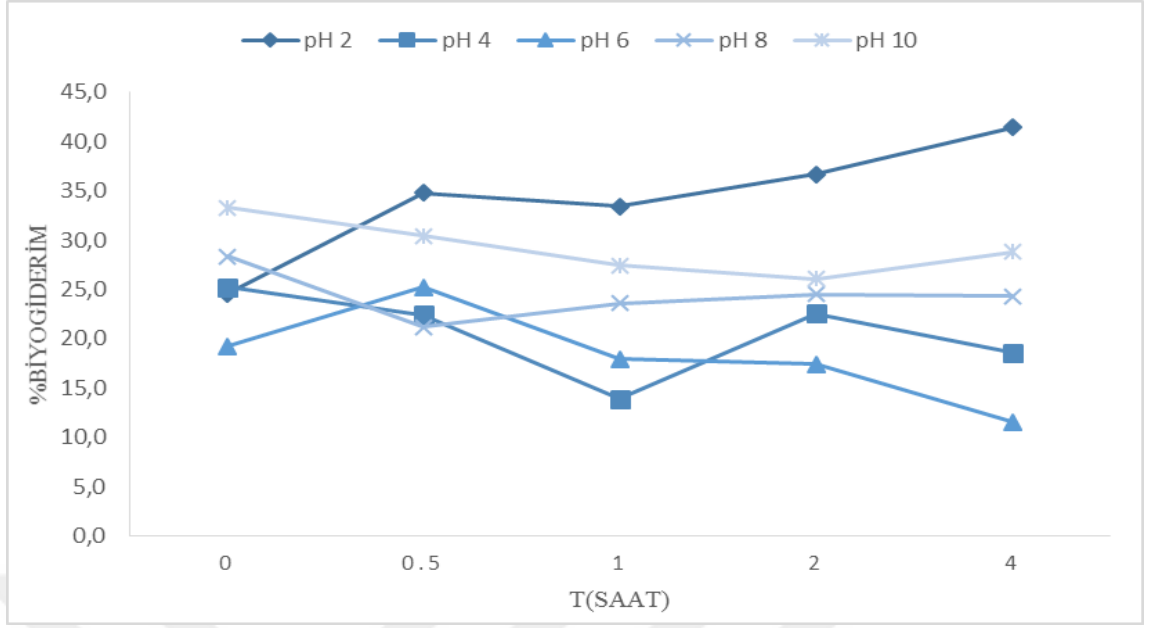
Başlangıç *C. aponinum* biyokütlesi 4 katına çıkartıldığında (%40 (v/v)), Cr(VI) biyogiderimi inkübasyon süresinin ikinci günü % 44.0, üçüncü günü % 42.9, dördüncü günü % 42.9, beşinci günü % 40.4 verimle olmuştur.

Bu deneyin sonucunda biyokütle konsantrasyonu arttıkça Cr(VI) biyogiderim veriminin de arttığı görülmüştür.

4.6 Farklı pH'ların Cr(VI) Biyosorpsiyonuna Etkisi

C. aponinum kullanılarak yapılan Cr(VI) biyosorpsiyonunda optimum pH değerini belirlemek için farklı pH değerlerinde çalışmalar yapılmıştır. Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu belirli olan ortamlarda 5 farklı pH değeri denenmiştir. Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonları pH: 2 için 22.1 mg/L, pH: 4 için 17.8 mg/L, pH: 6 için 16.7 mg/L, pH: 8 için 30.2 mg/L, pH: 10 için 20.5 mg/L'dir.

Yapılan çalışmanın analiz sonuçları şekil 4.6'da gösterilmiştir.

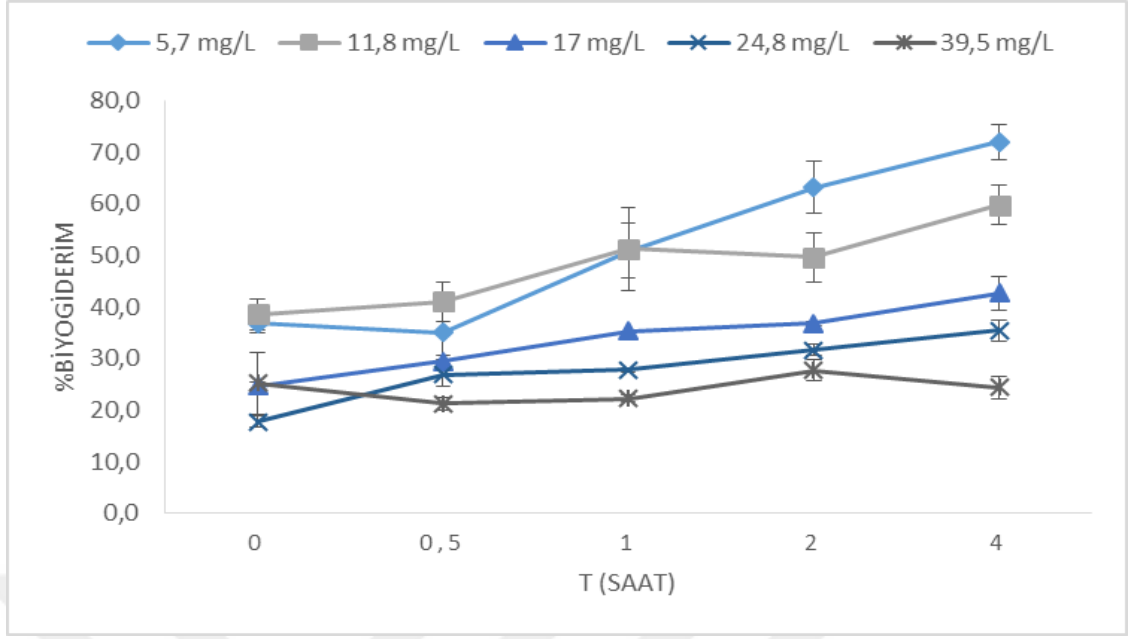


Şekil 4.6 *C. aponinum*'un Cr(VI) biyosorpsiyonuna pH etkisi

Ortam pH değeri 2 olduğunda *C. aponinum*'un Cr(VI) biyosorpsiyon verimi % 41.4 olmuştur. pH değeri 4'e ayarlanan ortamlarda siyanobakteri % 25.2 verimle ağır metal giderimi yapmıştır. BG11 besiyerinin pH değeri 6'ya ayarlandığında yapılan çalışmalarda *C. aponinum* giderim kapasitesi % 25.2 olarak belirlenmiştir. pH değeri 8'e çıkarıldığında siyanobakteri % 28.3 verimle Cr(VI) biyogiderimi sağlamıştır. Ortam pH'sı daha alkali olduğunda (pH:10) ağır metal uzaklaştırılmasının % 14.5 verimle gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ortam pH'sı 2 olduğunda en yüksek biyosorpsiyon verimine ulaşılmıştır. Bu nedenle bundan sonraki çalışmalara pH değeri 2'ye ayarlanarak devam edilmiştir.

4.7 Farklı Başlangıç Cr(VI) Konsantrasyonlarının Biyosorpsiyona Etkisi

C. aponinum kullanılarak yapılan Cr(VI) biyosorpsiyonun etkisini belirlemek amacıyla farklı başlangıç Cr(VI) konsantrasyonlarında denemeler yapılmıştır. Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonları 5.7 mg/L, 11.8 mg/L, 17.0 mg/L, 24.8 mg/L ve 39.5 mg/L olan ortamlara (pH:2) %20 (v/v) konsantrasyonunda *C. aponinum* ekimi yapılmıştır. Yapılan çalışmanın analiz sonuçları şekil 4.7'te gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonlarının *C. aponinum*'un Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisi

C. aponinum kullanılarak yapılan bu çalışmada siyanobakteri 5.7 mg/L Cr(VI) başlangıç konsantrasyonunda inkübasyon süresinin dördüncü saatinde % 71.9 verimle biyogiderim yapmıştır.

Cr(VI) konsantrasyonu yaklaşık 2 katına arttırıldığında (11.8 mg/L) *C. aponinum* ağır metal giderimi inkübasyon süresinin dördüncü saatinde % 59.7 verimle gerçekleşmiştir.

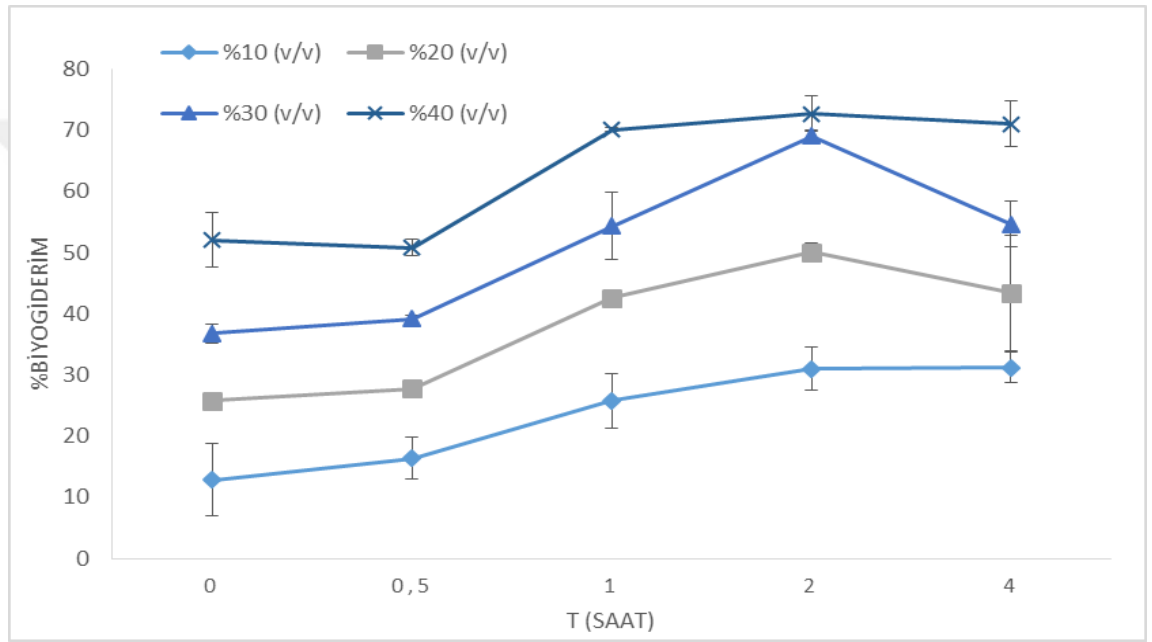
Cr(VI) konsantrasyonu 17.0 mg/L olan ortamda inkübasyon süresinin dördüncü saatinde % 42.6 verimle biyogiderim yapılmıştır.

Kirletici başlangıç konsantrasyonu 24.8 mg/L olan ortamda *C. aponinum*'un Cr(VI) biyogiderim verimi inkübasyon süresinin dördüncü saatinde % 35.5 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada siyanobakterinin maruz kaldığı en yüksek Cr(VI) konsantrasyonu olan 39.5 mg/L olan ortamda inkübasyon süresinin ikinci saatinde % 27.7 verimle biyogiderim gerçekleşmiştir.

4.8 Farklı Başlangıç Biyokütle Konsantrasyonlarının Biyosorpsiyona Etkisi

Artan biyokütle konsantrasyonunun Cr(VI) biyosorpsiyonu üzerine etkisini belirlemek amacıyla başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 21.1 mg/L olan ortamlarda denemeler yapılmıştır. *C. aponinum* biyokütle konsantrasyonları %10 (v/v), %20 (v/v), %30 (v/v) ve %40 (v/v) olacak şekilde BG11 besiyerine eklenmiştir. Yapılan çalışmanın analiz sonuçları şekil 4.8'te gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Farklı başlangıç biyokütle konsantrasyonlarının *C. aponinum* Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisi

C. aponinum %10 (v/v) biyokütle oranının bulunduğu ortamda Cr(VI) biyosorpsiyonu inkübasyon süresinin ikinci saatinde % 31 verimle gerçekleştirilmiştir.

Biyokütle oranının 2 kat (%20 (v/v)) arttırıldığı ortamda Cr(VI) biyosorpsiyonu inkübasyon süresinin ikinci saatinde % 50 verimle yapılmıştır.

C. aponinum biyokütlesi %30(V/V) oranında kullanılarak ağır metal giderimi yapılan ortamda ise Cr(VI) biyosorpsiyonu inkübasyon süresinin ikinci saatinde en yüksek değere ulaşarak % 69 verimle gerçekleşmiştir.

Başlangıç siyanobakteri biyokütlesi 4 katına çıkartıldığında (%40 (v/v)), Cr(VI) biyosorpsiyon verimi en yüksek değere inkübasyon süresinin ikinci saatinde % 73 verimle meydana gelmiştir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Atıksulardan Cr(VI) gideriminde termofil mikroalg ve siyanobakterilerin kullanıldığı bu tez çalışmasında, en yüksek kapasite ile kirletici giderimi yapan suşun seçimi sağlanarak en iyi Cr(VI) giderimi yaptığı koşullar belirlenmiştir. İzole edilen suşlar içerisinde en yüksek verimle Cr(VI) giderimini (% 30) gerçekleştiren izolat HB suşu olmuştur. Tür tanınması sonucunda HB izolatının, *Oscillatoriothycideae* sınıfına ait *Cyanobacterium aponinum* olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında *C. aponinum* kullanılarak Cr(VI) biyogiderimi ve biyosorpsiyonu çalışılmıştır.

Bu araştırmada, farklı pH'larda (6.5-9.5) canlı *C. aponinum* biyokütlesi ile Cr(VI) biyogiderimi çalışılmıştır. En yüksek Cr(VI) biyogiderimi pH: 9.5'da bulunmuştur. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda da alkali ortamlarda Cr(VI) biyogiderimi yapılmıştır. Dönmez ve Saadettin (2007) *Phormidium* sp. biyokütlesi ile reaktif boya ve Cr(VI) biyogiderimini pH 8.5'ta gerçekleştirmiştir. Sen vd (2017) *Limnococcus limneticus* ve *Leptolyngbya subtilis* ile pH değerleri 7-11 arasında değişen ortamlarda Cr(VI) biyogiderimi yapmış ve en yüksek Cr(VI) biyogiderimini, pH:9 olan ortamda bulmuşlardır. Kushwaha vd. (2014) *Oscillatoria subbrevis* ve *Gloeocapsa atrata* türlerinden oluşan konsorsiyum çalışmasında pH değeri 3-11 arasında değişen değerlerde ortamlar hazırlanmış ve en yüksek verimle Cr(VI) biyogiderimi yapılan pH değeri 9.5 olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada Cr(VI) konsantrasyonlarının (4.9-34.4 mg/L) Cr(VI) biyogiderimine etkisi araştırılmıştır. En yüksek verim başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 4.9 mg/L olan ortamda %25.5 olarak gerçekleşmiştir. Kirletici miktarı arttıkça giderim veriminin düştüğü görülmüştür. Sen vd. 2017 yaptıkları çalışmada da Cr(VI) konsantrasyonunun artmasıyla birlikte Cr(VI) biyogideriminin düştüğü gösterilmiştir. Balaji vd. 2015 *Arthrospira platensis* ile gerçekleştirdikleri çalışmada başlangıç Cr(VI) konsantrasyonunun artmasıyla Cr(VI) indirgenmesinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Yüksek lisans tez çalışmasında, artan biyokütle konsantrasyonlarının Cr(VI) biyogiderimi üzerine etkisi araştırılmış ve en yüksek biyogiderim başlangıç biyokütle

konsantrasyonu %40 (v/v)'a arttırıldığında inkübasyonun ikinci günü (%44) gerçekleştirilmiştir. *Limnococcus limneticus* ve *Leptolyngbya subtilis*'in birlikte kullanıldığı bir çalışmada biyokütle konsantrasyonunun arttırılması ile birlikte Cr(VI) biyogideriminin de arttığı görülmüştür (Sen vd. 2017). Daha önce siyanobakteriyel bir konsorsiyum olan *Gleocapsa atrata* ve *Oscillatoria subbrevis* ile yapılan çalışmada da inokulum miktarının artmasıyla Cr(VI) biyogideriminin arttığı gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada *C. aponinum* kullanılarak Cr(VI) biyosorpsiyon denemeleri de gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde farklı pH, kirletici, biyokütle konsantrasyonlarının Cr(VI) biyosorpsiyonuna etkisi belirlenmiştir.

En yüksek Cr(VI) biyosorpsiyonu ortam pH'sı 2'de bulunmuştur. Literatürlerde siyanobakteriler kullanılarak yapılan Cr(VI) biyosorpsiyon çalışmalarına göre de düşük pH değerlerinde Cr(VI) biyosorpsiyonu yüksek verimle gerçekleşmiştir. Das (2012) *Oscillatoria laete-virens* kullanarak Cr(VI) ve Ni(II) biyosorpsiyonu yaptığı çalışmasında Cr(VI) biyosorpsiyonun en yüksek verimle yapıldığı pH değerini 2 olarak belirlemiştir. Sharma vd. (2011) hidrojen fermentöründe üretilen *Nostoc linkia* biyokütlesi immobilize edilerek kullanmıştır. Aynı çalışmada çeşitli pH değerlerinde (2, 4 ve 6) denemeler yapılmış ortam pH'sı 2 olduğunda en yüksek verimle Cr(VI) biyosorpsiyonu yapıldığı gösterilmiştir. Liv vd. (2008) *Synechococcus* sp. kullanarak yaptıkları çalışmada Cr(VI) ve Pb(II) biyosorpsiyonunu araştırmış ve en yüksek Cr(VI) biyosorpsiyon veriminin ortam pH'sı 2 olduğunda gerçekleştiğini bulmuşlardır. pH çözeltideki ağır metali ve hücre yüzeyindeki bağlanma bölgelerini etkiler. Hücre yüzeyindeki bazı fonksiyonel gruplar (aminler), ağır metallerin negatif yüküyle elektrostatik etkileşime girerler. Asidik pH'larda hücre yüzeyi hidronyum iyonları ile çevrilidir ve bu durum kromun bağlanma ilgisini artırır. Çünkü düşük pH'larda (3 ve civarı) baskın krom formları HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$, $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$ olabilmektedir. Alkali pH değerlerine yaklaşıncı hücrenin yüzeyindeki toplam yük negatif hale gelir ve biyosorpsiyon verimi azalır (Dönmez ve Aksu 2002).

Tez çalışmasında artan Cr(VI) konsantrasyonlarının kirletici giderimine etkisi araştırıldığında ağır metal miktarının artmasıyla biyosorpsiyon veriminin düştüğü

belirlenmiştir. En yüksek verim başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 5.7 mg/L olan ortamlarda % 71.9 olarak bulunmuştur. Daha önce *Dunaliella sp.* ile yapılan bir Cr(VI) biyosorpsiyon çalışmasında, Cr(VI) konsantrasyonunun artmasıyla birlikte mikroalgin yaptığı Cr(VI) biyosorpsiyonunun azaldığı görülmüştür (Dönmez ve Aksu 2002).

Yüksek lisans tez çalışmasında artan biyokütle konsantrasyonlarının Cr(VI) biyosorpsiyonu üzerine etkisi araştırılmış ve en yüksek biyosorpsiyon, başlangıç biyokütle konsantrasyonu %40 (v/v)'a arttırıldığında inkübasyonun ikinci saatinde %73 verimle gerçekleştirilmiştir. *Spirulina sp.* biyokütlesinin artan konsantrasyonlarının Cr(VI) biyosorpsiyonu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada biyokütle konsantrasyonu arttıkça Cr(VI) biyosorpsiyonunun da arttığı gözlemlenmiştir (Rezaei 2016).

Yapılan tez çalışmasında, *C. aponinum*'un Cr(VI) ağır metale karşı oldukça dirençli olduğu ve biyogiderim çalışmalarında etkin sonuçlar vermesi nedeniyle, biyolojik arıtım süreçlerinde kullanım kapasitesi bulabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aksu, Z. and Tezel, S. 2005. Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorellavulgaris*. *Process Biochemistry*,40, 1347-1361.
- Aksu, Z., Ertuğrul, S. and Dönmez, G. 2009. Single and binary chromium(VI) and Remazol Black B biosorption properties of *Phormidium* sp. *Journal of Hazardous Materials* 168;310–318.
- Achal, V., Xiangliang, P. and Daoyong, Z. 2011. Remediation of copper-contaminated soil by *Kocuria flava* CR1, based on microbially induced calcite precipitation. *Ecological Engineering* 37,1601-1605.
- Anonymous. 2017. Web Sitesi :<https://en.wikipedia.org/wiki/Cyanobacteria>, Erişim Tarihi:09.04.2017.
- Anonymous. 2017. Web Sitesi: <http://www.waterresearch.net/index.php/standards/primary-standards>, Erişim Tarihi: 29.04.2017.
- Ağaçayak. T., Zedef, V. and Aydoğan, S. 2004."Topraktepe-Beyşehir (Konya) Kromitlerinin Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma İle Zenginleştirilmesi". Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi 19.
- Al-Homaidan, A.A., Al-Abbad, A.F., Al-Hazzani, A.A., Al-Ghanayem, A.A. and Alabdullatif, J.A. 2016. Lead removal by *Spirulina platensis* biomass. *International Journal of Phytoremediation* 18(2):184-9. DOI: 10.1080/15226514.2015.1073673.
- Coelho, L., M., Rezende Helen, C., Priscila, A.R., Danielle, F.O. Melo and Nívia, M.M. Coelho 2015. Bioremediation of Polluted Waters Using Microorganisms, <http://dx.doi.org/10.5772/60770> (Erişim Tarihi :29/04/2017).
- Bruins Kapil, M.R. and Oehme, F.W. 2000. Microbial resistance to metals in the environment. *Exotoxicology and Environmental Safety*, 45; 198-207.
- Blaby-Haas, C.E. and Merchant, S.S. 2012. The ins and outs of algal metal transport. *Biochim. Biophys. Acta* 1823; 1531–1552.
- Balaji S., Kalaivani, T., Rajasekaran, C., Siva R., Shalini M., Das R., Madnkar V. And Dhamorika P. 2014. Bioremediation Potential of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) against Chromium(VI). *Clean Soil Air Water* 43(7);967–1114.
- Crist, R.H., Oberholser K., Shank N. and Nguyen, M. 1981. Nature of bonding between metallic ions and algal cell walls. *Environ. Sci. Technol.* 15, 1212–1217.
- Das, S. 2012. Biosorption of chromium and nickel by dried biomass of cyanobacterium *Oscillatoria laete-virens*. *International Journal Of Environmental Sciences* 3; DOI:10.6088/ijes.2012030131032.
- Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O. and Egwurugwu, J.N. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *Int. J. Phys. Sci.* 2 (5); 112–118.

- Dönmez, G. and Aksu, Z. 2002. Removal of chromium(VI) from saline wastewaters by *Dunaliella* species. *Process Biochemistry* 38(5) 751–762.
- Ferreira, L.S., Rodrigues, M.S., Monteiro de Carvalho, L., Lodib, A., Finocchiaro, E., Peregob, P. and Convertib, A. 2011. Adsorption of Ni²⁺, Zn²⁺ and Pb²⁺ onto dry biomass of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* and *Chlorella vulgaris*. I. Single metal systems. *Chemical Engineering Journal* 173(2);326–333.
- Gaur, A. and Adholeya, A. 2004. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Curr. Sci.* 86 (4), 528–534.
- Giovanella, P., Cabral, L., Costa, A.P., de Oliveira Camargo, F.A., Gianello, C. and Bento, F.M. 2017. Metal resistance mechanisms in Gram-negative bacteria and their potential to remove Hg in the presence of other metals. *Ecotoxicol Environmen. Saf.* 140;162-169.
- Gupta, V.K. and Rastogi, A. 2009. Biosorption of hexavalent chromium by raw and acid-treated green alga *Oedogonium hatei* from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials* 163; 396–402.
- Gurbuz, F., Ciftci, H. and Akcil, A. 2009. Biodegradation of Cyanide Containing Effluents by *Scenedesmus obliquus* *Journal of Hazardous Materials* 162;74-79.
- Herrera-Estrella, L.R. and Guevara-Garcia, A.A. 2009. Heavy metal adaptation. *eLSEncyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester, pp. 1-9. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470015902.a0001318.pub2>
(Erişim Tarihi:29.04.2017).
- Haroun, B.M., Sharaf, A.M. and Ibraheem, I.B.M. 1995. Evaluation of natural products in some common Egyptian marine algae. *J. Union, Arab. Biol.* 2(B), 137–153, 2nd International Conference 9–11 Sep 1995.
- Ibraheem, I.B.M. 1995. Phytochemical studies on some common algae of El-Sukhna and Abu-Qir Gulf. M.Sc. Thesis, Al-Azhar Univ. Fac. Of Sci. Cairo, Egypt.
- Jing, Y., He, Z. and Yang, X. 2007. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *J. Zhejiang Univ. Sci.* 8, 192–207.
- Kumar, K., Dahms, H., Won Eun-Ji, Lee, J. and Shin Kyung-Hoon. 2015. Microalgae – A promising tool for heavy metal remediation *Ecotoxicology and Environmental Safety* 113;329–352.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur S. 2004. Metallerin Çevresel Etkileri-I. *Metallurji Dergisi*, 136; 47-53.
- Kotas, J. and Stasicka, Z. 2000. Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. *Environ. Pollut.* 107(3); 263-283.
- Kujan, P., Prell, A., Safár, H., Sobotka, M.R.T. and Holler, P. 2006. Use of the industrial yeast *Candida utilis* for cadmium sorption. *Folia Microbiologica.* 51 (4); 257–260.

- Kumar, D., Rai, J. and Gaur, J.P. 2012. Removal of metal ions by *Phormidium bigranulatum* (cyanobacteria)-dominated mat in batch and continuous flow systems. *Bioresource Technology* 104;202–207.
- Kushwaha, D. and Saha, S.D. S.2014. Enhanced Biomass Recovery During Phycoremediation of Cr(VI) Using Cyanobacteria and Prospect of Biofuel Production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 53; 19754–19764.
- Kiran, B., Kaushik, A. and Kaushik, C.P. 2008. Metal–salt co-tolerance and metal removal by indigenous cyanobacterial strains. *Process Biochemistry* 43;598–604.
- Kim E. J., Park S., Hong H.J. and Choia Y. 2011. Biosorption of chromium (Cr(III)/Cr(VI)) on the residual microalga *Nannochloris oculata* after lipid extraction for biodiesel production. *Bioresource Technology* 102(24); 11155–11160.
- Kwak, H., Kim, M.J.Y., Yun, H.K.M., Park, Y.H. and Lee, K.H. 2015. Preparation of bead-type biosorbent from water-soluble *Spirulina platensis* extracts for chromium (VI) removal. *Algal Research* 7; 92–99.
- Li, S., HE, Jin-lan., Huan, H.E. and NIE, Zhen-yuan 2008. Comparative study on biosorption of Pb(II) and Cr(VI) by *Synechococcus* sp. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 18;1336-1342.
- Muter, O., Lubinya, I., Miller, D., Grigorjeva, L., Ventiya, E. and Rapoport, A. 2001. Cr(VI) sorption by inact and dehydrated *Candida utilis* cells in the presence of the other metals. *Process Biochemistry*, 38; 123-131.
- Machado, M.D., Soares, E.V. and Soares, H.M. 2010. Removal of heavy metals using a brewer's yeast strain of *Saccharomyces cerevisiae*: chemical speciation as a tool in the prediction and improving of treatment efficiency of real electroplating effluents. *Journal of Hazardous Materials* 180(1–3) 347–353.
- Mota, R., Pereira, S.B., Meazzini, M., Fernandes, R., Santos, A., Evans, C.A., Philippis, R., Wright, P.C. and Tamagnini, P. 2015 Differential proteomes of the cyanobacterium *Cyanothece* sp. CCY 0110 upon exposure to heavy metals. *Data in Brief* 4;152–158.
- Monteiro, C. and Castro Paula, M.L. 2012. Metal Uptake by Microalgae: Underlying Mechanisms and Practical Applications. *American Institute of Chemical Engineers Biotechnol. Prog.* 28; 299–311.
- Sharma, M., Kaushik, A. and Kaushik, C.P. 2011. Biosorption of chromium(VI) by spent cyanobacterial biomass from a hydrogen fermentor using Box-Behnken model *International Biodeterioration & Biodegradation* 65;656-663.
- Moro, I. and Rocca, L.N. 2007. *Cyanobacterium aponinum*, a new Cyanoprokaryote from the microbial mat of Euganean thermal springs (Padua, Italy). *Algological Studies* 123;1-15.
- Nies, D.H. 1999. Microbial heavy-metal resistance. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 51, 730–750.

- Ogawa, M., Kuroda, K. and Kato, C. 1989. Preparation of montmorillonite-organic intercalation compounds by solid-solid reactions. *Chem Lett* 1659-1662.
- Park, D., Yun, Y., Cho, H., and Park, J.M. 2004. Chromium Biosorption by Thermally Treated Biomass of the Brown Seaweed, *Ecklonia* sp. *Ind. Eng. Chem. Res.* 43(26);8226–8232.
- Perpetuo, E.A., Souza, C.B. and Nascimento, C.A.O. 2011. Engineering bacteriabioremediation. In: Carpi, A. (Ed.), *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering from Analysis and Modeling to Technology Applications*. InTech Publishers, Rijeka, Croatia, pp. 605–632.
- Perales-Vela, V., Hugo Castro Julia'n Mario Pen. and Villanueva, R.O. Canizares. 2006. Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. *Chemosphere* 64;1–10.
- Qian, H., Sun, Z., Sun, L., Jiang, Y., Wei, Y., Xie, J. and Fu, Z. 2013. Phosphorus availability changes chromium toxicity in the freshwater alga *Chlorella vulgaris*. *Chemosphere* 93 (6);885–891.
- Rezaei, H. 2013. Biosorption of chromium by using *Spirulina* sp. *Arabian Journal of Chemistry* doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.11.008> .
- Raouf, N., Abdel, Al-Homaidan, A.A. and Ibraheem, I.B.M. 2012. Microalgae and wastewater treatment, *Saudi Journal of Biological Sciences* 19, 257–275.
- Rawat, I., Kumar, R.R., Mutanda, T. and Bux, F. 2011. Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production, *Applied Energy* 88,3411–3424.
- Rippka, R., Deruelles, J., Waterbury, J. B., Herdman, M. and Stanier, R.Y. 1979. Generic assignments, strain histories, and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J Gen Microbiol* 111, 1–61.
- Srivastava, S. 2007. Phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *J. Dept. Appl. Sci. Hum.* 6, 95–97.
- Singh, A. and Ward, O.P. 2004. *Soil Biology, Volume 2, Biodegradation And Bioremediation* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sen, S., Dutta, S., Guhathakurata, S., Chakrabarty, J.S. Nandi, and Dutta, A. 2017. Removal of Cr(VI) using a cyanobacterial consortium and assessment of biofuel production. *International Biodeterioration & Biodegradation* 119;211-224.
- Sadettin, S. and Dönmez, G. 2007. Simultaneous bioaccumulation of reactive dye and chromium(VI) by using thermophilic *Phormidium* sp. *Enzyme and Microbial Technology* 41;175–180.
- Stillman, M.J. 1995. Metallothioneins. *Coord. Chem. Rev.* 144, 461–511.
- Stockner, J.G. Antia, N.J. 1976. Phytoplankton adaptation to environmental stresses from toxicants, nutrients, and pollutants – a warning. *J. Fish. Res. Board Can.* 33 (9), 2089–2096.
- Snell, F.D. and Snell, C.T. 1959. *Colorimetric methods of analysis*, 3rd edn, Vol 2, D Van Nostrand Company, New York, USA

- Tebbutt, T.H.Y 1983 Relationship between natural water quality and health, International hydrological programme (SC 83/WS/11) Paris.
- Tonietto, A.E., Lombardi, A.T, Vieirab, A.A.H, Parrish, C.C. and Choueri, R.B. 2014. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) exudates: Chemical characterization and complexation capacity for Cu, Zn, Cd and Pb. *Water Research* 49;381–390.
- Taştan, B.E., Ertuğrul, S. and Dönmez, G. 2010. Effective bioremoval of reactive dye and heavy metals by *Aspergillus versicolor*. *Bioresource Technology* 101; 870–876
- Thiele, D.J. 1992. Metal-regulated transcription in eukaryotes. *Nuc. Acids Res.* 20, 1183–1191.
- Vendruscolo, F., Ferreira, G. and Filho, N.R.A. 2016 Biosorption of hexavalent chromium by microorganisms *International Biodeterioration & Biodegradation* 1-9
- Volesky, B. and Holan, Z.R. 1995. Biosorption of heavy metals. *Biotechnol. Prog.* 11,235–250.
- Varshney, P., Mikulic, P., Vonshak, A., Beardall, J. and Wangikar, P.P. 2015. Extremophilic micro-algae and their potential contribution in biotechnology *Bioresource Technology* 184;363–372.
- Yang, J.S., Cao, J., Xing G.Yuan H. 2015. Lipid production combined with biosorption and bioaccumulation of cadmium, copper, manganese and zinc by oleaginous microalgae *Chlorella minutissima* UTEX2341. *Bioresource Technology* 175;537–544.
- Zouboulis, A.I., Loukidou, M.X. and Matis, K.A. 2004. Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metal-polluted soils. *Process Biochemistry*, 39, 909-916.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elif SAFRAN
Doğum Yeri : İstanbul/Kadıköy
Doğum Tarihi : 01/04/1992
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu

Lise : Erenköy Kız Lisesi (2010)
Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü (2014)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı (Eylül 2014 – Mayıs 2017)

Uluslararası Kongre Poster Sunumu

Safran, E., Kılıç Koçberber N., Dönmez G., Chromium (VI) Bioremoval From Wastewaters Using Microalgae Namely *Gonium sp*, The 2nd IWA Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment: The Past, Present, and Future of the World's Water Resource Abstract Book, Page 102, March, 22-24, 2017, İzmir(TURKEY).

Safran, E., Kılıç Koçberber N., Dönmez G., Assessment Of Antimicrobial Activity Of Extracts From *Dunaliella sp*. On Bacteria, The 2nd IWA Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment: The Past, Present, and Future of the World's Water Resource Abstract Book, Page 232, March, 22-24, 2017, İzmir(TURKEY).

Safran, E., Kılıç Koçberber N., Dönmez G. CHROMIUM(VI) BIOREMOVAL BY FILAMENTOUS CYANOBACTERIA HEEP Conference - Budapest, Hungary, 25-27.05.2017.