

**NİKEL İYONLARININ BİYOSORPSİYON
YÖNTEMİYLE GİDERİLMESİNDE *Rhizobium phaseoli*
BAKTERİSİNİN ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Aykut ZEREK

**Yüksek Lisans Tezi
Biyoloji Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Seher GÜR
ARALIK-2011**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİKEL İYONLARININ BİYOSORPSİYON YÖNTEMİYLE GİDERİLMESİNDE
***Rhizobium phaseoli* BAKTERİSİNİN ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut ZEREK

092110102

Anabilim Dalı: Biyoloji
Programı: Moleküler Biyoloji

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Seher GÜR

ELAZIĞ-2011

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİKEL İYONLARININ BİYOSORPSİYON YÖNTEMİYLE GİDERİLMESİNDE
Rhizobium phaseoli BAKTERİSİNİN ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut ZEREK

092110102

Anabilim Dalı: Biyoloji

Programı: Moleküler Biyoloji

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20/12/2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 05/01/2012

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Seher GÜR

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. A. Kadri ÇETİN

Yrd. Doç. Dr. Aslışah AÇIKSES



ARALIK-2011

ÖNSÖZ

Ağır metaller endüstriyel faaliyetler sonucunda oluşan ve bu işlemlerin atık deşarjları sonucunda çevredeki sulara verilen toksik maddelerdir. Ağır metalleri uzaklaştırmak için en çok kullanılan yöntemler adsorpsiyon, kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ters osmoz vb. gibi yöntemlerdir. Bunlar içerisinde adsorpsiyon daha etkili bir yöntemdir fakat bu yöntemde kullanılan adsorbentlerin kolay elde edilebilir, ekonomik ve düşük konsantrasyon da bile etkili olabilmeleri oldukça önemlidir. Son zamanlarda etkin ve ucuz adsorbent kullanımı için yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların başında da mikroorganizmaların adsorbent olarak kullanılması büyük ilgi görmektedir. Mikroorganizmalar kolay elde edilebilir olmaları, adsorpsiyon için uygun olmaları ve yüksek adsorpsiyon kapasitelerine sahip olmaları bakımından avantajlı bir konuma sahiptirler.

Biyosorpsiyon işleminde adsorbent olarak kullanılan mikroorganizmaların başında bakteriler gelir. Bir toprak bakterisi olan *Rhizobium* biyosorpsiyon yönteminde kullanılan önemli bakterilerden biridir. *Rhizobium* türleri toprakta bol miktarda bulunmasından, patojen olmayışından ve özellikle de hücre dışı kısımlarında bol miktarda mukus tabakası içermesinden dolayı biyosorpsiyon yönteminde çok fazla tercih edilen türlerdir.

Bu araştırmada *Rhizobium phaseoli* bakterisi kullanılarak Nikel iyonlarının biyosorpsiyon yöntemiyle giderilmesi amaçlanmıştır.

Bu araştırma süresince beni yönlendiren, yakın ilgisini esirgemeyen, bilgi birikimi ile sürekli beni destekleyen çok değerli Danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Seher GÜR'e, laboratuvar çalışmalarım süresince bana yardımcı olan arkadaşlarım Esra Arslan ve Nida Aslan'a, tüm eğitim-öğretim hayatımda olduğu gibi yüksek lisansım sırasında da hep destekçim olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırma FÜBAP FF.11.15 nolu proje olarak desteklenmiştir.

Aykut ZEREK
ELAZIĞ-2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİ.....	3
2.1. Biyosorpsiyon ve Amacı	3
2.2. Biyosorpsiyonun Avantaj ve Dezavantajları	3
2.3. Biyosorpsiyon Proseslerinde Kullanılan Mikroorganizmalar.....	4
2.4. Metal ile Mikroorganizma Arasındaki Etkileşim Mekanizması.....	6
2.5. Biyosorpsiyon Kinetiği ve İzotermi.....	7
2.6. Biyosorpsiyon Mekanizmaları.....	9
2.6.1. Hücre Metabolizmasına Bağlı Biyosorpsiyon Mekanizmaları.....	11
2.6.1.1. Metabolizmaya Bağlı Biyosorpsiyon.....	11
2.6.1.2. Metabolizmadan Bağımsız Biyosorpsiyon.....	11
2.6.2. Çözeltilerden Uzaklaştırılan Metalin Bulunduğu Yere Göre Biyosorpsiyon Mekanizmaları	11
2.6.2.1. Hücre Membranı İçine Taşınım	11
2.6.2.2. Fiziksel Adsorpsiyon.....	12
2.6.2.3. İyon Değişimi.....	12
2.6.2.4. Kompleks Oluşumu.....	12
2.6.2.5. Presipitasyon (Çökelme).....	13
2.7. Biyosorpsiyonu Etkileyen Faktörler.....	13
2.7.1. pH.....	13
2.7.2. Sıcaklık	14
2.7.3. Biyokütle Miktarı.....	14
2.7.4. Biyokütlenin Ön İşleme Maruz Bırakılması.....	14
2.7.5. Başlangıç Metal Konsantrasyonu.....	15
2.7.6. Karıştırma Hızı.....	15
3. MATERYAL VE METOT.....	18
3.1. Materyal.....	18
3.1.1. Bakteri Kültürleri	18
3.1.2. Besiyerleri.....	18
3.2. Metot.....	18
3.2.1. Biyokütle Üretimi.....	18
3.2.2. Ni Çözeltilisinin Hazırlanması.....	19
3.2.3. Biyosorpsiyon Çalışması	19
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	20
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ.....	42

ÖZET

Sulu ortamlardan ağır metal iyonlarının giderilmesinde kullanılan geleneksel yöntemlerin bazı dezavantajlarından dolayı alternatif yöntemler araştırılmaya başlanmıştır. Bu yöntemlerden biri biyosorpsiyon yöntemidir. Bu yöntemde, canlı ve ölü mikroorganizmalar ile metal iyonları arasında gerçekleşen çeşitli mekanizmalar sonucunda metal iyonu mikroorganizma bünyesine alınarak giderim sağlanmaktadır.

Bu araştırmada, sulu çözeltiden Ni(II) iyonunun uzaklaştırılması amacıyla *Rhizobium phaseoli* bakterisine ait 2 adet izolat ve *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suş adsorplayıcı olarak kullanılmıştır. Biyosorpsiyon çalışmasında başlangıç Ni(II) iyonu konsantrasyonu, pH ve süre parametrelerinin etkisi incelenerek biyosorpsiyon kapasite değerleri hesaplanmıştır.

Biyosorpsiyon çalışması sonucunda, Ni(II) iyonunun en iyi giderildiği parametreler ve biyosorpsiyon kapasiteleri *Rhizobium phaseoli* 23F izolatında pH 4'te 150 mg/l konsantrasyonda 90. dakikada 21.00 mg/g; *Rhizobium phaseoli* 38F izolatında pH 3'te 250 mg/l konsantrasyonda 120. dakikada 34.49 mg/g; *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suş'ta pH 5'te 250 mg/l konsantrasyonda 30. dakikada 19.99 mg/g olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Rhizobium phaseoli*, Biyosorpsiyon, Ağır Metal

SUMMARY

A Study on the Effect of the Bacteria of *Rhizobium phaseoli* for the Removal of Nickel Ions with the Method of Biosorption

Due to some disadvantages of heavy metal removal from aqueous systems by conventional methods, alternative methods have been investigated. Biosorption is one of these methods. In this method, metal ions are transported into cell structure, and removal is ensured by several mechanisms that occurred between living and non-living microorganisms and metal ions.

In this study, two adsorptive isolates belonging to *Rhizobium phaseoli* and the strain adsorptive which is called as *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 have been used in order to remove Ni(II) ion from aqueous solution. In biosorption study, the effect of the initial Ni(II) ion concentration, pH and time parameters have been examined and the capacities of biosorption values have been measured.

As a result of biosorption study, the best removal parameters and biosorption capacities have been determined as 21.00 mg/g, in pH 4, in 150 mg/l concentration, in 90th minute, in *Rhizobium phaseoli* 23F isolate; 34.49 mg/g, in pH 3, in 250 mg/l concentration, in 120th minute, in *Rhizobium phaseoli* 38F isolate and 19.99 mg/g, in pH 5, in 250 mg/l concentration, in 30th minute, in *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 strain.

Key Words: *Rhizobium phaseoli*, Biosorption, Heavy Metal

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Metal ile mikroorganizma arasındaki etkileşim mekanizmaları.....	7
Şekil 2. Biyosorpsiyon mekanizmaları.	10

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.	Bazı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan alg türleri.....	5
Tablo 2.	Bazı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan mantar türleri.....	5
Tablo 3.	Bazı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan bakteri türleri.....	5
Tablo 4.	pH 3'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki Ni(II) ölçümleri.....	20
Tablo 5.	pH 3'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki biyosorpsiyon kapasite değerleri....	23
Tablo 6.	pH 4'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki Ni(II) ölçümleri.....	24
Tablo 7.	pH 4'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki biyosorpsiyon kapasite değerleri....	26
Tablo 8.	pH 5'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki Ni(II) ölçümleri.....	27
Tablo 9.	pH 5'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki biyosorpsiyon kapasite değerleri....	30
Tablo 10.	pH 6'da farklı süre ve konsantrasyonlardaki Ni(II) ölçümleri.....	31
Tablo 11.	pH 6'da farklı süre ve konsantrasyonlardaki biyosorpsiyon kapasite değerleri....	33

1. GİRİŞ

Son yıllarda nüfustaki hızlı artış, enerji ve besin yetersizliği, düzensiz kentleşme, insanların aşırı tüketim isteği ve hızla gelişen teknolojik ilerlemeler, çevre kirliliği sorununun önemini iyice hissettirir hale getirmiştir. Söz konusu sorunların çözülmesinde önemli rol oynayan teknolojik gelişmeler, insanlığın yararına birçok yeni ve alternatif ürünler sunarken küçümsenmeyecek oranda nitel-nicel yönden oldukça farklı atıklar oluşturmaktadır [1-3].

Çevre kirliliği yüzyılımızın en önemli problemlerinden birini oluşturmaktadır. Sanayileşme ve nüfus artışının olmadığı 1900'li yıllardan önce oluşan atıklar, ortamın biyolojik ayrıştırma kapasitesinin altında kaldığı için bu ortamlarda doğal olarak parçalanıp bertaraf edilerek canlılar üzerinde zarar oluşturmada tekrar ekolojik dolaşımlara sokulmaktaydı. Hızlı nüfus artışı ve sanayileşme sonucu oluşan evsel ve endüstriyel atıklar, aşırı yoğunlaştırılarak alıcı ortamlara verilmek suretiyle alıcı ortamın biyolojik ayrıştırma kapasitesi aşıldığından bu ortamlarda çevre kirliliği oluşturmaktadır [4, 5].

Çevre kirlenmesine neden olan atıklar içinde organik ve inorganik kaynaklı kirleticiler bulunmaktadır. İnorganik kirleticilerden ağır metaller (Ni, Cd, Cr, Cu, Hg, Zn gibi) ortamda düşük miktarda bulunsalar bile canlılar üzerinde olumsuz etkilere sahiptirler ve belli bir değerin üzerinde bulunurlarsa toksik etki gösterirler [6].

“Ağır metal” terimi yoğunluğu 5 g/cm^3 'den daha büyük olan, düşük konsantrasyonlarda bile toksik etki gösterebilen metalik kimyasal elementleri ifade etmektedir [7, 8]. Ağır metaller yer kabuğunun doğal bileşenlerindendir. Bu metaller, erozyon, maden yataklarının taşınması, rüzgar, volkanik patlamalar ve orman yangınları gibi doğal olaylar ile elektro-kaplama, otomobil endüstrisi, elektriksel ve elektronik materyallerin üretilmesi ve kullanılması, batarya, seramik, matbaacılık, frezecilik, plastik üretimi, pigment, fotoğraf, boru, silah, lastik, film ve metalurjik gelişmeler gibi çeşitli insan aktiviteleriyle çevreye yayılmaktadır [8-11]. Diğer kirleticilerle karşılaştırıldığında metallerin daha önemli olması bu maddelerin sulu ortamda biyolojik olarak ayrışamamasından kaynaklanır [12, 13]. Ağır metaller ile kirletilen atıksular, genellikle BOİ (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı) değeri düşük, asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için oldukça zehirli etkiye sahip, inorganik karakterli sulardır [5, 14].

Hemen hemen bütün metaller; su içinde yaşayan organizmaların yanı sıra, maruziyet seviyesi yeterince yüksekse insanlar için de toksik etki gösterirler. Bu nedenle insan sağlığı ve su ekosistemleri üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı metal iyonları çeşitli yöntemlerle su ve atık sulardan giderilmelidir [12, 13].

Ağır metallerin gerek endüstriyel atık sulardan ve gerekse ağır metal ile kirletilmiş çevresel su kaynaklarından uzaklaştırılmasında kullanılan geleneksel yöntemler; kimyasal çöktürme, iyon değişimi, aktif karbon ile adsorpsiyon, ters osmoz, filtrasyon ve membran teknolojileri şeklinde sıralanabilir. Bu geleneksel metodlar ile ortamda bulunan metaller tam olarak giderilemeyebilir. Bunun dışında bu tekniklerin; pahalı ekipman ve takip sistemleri gerektirmesi, fazla kimyasal ve enerji ihtiyacının olması, toksik çamur ve diğer atık ürünler oluşturması, arıtım süreçlerinin zorluklar içermesi, arıtım verimliliğinin düşük olması gibi dezavantajları vardır [15-17]. Bu nedenlerden dolayı metal iyonlarının sulu ortamlardan giderilmesi üzerine farklı teknolojiler geliştirmek günümüzde önemli bir araştırma konusudur. Bu konuda geliştirilen yöntemlerden biri biyosorpsiyon yöntemidir [13].

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda mikroorganizmaların çevreyi kirleten metallerin temizlenmesinde büyük bir rol oynayabileceği bulunmuştur. Bundan yola çıkarak son yıllarda ağır metal içeren atık suların arıtımında biyolojik yöntemlerin; etkili, pratik ve ekonomik olmaları nedeniyle konvansiyonel fiziksel-kimyasal arıtım yöntemlerine tercih edilmekte ve bilimsel araştırmalar bu yönde ağırlık kazanmaktadır. Biyolojik süreçlerle metal arıtımı, özellikle mikrobiyal hücrelerle yapılan metal biyosorpsiyonu etkili ve alternatif bir teknoloji oluşturacak güçtedir [2]. Ağır metallerin uzaklaştırılması için temelde kullanılan mikroorganizmalar mayalar, funguslar, algler ve bakterilerdir.

Bu araştırmada, Elazığ yöresinden izole edilmiş *Rhizobium phaseoli* bakterisine ait 2 adet izolat ve *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suş kullanılarak nikel iyonlarının biyosorpsiyon yöntemiyle giderilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİ

2.1. Biyosorpsiyon ve Amacı

Biyosorpsiyon belirli türde biyokütle tarafından bir çözeltideki metallerin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir [18]. Biyosorpsiyon yönteminde canlı ve ölü mikroorganizmalar ile metal iyonları arasında gerçekleşen çeşitli mekanizmalar sonucunda metal iyonu mikroorganizma bünyesine alınarak giderim sağlanmaktadır [3]. Canlı ve ölü biyokütlenin yanı sıra, polisakkaritler gibi hücrel ürünler de metal giderimi için kullanılabilirler [18].

Metallerle biyosorpsiyon sürecinin temelde iki amacı vardır. Birincisi altın, gümüş ve platin gibi ticari değere sahip paslanmaz metallerin geri kazanımı; ikincisi ise canlı sistemleri ve çevresi için çok küçük derişimler de bile son derece toksik olan civa, bakır, demir, kurşun, krom, kadmiyum, nikel ve çinko gibi ağır metallerin kirlı sulardan uzaklaştırılmasıdır. Arıtım sistemlerinde özellikle biyolojik arıtım süreçlerinde mikroorganizmaların kullanılması arıtımın daha etkili ve randımanlı yapılmasını da sağlamaktadır [2].

2.2. Biyosorpsiyonun Avantaj ve Dezavantajları

Toksik ağır metal kirliliklerinin giderimi için kullanılan konvansiyonel arıtma teknolojilerine bir alternatif olarak uygulanmaya ve araştırılmaya başlanan biyosorpsiyon prosesleri bu teknolojiler üzerinde sağladığı avantajlardan dolayı son yıllarda giderek önem kazanmaya başlamıştır [19].

Biyosorpsiyon teknolojisinin en önemli avantajları atık sulardaki ağır metal konsantrasyonlarını çok düşük seviyelere indirmekteki etkinliği ve bol miktarda kolayca üretilen, ekonomik biyosorbent materyallerin kullanılmasıdır. Bu biyosorbentler metal iyonlarının giderilmesinde yüksek seçiciliğe sahiptirler. Ayrıca bu yöntem ile çok seyreltik sulardan bile kirleticiler etkili bir şekilde giderilebilmektedir. Biyosorpsiyon yönteminin diğer avantajları ise bu yöntemin yerinde uygulanabilen bir yöntem olması, çok özel dizaynlar ve endüstriyel işlemler gerektirmemesi ve birçok sistemle ekonomik bir şekilde birleştirilebilmesidir [3, 13]. Diğer konvansiyonel teknolojilerle kıyaslandığında en büyük avantajı maliyet açısından sunan biyosorpsiyon proseslerinin nispeten yeni bir teknoloji olmasından doğan dezavantajları da söz konusudur. Bu dezavantajlar arasında ilk olarak

metal iyonları ile biyokütle arasında gerçekleşen etkileşimin mekanizmasının iyi anlaşılması için olabildiğince fazla araştırma-geliştirme çalışması yapmak gerekmektedir. Bunun yanı sıra deneysel ölçekte gerçekleştirilmiş olan çok sayıda çalışmaya rastlanırken gerçek boyutta gerçekleştirilen az sayıda uygulamanın bulunması biyosorpsiyon teknolojisinin diğer bir dezavantajını oluşturmaktadır [20].

2.3. Biyosorpsiyon Proseslerinde Kullanılan Mikroorganizmalar

Bazı mikroorganizmaların metalleri akümüle etme yeteneğine sahip olduğu 1980'lerin ilk yıllarında ortaya konmuştur. Toksikolojik bakış açısıyla pek çok araştırma yayınlanmış, fakat bu araştırmalar canlı hücrelerin aktif metabolizmasından kaynaklanan akümülyasyonun, mikrobiyal hücrelerin metabolik aktiviteleri üzerine metallerin etkileri ve gıda zincirindeki akümülyasyonun sonuçları ile ilgiliydi [2, 21].

Ancak daha sonra yapılan pek çok araştırma, inaktif/ölü mikrobiyal biyokütlelerin pasif bir şekilde çeşitli fizikokimyasal mekanizmalarla metallerle bağlanabildiğini ortaya çıkarmıştır. Bu yeni bulgularla birlikte biyosorpsiyonla ilgili çalışmalar, metallerin uzaklaştırılması için önerilen farklı orjinli birçok biyosorbentin bulunmasıyla hız kazanmaya başlamıştır. Araştırmalar biyosorpsiyonun sadece biyokütlenin kimyasal kompozisyonuna veya tipine bağlı olmadığını aynı zamanda dış fizikokimyasal faktörler ve solüsyonun kimyasına da bağlı olduğunu göstermiştir [2, 22].

1985'ten itibaren bazı biyokütle çeşitlerinin metal bağlama kapasitelerinin değerlendirilmesi hız kazanmıştır. Metal biyosorpsiyonunda etkin olarak kullanılacak biyolojik moleküller, oldukça geniş bir spektruma sahiptir. Bazı biyosorbentler belirli önceliği olmadan ağır metallerin büyük miktarını bağlayabilir ve biriktirebilir, bazıları da belirli metal tipleri için spesifiktir. Metal uzaklaştırması için temelde kullanılan biyosorbentler; bakteriler, funguslar, mayalar, algler, endüstriyel atıklar, tarımsal atıklar ve polisakkarit materyallerdir [2, 23, 24].

Bazı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan alg, mantar ve bakteri türleri sırasıyla Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir [3, 25].

Tablo 1. Bazı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan alg türleri

Alg Türü	Metal İyonu
<i>Chlorella emersonii</i>	Cd (II)
<i>Sargassum muticum</i>	Cd (II)
<i>Ascophyllum sargassum</i>	Pb(II), Cd(II)
<i>Ulva sp.</i>	Cu (II)
<i>Ecklonia sp.</i>	Cu (II)

Tablo 2. Bazı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan mantar türleri

Mantar Türü	Metal İyonu
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Ni (II), Pb (II)
<i>Aspergillus niger</i>	Cd
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Ur (VI)
<i>Aspergillus terreus</i>	Cu
<i>Penicillium chrysogenum</i>	Au

Tablo 3. Bazı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan bakteri türleri

Bakteri Türü	Metal İyonu
<i>Bacillus polymyxa</i>	Cu
<i>Bacillus coagulens</i>	Cr (VI)
<i>Escherichia coli</i>	Hg
<i>Escherichia coli</i>	Cu, Cr, Ni
<i>Pseudomonas türleri</i>	Cr(VI), Cu(II), Cd(II), Ni (II)

Mikrobiyal kaynakların dışında yün, pirinç, çilek, hindistan cevizi kabuğu, atık kahve, alg, atık çay, ceviz ağacı kabuğu, keten tohumu kabukları, buğday kepeği, sert kereste testere tozu, soya fasulyesi kabukları gibi tarımsal ürünlerin iyi birer biyokütle kaynağı oldukları kanıtlanmıştır [2, 25].

Yaşayan (canlı) ve yaşamayan (ölü) mikroorganizmalar seçici olarak atıksulardaki inorganik iyonları biriktirme ve ayırmada yüksek bir potansiyele sahiptir [26]. Kurutulmuş cansız veya kimyasal olarak ön işleme maruz bırakılmış mikroorganizmaların atık sulardan ağır metal iyonlarının giderimini kapsayan endüstriyel uygulamalarda kullanımı, canlı mikroorganizmaların kullanımına kıyasla bir alternatif olarak görülmektedir [20].

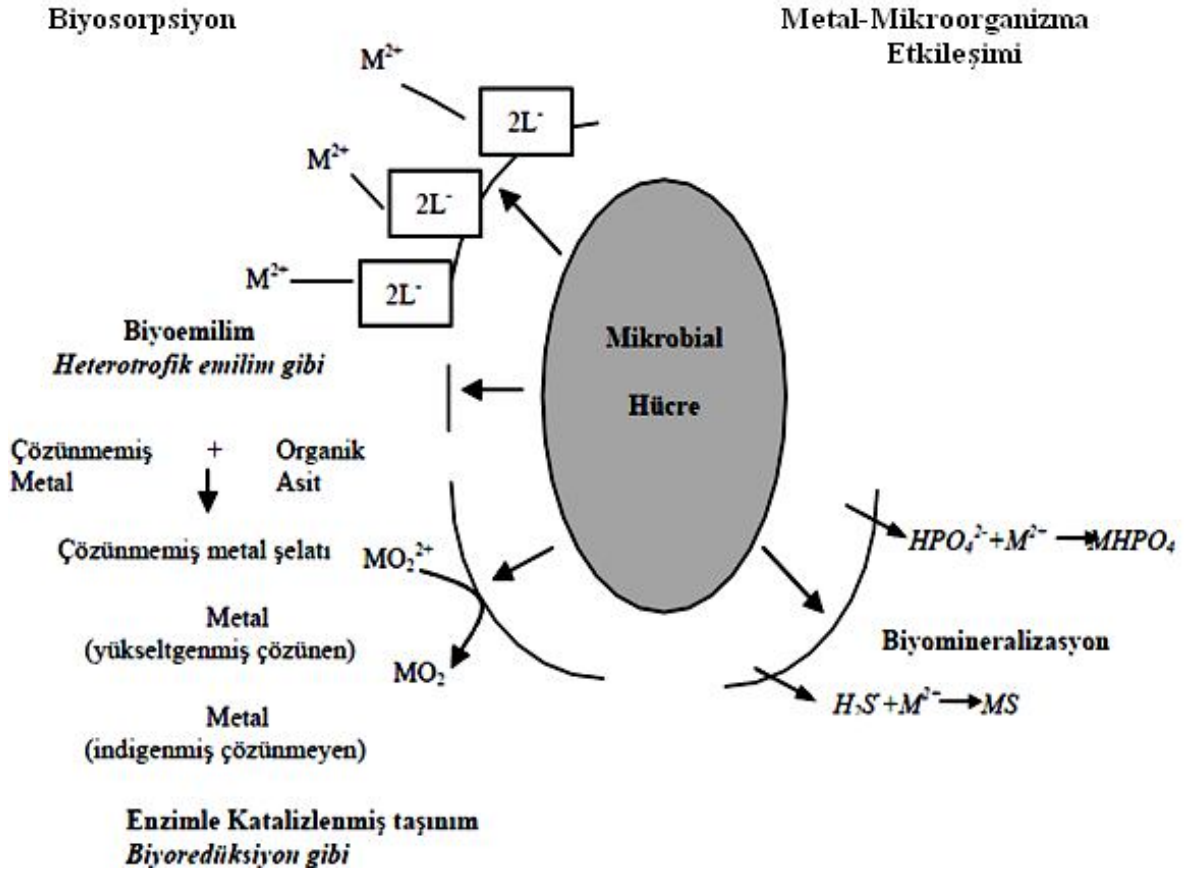
Mikroorganizmaların üreme ve metali bağlamada ortam koşullarının aynı olmaması, ayrıca metal derişimlerinin çok yüksek olduğu veya metal iyonlarının önemli miktarlarının mikroorganizma tarafından adsorbe edildiği zaman, mikroorganizma üremesinin inhibe oluşu, canlı sistemlerle çalışmada önemli kısıtlamalar getirmektedir. Bu sebeple ölü mikroorganizmaların metal adsorpsiyonunda kullanımı düşünülmüş, yaşamayan biyokütlenin yaşayan hücrelerinden daha fazla miktarda metali adsorpladığı gözlenmiştir [26]. Ayrıca canlı biyokütleyle nazaran ölü biyokütleler; uzun süre oda sıcaklığında saklanabilirler, metal toksisitesinden etkilenmezler ve nutriende ihtiyaç duymazlar. Bunların dışında biyokütlenin fiziksel veya kimyasal işlemlerle öldürölmesi ve bazı ön işlemlere tabi tutulması biyosorpsiyon kapasitesini arttırabilir [13]. Canlı hücreler ise, ağır metallerin hücre ölümüne sebep olan toksik etkisine belli bir limite kadar dayanabilmektedir [20]. Metal biyosorpsiyon deneyleri için biyokütle seçerken, biyokütlenin kaynağı en büyük faktör olarak göz önüne alınmalıdır. Biyokütle kaynakları; endüstriyel atıklar, doğada fazla miktarda bulunan organizmalar, hızlı büyüyen, yetiştirilebilen veya biyosorpsiyon amaçlı üretilebilen organizmalar olmalıdır [13, 26].

2.4. Metal ile Mikroorganizma Arasındaki Etkileşim Mekanizması

Biyosorpsiyon veya biyoadsorpsiyon metallerin biyokütle ile pasif olarak hareketsizleştirilmesidir. Hücre yüzeyinde gerçekleşen giderim olayının mekanizması hücre metabolizmasından bağımsızdır. Bu prosesin giderim mekanizmaları metal ile hücre yüzeyindeki fonksiyonel gruplar arasındaki fizikokimyasal etkileşimlere dayanır.

Biyosorpsiyon işlemi; metabolizmadan bağımsız pasif birleşme (topaklaşma) proseslerinin ve fiziksel veya kimyasal adsorpsiyon, iyon değişimi, koordinasyon, kompleksleştirme, şelat oluşumu ve mikroçökelme proseslerinin birleştirilmiş bir yöntemi olarak düşünülebilir. Biyokütlenin hücre duvarları; polisakkaritler, proteinler ve yağlardan oluşur. Ayrıca metal iyonlarıyla bağ yapabilen; karboksilat, hidroksil, sülfat, fosfat ve amino gibi çeşitli fonksiyonel gruplar içerir. Metal iyonları bu gruplar ile fiziksel ve kimyasal bağlar yaparak veya hücre zarı üzerinde gerçekleşen iyon değişimi ile tutulabilirler [13].

Şekil 1’de metal ile mikroorganizma arasındaki etkileşim mekanizması şematik olarak gösterilmiştir [27].



Şekil 1. Metal ile mikroorganizma arasındaki etkileşim mekanizmaları

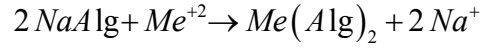
2.5. Biyosorpsiyon Kinetiği ve İzotermi

Biyosorpsiyon olayının kinetiği iki basamaktan oluşur. Birinci basamak, organizma yüzeyinde gerçekleşen fiziksel adsorpsiyon veya iyon değişimini içerir. Bu basamak çok hızlıdır ve mikroorganizma metal ile etkileştikten kısa bir süre sonra denge oluşur. Hızlı giderim genellikle yüzey adsorpsiyonu sonucu gerçekleşir. Bu basamağa pasif giderim denir [13].

Mikroorganizmanın, sulu ortamdan hücre yüzeyine metal adsorplamasını açıklamaya çalışan çeşitli hipotezler ileri sürülmüştür. Bunlar;

1) Metal iyonları hücre yüzeyindeki negatif reaksiyon alanları ile kompleks oluşturarak veya aynı yüke sahip reaksiyon alanları ile yer değiştirerek adsorplanabilir. Bu olaya iyonik adsorpsiyon denir. Hücre duvarındaki polisakkaritler, sülfat, amino ve karboksil gruplarını içerir. Alg kökenli polisakkaritlerin çoğu, örnek olarak kahverengi ve

kırmızı deniz alglerinin yapısal bileşeni Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi metal iyonlarının tuzlarından oluşmaktadır. Çift değerlikli metal iyonları, polisakkaritlerin aynı yüklü iyonlarıyla yer değiştirir. Alg yapısında bulunan sodyum aljinatın metal iyonu ile yer değiştirmesi aşağıdaki mekanizmayla oluşur.



2) Bazı mikroorganizmalar hücrelerinin dış zarlarından uzanan polimerler sentezleyebilirler, bu polimerler çözeltiden metal iyonlarını bağlayabilme yeteneğine sahiptirler.

3) Hücre duvarındaki proteinler metali bağlamak üzere aktif bölgeler oluştururlar. Ağır metallerin proteinlere karşı kuvvetli ilgisi vardır. Proteinlerin peptid bağlarının azot ve oksijeni, hidroksil, amino, fosfat gibi grupları, iyonların, metal iyonları ile yer değiştirmesi için uygundur. Proteinlerin en küçük molekül birimleri aminoasitlerdir. Aminoasitler birleşerek daha büyük yapıda peptid ve proteinleri oluştururlar. Her aminoasit çözeltisi için, asit ve baz etkilerinin birbirine eşit olduğu, çift iyon konsantrasyonunun maksimum, anyon ve katyon konsantrasyonlarının ise minimum olduğu bir pH değeri vardır. Bu pH'a izoelektrik nokta denir. Pozitif yüklü metal iyonları izoelektrik noktanın altında katyonik bir karakter taşıyan protein moleküllerinin içerdiği grupların aynı yüklü iyonlarıyla yer değiştirerek, izoelektrik noktanın üstündeki pH'larda ise negatif yüklü reaksiyon alanlarıyla kompleksler oluşturarak adsorplandıkları düşünülebilir. Bu durumda birinci ve üçüncü hipotezin birbirini izleyen veya çift iyon durumunda birlikte oluşan iki adsorplama mekanizması olması mümkündür.

4) Bazı mikroorganizmaların yüzeylerinde yüksek molekül ağırlıklı polifosfatlar veya kimyasal olarak bunlara benzeyen gruplar, metali kompleksleri şeklinde kendilerine bağlarlar. Örnek olarak *Citrobacter cp.* hücrelerinde bulunan organik fosfat, ağır metalin, hücreye bağlı metal fosfat olarak çökmesini sağlar [4, 5, 28].

Metal alımında ikinci basamağa ise aktif giderim denir. Bu basamak; metal iyonlarının hücre zarından içeri taşınımını içeren, metabolik aktiviteye bağlı, daha yavaş, hücre içi giderim basamağıdır.

Ağır metal iyonlarının mikroorganizma yüzeyine tutunması adsorpsiyon izotermi ile gösterilebilen tersinir bir taşınım olayıdır. Adsorpsiyon izotermi biyosorpsiyon olayını ifade eden hız denklemleridir. Biyosorpsiyon sırasında hız denklemi, biyokütle yüzeyine adsorplanan metal iyonu miktarı (q_d) ve çözeltide adsorplanmadan kalan metal iyonu miktarı (C_d) arasında kurulur.

Biyosorpsiyon dengesi, su ve atıksu arıtma uygulamaları verilerinin analiz edilmesinde yaygın olarak kullanılabilen Langmuir veya Freundlich adsorpsiyon izotermi ile gösterilebilir.

Langmuir denklemi, biyokütle yüzeyinin tekli tabaka halinde kaplanması durumunda geçerlidir. Bu denklem aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$q_d = (Q^o b C_d) / (1 + b C_d)$$

Burada;

q_d : Biyokütle yüzeyine adsorplanan metal iyonu miktarı,

C_d : Çözeltilerde adsorplanmadan kalan metal iyonu miktarı,

Q^o : Adsorplayıcı yüzeyinin tek tabaka halinde kaplanması durumunda biyokütlenin birim miktarı için gerekli maksimum metal iyonu miktarı,

b : Adsorpsiyon entalpisi ile ilgili bir sabit.

Freundlich denklemi ise heterojen bir yüzey üzerindeki adsorpsiyonu temel alır. Bu denklem de aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$q_d = K_F C_d^{1/n}$$

Burada;

K_F : Biyokütlenin adsorpsiyon kapasitesi,

n : Adsorpsiyon şiddeti (kapasitesi) üzerine derişimin etkisi.

Freundlich izotermi çok yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, Langmuir modelinin aksine tekli tabaka adsorpsiyon kapasitesi hakkında bilgi vermez.

Langmuir ve Freundlich denklemlerindeki K_F , n , Q^o , b değerlerini tayin etmek için bu eşitlikler doğrusallaştırılır. Freundlich eşitliğinin doğrusallaştırılmasıyla eğimi $1/n$ ve kayması $1/n K_F$ olan bir doğru elde edilir. Langmuir eşitliğinin doğrusal şekli, eğimi $1/Q^o b$ ve kayması $1/Q^o$ olan bir doğru denklemdir [13].

2.6. Biyosorpsiyon Mekanizmaları

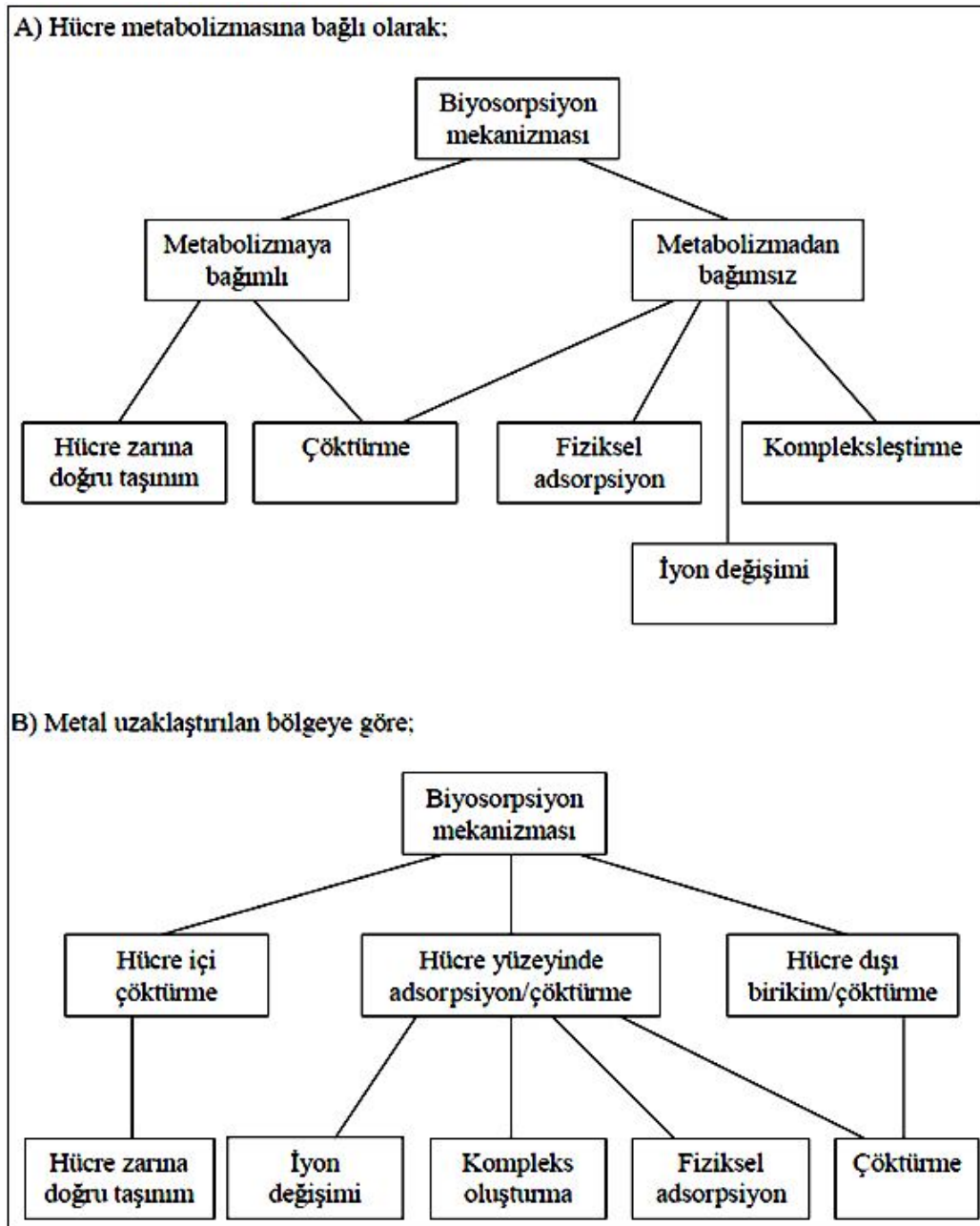
Mikroorganizmaların hücre yapılarının çok kompleks oluşu, hücrelerin metalleri bağlamasının birçok yolu olduğunu düşündürmektedir. Biyosorpsiyon işleminin mekanizması henüz tam olarak anlaşılamamıştır, ancak farklı açılardan değerlendirmelerle, aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapılmıştır [29].

A) Hücre metabolizmasına göre biyosorpsiyon mekanizması 2'ye ayrılır;

1. Metabolizmaya bağlı
2. Metabolizmadan bağımsız

B) Çözeltilerden uzaklaştırılan metalin bulunduğu yere göre biyosorpsiyon 3'e ayrılır;

1. Hücre dışı birikim / presipitasyon
2. Hücre yüzeyinde sorpsiyon / presipitasyon
3. Hücre içi birikim



Şekil 2. Biyosorpsiyon mekanizmaları [29].

2.6.1. Hücre Metabolizmasına Bağlı Biyosorpsiyon Mekanizmaları

2.6.1.1. Metabolizmaya Bağlı Biyosorpsiyon

Metabolizmaya bağlı faz genelde daha yavaştır (saatler veya günler alır) ve düşük sıcaklık, enerji kaynağı (ışık) yetersizliği, metabolik inhibitörler tarafından engellenebilir ve hücrelerin yaşamına ve büyüme ortamının karakteristiğine etki edebilir [26].

2.6.1.2. Metabolizmadan Bağımsız Biyosorpsiyon

Metal ve hücre yüzeyindeki fonksiyonel gruplar arasındaki fizikokimyasal etkileşim sırasında fiziksel adsorpsiyon, iyon değişimi ve kompleks oluşumu gerçekleşir ve buna hücre yüzeyinde sorpsiyon denir. Bu olay metabolizmadan bağımsızdır. Mikrobiyal biyokütlenin hücre duvarı büyük oranda polisakkarit, protein ve yağ içerir, çok sayıda metal bağlama fonksiyonel grubuna sahiptir. Bu gruplar; karboksilik, hidroksil, sülfat, fosfat ve amino gruplarıdır. Bu fizikokimyasal metal biyosorpsiyonu, metabolizmadan bağımsızdır ve nispeten hızlıdır. Bu mekanizmada metaller geri kazanılabilir. En yaygın olan bu mekanizmada, biyokütle iyon değiştirici reçine veya aktif karbonla aynı kimyasal özellikleri gösterir ve böylece biyosorpsiyonun endüstriyel uygulamalarında kullanılması avantajlı olur [26].

2.6.2. Çözeltiden Uzaklaştırılan Metalin Bulunduğu Yere Göre Biyosorpsiyon Mekanizmaları

2.6.2.1. Hücre Membranı İçine Taşınım

Ağır metalin hücre membranına taşınımı hücre metabolizmasıyla ilişkilidir. Bazı toksik metallerin yüksek konsantrasyonda bulunması halinde bu metallerin biyosorpsiyonunu incelemek zordur. Bu nedenle bu tip mekanizma konusunda yeterli bilgi yoktur. Mikrobiyal hücre membranlarına ağır metal taşınımı bazı metabolik olarak önemli olan K, Mg ve Na iyonlarının taşınımı için geçerli olan mekanizmanın aynısıyla gerçekleşir. Ortalama aynı yüke ve iyon yarıçapına sahip ağır metal iyonlarının bulunması durumunda metal taşınım sistemi karışıklığa neden olabilir. Bu tip bir mekanizma çoğunlukla metabolik aktiviteyle ilişkisi olmayan biyosorpsiyon olayı ile yarışır bir şekilde gerçekleşir. Canlı mikroorganizmalar kullanılarak biyosorpsiyon yoluyla ağır metallerin tutunması iki adımda gerçekleşir. Birinci adımda ağır metal metabolizmadan bağımsız olarak hücre duvarlarına bağlanır, ikinci adımda metabolizmaya bağlı olarak metal iyonları hücre içerisindeki membranlara taşınmak suretiyle metal iyonları hücre içerisinde tutunur [30].

2.6.2.2. Fiziksel Adsorpsiyon

Bu kategorideki olaylar Van der Waals kuvvetlerinin varlığıyla ilişkilidir. 1966 yılında yapılan çalışmada su ortamında mevcut radyoaktif çekirdeklerin denizde yaşayan mikroorganizmalarda direk adsorpsiyon yoluyla toplandığı gösterilmiştir [31]. Tsezos ve Volesky, *Rhizopus arrhizus* mantar biyomasını kullanarak biyosorpsiyon yoluyla toryum ve uranyum tutunduğunu doğrulamıştır. Bu işlem kitinin hücre duvar yapısında ağır metallerin fiziksel tutunması yoluyla gerçekleşmiştir [32, 33]. Kuyucak ve Volesky, alg, mantar ve maya ölü biyomaslarını kullanarak uranyum, kadmiyum, çinko, bakır ve kobalt metallerinin hücre duvarı ile metal iyonu arasındaki elektrostatik etkileşim yoluyla tutunduğunu varsaymışlardır [34]. Bunun dışında birçok ağır metalin, alg, bakteri ve mantar üzerindeki biyosorpsiyon işleminin elektrostatik etkileşim yoluyla gerçekleştiği gösterilmiştir [30].

2.6.2.3. İyon Değişimi

Mikroorganizmaların hücre duvarları temel yapı taşları olarak polisakkarit içerirler. Doğal polisakkaritlerin iyon değiştirme özellikleri detaylı olarak çalışılmış ve +2 yüklü metal iyonlarının polisakkarit iyonlarıyla yer değiştirdiği gözlenmiştir [31]. Deniz algleri içerisinde genellikle K^+ , Na^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının doğal tuzlarını içerirler. Bu metalik iyonlar, bunlara karşılık gelen Co^{+2} , Cu^{+2} , Cd^{+2} ve Zn^{+2} gibi iyonlarla yer değişir ve sonuçta metallerin biyosorpsiyonu gerçekleşir [34]. Friis ve Myers-Keith uranyum ve kurşunun, *Streptomyces longwoodensis* ile biyosorpsiyonunun iyon değişimi ile gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Buradaki iyon değişimi, metal iyonlarıyla, hem hücre duvarı hem de sitoplazmada bulunan fosfor kalıntıları arasında gerçekleşir [35]. İyon değişimi ayrıca mantar *Ganoderma lucidum* ve *Aspergillus niger* ile bakır biyosorpsiyonunda etkili bir mekanizmadır [36, 37].

2.6.2.4. Kompleks Oluşumu

Çözeltilerden metalin uzaklaştırılması biyosorbentin aktif grupları ile metal iyonu arasındaki etkileşim sonrası hücre yüzeyinde kompleks oluşumu yoluyla gerçekleşir. Metal iyonları tek dişli ligantlara veya şelat oluşturma şeklinde bağlanabilir [38]. Toryum ve uranyumun *Rhizopus arrhizus* üzerindeki biyosorpsiyonu sadece fiziksel adsorpsiyonla değil aynı zamanda kitin hücre duvar ağının Azot atomuyla bu metal iyonlarının koordinasyonu sonucu kompleks oluşumu şeklinde de gerçekleştiği gösterilmiştir [31]. *C. vulgaris* ve *Z. ramigera* üzerinde Cu biyosorpsiyonunun hem adsorpsiyon yoluyla ve aynı

zamanda da polisakkarit hücre duvarının amino ve karboksil gruplarıyla metal iyonları arasındaki koordinasyon bağı oluşturma şeklinde gerçekleştiği gösterilmiştir [39]. *Pseudomonas syringae* üzerinde Ca, Mg, Cd, Zn, Cu ve Hg iyonlarının toplanmasında sadece kompleksleşme mekanizmasının sorumlu olduğu ifade edilmiştir [38].

2.6.2.5. Presipitasyon (Çökelme)

Presipitasyon hücre metabolizmasına bağlı olabilir ya da ondan bağımsız olabilir. Hücre metabolizmasına bağlı olması halinde çözeltilerden metallerin uzaklaşması çoğu kez mikroorganizmanın aktif karşı koyma sistemiyle ilişkilidir. Toksik bir metalin varlığında reaksiyon meydana gelir. Bu reaksiyon sonucunda çökelme işlemini destekleyen bileşikler oluşur [29]. Scott ve Palmer, *Arthrobacter* ve *Pseudomonas* türlerini kullanarak Cd uzaklaştırma işleminin bu karşı koruyucu sistemler tarafından yönetildiği ve böylece Cd iyonlarının hücre yüzeyinde çöktüğü belirlenmiştir. Çökelmenin hücre metabolizmasına bağlı olmaması halinde metal iyonu ile hücre yüzeyi arasında kimyasal bir etkileşim sonucunda tutunma gerçekleşir [40]. Anlatılan bu durum uranyumun *Rhizopus arrhizus* üzerindeki tutunma adımıdır. Tutunma esnasında uranyum ve kitin arasında bir kompleks oluşmuştur. Bu kompleks daha sonra hidroliz olmuştur. Meydana gelen uranyum-hidroksit ürünü hücre duvarı içerisinde çökmüştür [32]. Holan ve arkadaşları, deniz alg biyokütlesiyle, Cd biyosorpsiyon işleminin bu iyonların çözünmeyen mikro depozitler halinde biyosorpsiyon tarafından tutunduğunu göstermişlerdir [41].

Literatür bilgilerinden açıkça görüldüğü gibi biyosorpsiyon işlemi sadece tek bir mekanizmayla değil birden fazla mekanizmanın eş zamanlı gerçekleşmesiyle tamamlanır [29].

2.7. Biyosorpsiyonu Etkileyen Faktörler

Sıcaklık, iyonik kuvvetler, çözeltilerdeki metal iyonu konsantrasyonu, pH, tampon tipi, diğer kimyasallar, biyosorbentlere uygulanan ön işlemler, biyosorbent kültürünün yaşı ve diğer kimyasal ve fiziksel faktörler biyosorpsiyon işlemini etkiler [13].

2.7.1. pH

Adsorpsiyonun meydana geldiği çözeltinin pH'sı önemli bir etken olup bir veya birkaç nedenden dolayı adsorpsiyon miktarını etkilemektedir. Hidrojen (H^+) ve hidroksil (OH^-) iyonlarının kuvvetli bir şekilde adsorbe olmalarından dolayı diğer iyonların adsorpsiyonu çözeltinin pH'sından etkilenmektedir. Metal alımının pH'a bağlı olması

sorpsiyon ortamının yüzeyindeki protonlar ve metal katyonları arasındaki rekabetle ilgilidir. Hücre yüzeyleriyle metal arasındaki bu farklı kimyasal etkileşimler sonucunda metal iyonları için çeşitli pH'larda farklı tutma kapasiteleri olabilmektedir. Metal alımı ve pH arasındaki ilişki bakteriyel hücre duvarındaki çeşitli fonksiyonel gruplara bağlı olarak değişmektedir [19]. Düşük pH'larda hücre yüzey yükü pozitifdir ve H_3O^+ iyonları hücreye bağlanmak için pozitif metal katyonları ile yarıştıklarından hızı azaltıcı etki gösterirler. Hücrelerin izoelektrik noktaları üzerindeki pH değerlerinde, hücre yüzeyi net negatif yüke sahiptir. Karboksil, fosfat, imidazol ve amino grupları gibi ligandların iyonik hali metal katyonlarının biyokütleyle bağlanmasını hızlandırır [13].

2.7.2. Sıcaklık

Adsorpsiyon işleminde sıcaklık önemli kriter olup, adsorpsiyon tipini karakterize ederek, esas olarak adsorpsiyon hızı üzerine etki etmektedir. Mikrobiyal hücrelerle metal biyosorpsiyonunda enerjiye bağlı mekanizmalardan dolayı adsorpsiyon ortamının sıcaklığı önemlidir. Bazı endotermik adsorpsiyonlardan bahsedilmiş olsa da çoğu adsorpsiyon işlemleri ekzotermik proseslerdir [13, 19]. Biyosorpsiyon prosesi, enerjiye bağlı olmayan mekanizmalarda daha çok fiziko-kimyasal (elektrostatik güçlerle) olarak gerçekleştiğinden sıcaklıktan daha az etkilenir [11].

2.7.3. Biyokütle Miktarı

Biyosorpsiyon işlemine etki eden önemli faktörlerden bir tanesi de biyokütle miktarıdır. Genel bir kural olarak sabit bir başlangıç metal konsantrasyonunda biyosorpsiyon proseslerinin gerçekleştiği çözelti ortamındaki biyokütle miktarının artması ile biyosorpsiyon verimi artmaktadır. Başlangıç konsantrasyonu sabit iken çözeltide kalan iyon konsantrasyonunun azalması ve biyokütle miktarının artması ile biyosorpsiyon kapasitesi azalmaktadır [20].

2.7.4. Biyokütlenin Ön İşleme Maruz Bırakılması

Bir biyokütlenin sorpsiyon özellikleri (örnek; giderim kapasitesi) birtakım ön işlem veya modifikasyon teknikleri kullanılarak arttırılabilir veya değiştirilebilir. Biyokütlenin türüne göre değişim gösterebilen ön işlemler fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel ön işlemlerde ısıtma, otoklavlama, dondurucu etki ile kurutma ve kaynatma teknikleri kullanılırken, kimyasal ön işlemlerde ise asit, alkali ve organik kimyasallar kullanılmaktadır [20].

2.7.5. Başlangıç Metal Konsantrasyonu

Başlangıç ağır metal konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisinin incelendiği çalışmalarda genel bir kural olarak, sabit bir biyokütle miktarında artan ağır metal konsantrasyonu ile biyosorpsiyon kapasitesinin arttığı gözlenmiştir [42]. Bunun yanısıra artan başlangıç ağır metal konsantrasyonu, biyosorpsiyon veriminde azalmaya neden olmaktadır. Dursun (2006) bu durumu, düşük konsantrasyonlarda başlangıç metal iyonu miktarının uygun sorpsiyon bölgelerine oranının düşük olması nedeniyle yüksek biyosorpsiyon verimi elde edildiği, bunun aksine yüksek konsantrasyonlarda ise uygun bağlanma bölgelerinin sayısının azalması ve bağlanma bölgelerinin doygunluğa ulaşması nedeniyle düşük biyosorpsiyon verimi elde edildiği şeklinde ifade etmiştir [43].

2.7.6. Karıştırma Hızı

Ağır metal biyosorpsiyonuna etki eden diğer bir faktör ise prosesin gerçekleştiği ortamdaki karıştırma hızıdır. Adsorpsiyon hızı sistemin karıştırma hızına bağlı olarak ya film difüzyonu ya da por difüzyonu ile kontrol edilmektedir. Düşük karıştırma hızlarında tanecik etrafındaki sıvı film kalınlığı fazla olur ve film difüzyonu hızı adsorpsiyonu sınırlandıran etmen olur. Eğer sistemde yeterli bir karışım sağlanır ise film difüzyon hızı, hızı sınırlandıran etmen olan por difüzyon noktasına doğru artar [19]. Ahmad ve arkadaşları (2005) sentetik kauçuk ham maddesi tozu üzerine palmiye yağı adsorpsiyonunu incelediği çalışmasında karıştırma hızının artması ile yağ adsorpsiyonu hızının ve yağ gideriminin arttığını belirtmiştir. Karıştırma hızının artması ile adsorpsiyon hızını yavaşlatan yüzey film kalınlığında azalma meydana geldiğini ve böylelikle yağın partikül yüzeyine daha kolay ulaştığını ifade etmiştir [44].

Kıvanç ve arkadaşları (1996), krom içeren endüstriyel atık sudan izole edilen *Bacillus subtilis* ile Cr(6) iyonlarının adsorpsiyonunu, bununla birlikte farklı pH ve başlangıç iyon konsantrasyonlarının (25-200 ppm) *Bacillus subtilis*'e Cr(6) adsorpsiyonundaki etkilerini test etmiş ve atık sulardan Cr(6) iyonlarının giderilmesinde optimum koşulları araştırmışlardır. Cr(6) iyonlarının *B. subtilis* bakterilerine adsorpsiyonu ortamın pH'sına bağlı olarak değişmiştir. Düşük pH'da adsorpsiyon oranı diğer pH'lara göre daha yüksek olmuştur. Maksimum adsorpsiyon pH 1'de meydana gelmiştir. Ortamdaki başlangıç Cr(6) iyonu konsantrasyonu arttıkça metal adsorpsiyon hızı da artmıştır. Maksimum adsorpsiyon oranı 100 ile 200 mg/l başlangıç iyon konsantrasyonlarında elde edilmiştir [45].

Özer ve arkadaşları (1996), kurşun (II) iyonlarının *Rhizopus arrhizus*'a adsorpsiyonuna ortam koşullarının etkisini kesikli karıştırmalı bir kapta araştırmışlardır. Başlangıç adsorpsiyon hızına pH, sıcaklık, kurşun (II) iyon derişimleri ve mikroorganizma derişimlerinin etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Başlangıç pH'sının 4.0-4.5, sıcaklığın 30°C, başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin 100 mg/l ve mikroorganizma derişiminin 0.25 g/l değerlerinde en yüksek adsorpsiyon hızları elde etmişlerdir [46].

Özer ve Özer (1998), Nikel (II) iyonlarının yeşil alglerden inaktif *Cladophora crispata*'ya adsorpsiyonunu kesikli çalışan karıştırmalı bir kapta incelemişlerdir. Başlangıç pH'sı, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi ve mikroorganizma derişiminin adsorpsiyon hızına etkileri araştırılarak; en uygun ortam koşulları; başlangıç pH'sını 5.0, sıcaklığı 25°C, başlangıç metal iyon derişimini 200 mg/l ve mikroorganizma derişimini 1.0 g/l olarak belirlenmiştir [47].

Özdemir ve arkadaşları (2003), Aktif çamurdan izole edilen *Ochobactrum anthropi* ile Cr(VI), Cd(II) ve Cu(II) iyonlarının adsorpsiyonunu araştırmışlardır. pH, metal konsantrasyonu ve etkileşim zamanının etkisini incelemişlerdir. Optimum adsorpsiyon pH değerlerini; Cr(VI), Cd(II) ve Cu(II) için sırasıyla; 2.0, 8.0 ve 3.0 olarak belirlemişlerdir [48].

İlhan ve arkadaşları (2004), endüstriyel atıksulardan krom, kurşun ve bakır iyonlarının mikroorganizmalar tarafından biyosorpsiyonunu araştırmışlardır. Mikroorganizmalar topraktan izole edilmiş ve araştırmada *Staphylococcus saprophyticus* olarak tanımlanan bakteri kullanılmıştır. pH, sıcaklık ve başlangıç metal iyonu konsantrasyonunun biyosorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Optimum pH değerleri krom, kurşun ve bakır iyonlarının biyosorpsiyonu için sırasıyla 2.0, 4.5 ve 3.5 bulunmuştur. Maksimum adsorpsiyon Cr^{6+} , Pb^{2+} ve Cu^{2+} için, 193.66 mg Cr^{6+}/l ; 100 mg Pb^{2+}/l ve 105 mg Cu^{2+}/l başlangıç konsantrasyonlarında gözlenmiş ve bu koşullar altında biyosorpsiyon değerleri sırasıyla 88.66 mg Cr^{6+}/l ; 100 mg Pb^{2+}/l ve 44.94 mg Cu^{2+}/l bulunmuştur [12].

Elmacı ve arkadaşları (2005), Yaygın olarak kullanılan 3 alg türünü (*Chara sp.*, *Cladophora sp.* ve *Chlorella sp.*) Zn(II), Cd(II), Co(II) gibi ağır metal iyonlarının biyosorpsiyonunda kullanmışlardır. Yapılan çalışmada ağır metal (20-60 mg/l) çözeltilerle farklı pH aralığında (2.0-8.0) alg türlerinin biyosorpsiyonunu incelemişlerdir. En iyi adsorpsiyonun sağlandığı optimum pH *Cladophora sp.* ile yapılan çalışmada Cd(II), Zn(II) ve Co(II) için sırasıyla; 6.0; 5.0 ve 5.0; *Chara sp.* ile yapılan çalışmada 6.0; 5.0 ve

6.0; *Chlorella sp.* ile yürütülen çalışmada 5.0; 6.0 ve 5.0 olarak belirlenmiştir. Ağır metal çalışmasında en iyi giderim *Cladophora sp.* ile elde edilmiştir [49].

Çabuk ve arkadaşları (2007), endüstriyel olarak alkol üretiminde kullanılan *Saccharomyces cerevisiae* hücrelerinin Cu(II) iyonu giderim yeteneklerini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmada, pH, başlangıç Cu(II) iyon konsantrasyonu ve süre gibi biyosorpsiyon parametleri için optimizasyon çalışmaları yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda en yüksek Cu(II) biyosorpsiyon kapasitesine 58.8 mg/g değeri ile 200 mg/l başlangıç Cu(II) iyonu konsantrasyonunda, pH 5.0 değerinde ve 5 dakika süre içerisinde ulaşılmıştır [50].

Yazıcı (2007), bakır (Cu^{2+}) ve krom (Cr) iyonlarının *Marrubium globosum* ssp. *globosum* biyokütlesi kullanarak sulu çözeltilerden biyosorpsiyonunu incelemiştir. Elde edilen sonuçlarda Cu^{2+} ve Cr biyosorpsiyonunun optimum pH değerleri sırası ile 5.5 ve 3.0 olarak bulunmuş, her iki metal iyonunun biyosorpsiyonu 60 dakikada dengeye ulaşmıştır. Her iki metal iyonunun biyosorpsiyonunun başlangıç metal konsantrasyonu ve başlangıç sıcaklık artışı ile arttığı gözlenmiştir [20].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Bakteri Kùltürleri

Araştırmada biyosorpsiyon yöntemiyle nikel giderimi için Fırat Üniversitesi Mikrobiyoloji Laboratuvarından temin edilen *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suş ve 2 adet *Rhizobium phaseoli* izolatı kullanılmıştır.

3.1.2. Besiyerleri

Araştırmada *Rhizobium* cinsi bakterilerin geliştirilmesinde Yeast Ekstract Mannitol (YEM) sıvı besiyeri kullanılmış olup, bileşimi aşağıda verilmiştir.

Yeast Ekstract Mannitol (YEM) Sıvı Besiyeri:

Mannitol	10.0 g
KH ₂ PO ₄	0.5 g
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.2 g
NaCl	0.1 g
Trypton	2.5 g
Pepton	2.5 g
Yeast Ekstract	2.5 g
Distile su	1000 ml
pH = 7.0	

Besiyeri bileşimindeki maddeler distile suda çözündükten sonra otoklavda 121°C’de 15 dakika süreyle steril edilmiştir. pH ayarları için 0.01 N HCl ve 0.01 N NaOH çözeltileri kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Biyokùtle Üretimi

YEM agarlı stok kùltürden alınan bakteri örnekleri; içerisinde 100 ml YEM sıvı besiyeri bulunan 250 ml’lik erlenlere aktararak ön zenginleştirme yapılmıştır. Zenginleřtirmenin yapıldığı erlenlerden, içerisinde 100 ml YEM sıvı besiyeri bulunan

erlenlere kültürler 0.1'er ml olacak şekilde 3 paralel halinde aşılanmış ve 28°C'de çalkalamalı etüvde (Gerhardt-Laboshake) 150 rpm de inkübe edilmiştir.

Besi ortamlarındaki toplam hücre sayısı canlı sayım (Plak kültür metodu) yöntemi ve spektrofotometrik metot yapılarak 10^5 hücre/ml olarak hesaplanmıştır.

3.2.2. Ni Çözeltisinin Hazırlanması

$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck) kullanılarak 1 gr Ni için gerekli olan miktar orantı ile hesaplanarak tartılmış ve 1000 ml distile su ile tamamlanarak 1 gr/l lik stok Ni çözeltisi hazırlanmıştır. Denemeler sırasında bu stok çözeltiden distile su ile seyreltme yapılarak farklı konsantrasyonlardaki çözeltiler hazırlanmıştır. Gerekli pH değerini ayarlamak için 1 N H_2SO_4 ve 1 N NaOH kullanılmış, hazırlanan 50, 100, 150, 200 ve 250 mg/l konsantrasyonlardaki Ni çözeltilerinin atomik absorpsiyon cihazında ölçümleri yapılarak konsantrasyonları kontrol edilmiştir.

Çalışmada yapılan bütün metal analizleri atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (Perkin Elmer Analyst 400 Model) hava-asetilen alevinde gerçekleştirilmiştir [50].

3.2.3. Biyosorpsiyon Çalışması

Rhizobium phaseoli bakterileri ile en uygun Ni iyonu giderim koşullarının belirlenmesi amacıyla pH, başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonu ve süre gibi parametreler incelenmiştir. pH çalışması için; 3.0-6.0 aralığında, başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonu için; 50-250 mg/l aralığında, 5-120 dakika süre ile değişen aralıklarda örnekler alınarak Ni(II) ölçümleri yapılmıştır.

Biyosorpsiyon kapasite değerini belirlemek için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$Q = [(Co - Ci) \cdot V] / Mb$$

Burada; Q , gram biyokütle başına biyosorbe edilen mg metal miktarı (mg/g); Co , başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonu (mg/l); Ci , biyosorpsiyon çalışmasından sonra çözeltide kalan Ni(II) iyon konsantrasyonu (mg/l); V , çalışma hacmi (l); Mb , ilave edilen biyokütle miktarını (g) ifade etmektedir [50].

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu araştırmada *Rhizobium phaseoli* bakterileri ile en uygun Ni(II) iyonu giderim koşullarının belirlenmesi amacıyla, pH, başlangıç Ni(II) iyonu konsantrasyonu ve süre gibi biyosorpsiyon olayına etki eden parametreler incelenmiştir.

pH çalışması için; pH 3, pH 4, pH 5 ve pH 6'da, başlangıç Ni(II) iyonu konsantrasyonu için; 50, 100, 150, 200 ve 250 mg/l konsantrasyonlarda ve süre için; 5, 30, 60, 90 ve 120. dakikalarda 3 paralel halinde çalışılarak Ni(II) ölçümleri yapılmıştır.

Araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar pH değerlerine göre tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 4. pH 3'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki Ni(II) ölçümleri

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	5. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	45.75	45.56	40.40	43.90	±3.03
	100	92.25	92.15	87.20	90.53	±2.88
	150	149.35	144.96	141.95	145.42	±3.72
	200	183.95	185.96	188.40	186.10	±2.22
	250	226.50	226.60	226.58	226.56	±0.05
38F	50	44.72	45.93	48.20	46.28	±1.76
	100	86.70	85.82	86.18	86.23	±0.44
	150	122.30	123.98	126.05	124.11	±1.87
	200	166.50	166.95	166.58	166.67	±0.24
	250	195.95	194.60	195.20	195.25	±0.67
CIAT 899	50	42.80	45.50	45.65	44.65	±1.60
	100	93.20	91.15	89.40	91.25	±1.90
	150	142.15	142.80	142.60	142.51	±0.33
	200	183.65	186.20	188.60	186.15	±2.47
	250	229.00	229.30	229.16	229.15	±0.15

Tablo 4'ün devamı

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	30. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	44.15	41.20	34.50	39.95	±4.94
	100	83.40	86.65	87.20	85.75	±2.05
	150	149.40	144.95	141.20	145.18	±4.10
	200	187.05	188.30	186.93	187.42	±0.75
	250	225.95	226.00	224.95	225.63	±0.59
38F	50	44.25	40.80	41.60	42.21	±1.80
	100	86.47	88.99	92.15	89.20	±2.84
	150	125.37	124.07	124.65	124.70	±0.65
	200	165.55	165.95	165.78	165.76	±0.20
	250	197.00	192.20	193.98	194.39	±2.42
CIAT 899	50	42.65	41.30	37.40	40.45	±2.72
	100	86.75	87.15	83.20	85.70	±2.17
	150	141.55	141.75	142.15	141.81	±0.30
	200	186.95	186.75	186.45	186.71	±0.25
	250	239.10	236.40	234.30	236.60	±2.40

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	60. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	41.65	35.20	39.40	38.75	±3.27
	100	85.15	82.60	80.70	82.81	±2.23
	150	143.20	143.82	145.35	144.12	±1.10
	200	186.35	186.05	186.24	186.21	±0.15
	250	222.95	223.60	226.65	224.40	±1.97
38F	50	35.15	32.95	33.90	34.00	±1.10
	100	80.17	81.60	80.85	80.87	±0.71
	150	120.97	122.16	124.15	122.43	±1.60
	200	154.50	156.99	160.60	157.36	±3.06
	250	191.80	190.01	188.10	189.97	±1.85
CIAT 899	50	44.10	37.30	43.95	41.78	±3.88
	100	89.90	90.20	83.75	87.95	±3.64
	150	141.35	140.30	140.72	140.79	±0.52
	200	184.55	184.12	183.50	184.05	±0.52
	250	244.20	238.85	235.15	239.40	±4.55

Tablo 4'ün devamı

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	90. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	42.95	39.55	40.35	40.95	±1.77
	100	86.25	83.30	85.40	84.98	±1.51
	150	139.85	143.95	149.35	144.38	±4.76
	200	186.20	185.42	184.45	185.35	±0.87
	250	223.05	224.27	226.10	224.47	±1.53
38F	50	44.85	44.25	43.15	44.08	±0.86
	100	78.80	79.30	78.99	79.03	±0.25
	150	119.02	118.05	118.28	118.45	±0.50
	200	157.70	158.99	161.40	159.36	±1.87
	250	188.40	188.90	188.58	188.62	±0.25
CIAT 899	50	40.25	41.70	37.50	39.81	±2.13
	100	92.45	91.25	86.05	89.91	±3.40
	150	141.80	142.60	143.00	142.46	±0.61
	200	185.95	184.60	183.65	184.73	±1.15
	250	245.65	239.87	235.90	240.47	±4.90

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	120. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	43.50	39.65	40.95	41.36	±1.95
	100	88.85	87.50	83.90	86.75	±2.55
	150	148.35	143.90	141.00	144.41	±3.70
	200	183.85	185.75	188.60	186.06	±2.39
	250	226.95	225.10	224.80	225.61	±1.16
38F	50	40.05	40.95	40.52	40.50	±0.45
	100	76.60	78.01	80.50	78.37	±1.97
	150	118.40	117.03	116.90	117.44	±0.83
	200	158.65	154.99	151.55	155.06	±3.55
	250	185.00	177.10	180.93	181.01	±3.95
CIAT 899	50	45.60	40.85	39.75	42.06	±3.10
	100	85.45	89.30	91.35	88.70	±2.99
	150	141.75	142.55	142.95	142.41	±0.61
	200	184.65	185.20	185.40	185.08	±0.38
	250	245.20	237.85	235.85	239.63	±4.92

Tablo 5. pH 3'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki biyosorpsiyon kapasite değerleri (mg/g)

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	Biyosorpsiyon Kapasite Değerleri mg/g				
		5. dk	30. dk	60. dk	90. dk	120. dk
23F	50	3.05	5.02	5.62	4.52	4.32
	100	4.73	7.12	8.59	7.51	6.62
	150	2.29	2.41	2.94	2.81	2.79
	200	6.95	6.29	6.89	7.32	6.97
	250	11.72	12.18	12.80	12.76	12.19
38F	50	1.86	3.89	8.00	2.96	4.75
	100	6.88	5.40	9.56	10.48	10.81
	150	12.94	12.65	13.78	15.77	16.28
	200	16.66	17.12	21.32	20.32	22.47
	250	27.37	27.80	30.01	30.69	34.49
CIAT 899	50	2.67	4.77	4.11	5.09	3.97
	100	4.37	7.15	6.02	5.04	5.65
	150	3.74	4.09	4.60	3.77	3.79
	200	6.92	6.64	7.97	7.63	7.46
	250	10.42	6.70	5.30	4.76	5.18

Rhizobium phaseoli 23F izolatı; pH 3'te en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 12.80 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 60. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 2.29 mg/g değeri ile 150 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

Rhizobium phaseoli 38F izolatı; pH 3'te en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 34.49 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 120. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 1.86 mg/g değeri ile 50 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

Rhizobium phaseoli CIAT 899 nolu suş; pH 3'te en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 10.42 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 2.67 mg/g değeri ile 50 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

pH 3'te en iyi Ni(II) iyonu giderimi *Rhizobium phaseoli* 38F izolatında 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 120. dakikada 34.49 mg/g, en az Ni(II) iyonu giderimi 50 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada 1.86 mg/g değerinde gözlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 6. pH 4’te farklı süre ve konsantrasyonlardaki Ni(II) ölçümleri

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	5. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	43.30	41.25	38.80	41.11	±2.25
	100	92.25	89.67	87.50	89.80	±2.37
	150	141.00	137.80	136.60	138.46	±2.27
	200	179.45	179.34	179.20	179.33	±0.12
	250	221.95	222.47	222.80	222.40	±0.42
38F	50	42.80	43.40	43.60	43.26	±0.41
	100	92.40	94.95	98.10	95.15	±2.85
	150	128.60	129.45	130.00	129.35	±0.70
	200	186.85	183.90	182.75	184.50	±2.11
	250	223.95	223.25	222.95	223.38	±0.51
CIAT 899	50	41.65	39.85	38.65	40.05	±1.50
	100	88.50	87.80	86.70	87.66	±0.90
	150	137.45	136.95	136.35	136.91	±0.55
	200	175.45	175.30	175.25	175.33	±0.10
	250	230.80	232.70	235.05	232.85	±2.12

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	30. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	39.50	36.80	37.90	38.06	±1.35
	100	90.90	86.85	83.80	87.18	±3.56
	150	138.20	136.95	136.45	137.20	±0.90
	200	177.05	175.90	175.35	176.10	±0.86
	250	219.30	220.40	218.75	219.48	±0.84
38F	50	40.90	40.98	41.15	41.01	±0.12
	100	90.95	93.87	97.90	94.24	±3.48
	150	128.95	128.97	129.90	129.27	±0.54
	200	186.45	183.93	181.80	184.06	±2.32
	250	219.05	218.02	216.75	217.94	±1.15
CIAT 899	50	40.75	38.10	36.00	38.28	±2.38
	100	85.45	83.95	82.75	84.05	±1.35
	150	133.55	132.60	130.45	132.20	±1.58
	200	172.20	169.87	168.75	170.27	±1.76
	250	224.20	226.85	230.65	227.23	±3.24

Tablo 6'nın devamı

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	60. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	39.20	33.50	35.90	36.20	±2.86
	100	86.25	82.97	80.10	83.10	±3.07
	150	134.45	132.90	132.45	133.26	±1.04
	200	171.35	168.85	168.20	169.46	±1.66
	250	212.10	212.99	214.05	213.04	±0.97
38F	50	44.40	41.01	37.60	41.00	±3.40
	100	84.15	88.04	91.50	87.89	±3.67
	150	119.45	121.01	122.05	120.83	±1.30
	200	177.10	174.98	173.25	175.11	±1.92
	250	214.35	211.85	210.95	212.38	±1.76
CIAT 899	50	41.95	38.80	36.85	39.20	±2.57
	100	83.20	82.52	81.25	82.32	±0.99
	150	126.85	125.27	124.10	125.40	±1.37
	200	167.75	164.90	163.85	165.50	±2.01
	250	221.45	223.80	227.95	224.40	±3.29

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	90. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	39.05	35.85	34.15	36.35	±2.48
	100	88.45	86.30	81.65	85.46	±3.47
	150	109.45	105.80	108.75	108.00	±1.93
	200	171.45	169.05	169.65	170.05	±1.24
	250	212.85	212.90	213.25	213.00	±0.21
38F	50	39.55	37.75	37.55	38.28	±1.10
	100	85.00	87.98	91.30	88.09	±3.15
	150	119.60	120.98	122.65	121.07	±1.52
	200	177.65	174.95	173.75	175.45	±1.99
	250	211.60	212.96	214.80	213.12	±1.60
CIAT 899	50	43.20	39.80	37.00	40.00	±3.10
	100	85.25	83.96	82.85	84.02	±1.20
	150	132.20	130.20	128.50	130.30	±1.85
	200	171.35	169.55	167.65	169.51	±1.85
	250	222.35	224.70	229.30	225.45	±3.53

Tablo 6'nın devamı

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	120. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	36.90	34.82	33.55	35.09	±1.69
	100	84.70	80.90	79.20	81.60	±2.81
	150	131.65	134.70	132.95	133.10	±1.53
	200	171.40	169.85	169.95	170.40	±0.86
	250	206.95	212.85	208.90	209.56	±3.00
38F	50	41.20	37.85	36.20	38.41	±2.54
	100	82.50	84.77	89.05	85.44	±3.32
	150	118.55	118.94	120.10	119.19	±0.80
	200	175.95	172.90	170.45	173.10	±2.75
	250	214.60	210.97	209.35	211.64	±2.68
CIAT 899	50	41.70	37.85	35.55	38.36	±3.10
	100	80.60	80.40	80.35	80.45	±0.13
	150	128.60	125.80	124.65	126.35	±2.03
	200	167.45	164.35	164.10	165.30	±1.86
	250	218.75	221.93	225.80	222.16	±3.53

Tablo 7. pH 4'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki biyosorpsiyon kapasite değerleri (mg/g)

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	Biyosorpsiyon Kapasite Değerleri mg/g				
		5. dk	30. dk	60. dk	90. dk	120. dk
23F	50	4.44	5.97	6.90	6.82	7.45
	100	5.10	6.41	8.45	7.27	9.20
	150	5.77	6.40	8.37	21.00	8.45
	200	10.33	11.95	15.27	14.97	14.80
	250	13.80	15.26	18.48	18.50	20.22
38F	50	3.37	4.49	4.50	5.86	5.79
	100	2.42	2.88	6.05	5.95	7.28
	150	10.32	10.36	14.58	14.46	15.40
	200	7.75	7.97	12.44	12.27	13.45
	250	13.31	16.03	18.81	18.44	19.18
CIAT 899	50	4.97	5.86	5.40	5.00	5.82
	100	6.17	7.97	8.84	7.99	9.77
	150	6.54	8.90	12.30	9.85	11.82
	200	12.33	14.86	17.25	15.24	17.35
	250	8.57	11.38	12.80	12.27	13.92

Rhizobium phaseoli 23F izolatı; pH 4'te en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 21.00 mg/g değeri ile 150 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 90. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 4.44 mg/g değeri ile 50 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

Rhizobium phaseoli 38F izolatı; pH 4'te en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 19.18 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 120. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 2.42 mg/g değeri ile 100 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

Rhizobium phaseoli CIAT 899 nolu suş; pH 4'te en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 17.35 mg/g değeri ile 200 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 120. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 4.97 mg/g değeri ile 50 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

pH 4'te en iyi Ni(II) iyonu giderimi *Rhizobium phaseoli* 23F izolatında 150 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 90. dakikada 21.00 mg/g, en az Ni(II) iyonu giderimi *Rhizobium phaseoli* 38F izolatında 100 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada 2.42 mg/g değerinde gözlenmiştir (Tablo 7).

Tablo 8. pH 5'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki Ni(II) ölçümleri

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	5. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	43.80	45.87	49.95	46.54	±3.12
	100	90.85	91.97	93.50	92.10	±1.33
	150	135.35	135.53	135.65	135.51	±0.15
	200	173.60	174.15	174.60	174.11	±0.50
	250	214.25	214.20	214.40	214.28	±0.10
38F	50	45.40	46.17	46.75	46.10	±0.67
	100	98.20	99.60	99.80	99.20	±0.87
	150	142.70	138.75	136.30	139.25	±3.22
	200	185.35	190.20	182.60	186.05	±3.84
	250	242.10	237.50	234.75	238.11	±3.71
CIAT 899	50	46.25	43.45	40.20	43.30	±3.02
	100	93.25	94.30	95.20	94.25	±0.97
	150	133.10	134.20	135.25	134.18	±1.07
	200	171.45	174.98	178.75	175.06	±3.65
	250	216.15	217.50	220.45	218.03	±2.19

Tablo 8'in devamı

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	30. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	39.70	39.30	39.10	39.36	±0.30
	100	87.75	82.85	78.90	83.16	±4.43
	150	121.70	125.90	130.60	126.06	±4.45
	200	166.50	173.60	169.90	170.00	±3.55
	250	211.60	212.80	215.50	213.30	±1.99
38F	50	43.15	44.95	48.25	45.45	±2.58
	100	98.30	97.80	97.95	98.01	±0.25
	150	135.90	137.75	141.20	138.28	±2.68
	200	183.95	182.67	181.80	182.80	±1.08
	250	244.20	237.85	238.70	240.25	±3.44
CIAT 899	50	38.60	39.40	35.55	37.85	±2.03
	100	91.30	93.10	94.35	92.91	±1.53
	150	125.00	128.20	131.00	128.06	±3.00
	200	167.65	169.90	173.50	170.35	±2.95
	250	207.60	209.75	212.70	210.01	±2.56

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	60. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	39.10	33.45	38.20	36.91	±3.03
	100	90.45	89.75	92.50	90.90	±1.42
	150	135.80	136.15	136.25	136.06	±0.23
	200	178.60	185.45	181.99	182.01	±3.42
	250	217.70	220.87	224.75	221.10	±3.53
38F	50	43.70	44.86	47.40	45.32	±1.89
	100	95.80	96.45	96.70	96.31	±0.46
	150	134.85	136.85	140.65	137.45	±2.94
	200	182.85	180.97	179.90	181.24	±1.49
	250	240.80	237.30	235.60	237.90	±2.65
CIAT 899	50	41.65	37.50	40.60	39.91	±2.15
	100	91.25	93.05	94.20	92.83	±1.48
	150	133.45	138.90	135.35	135.90	±2.76
	200	183.00	183.62	184.45	183.69	±0.72
	250	227.30	226.62	226.15	226.69	±0.57

Tablo 8'in devamı

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	90. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	41.50	42.97	46.45	43.64	±2.54
	100	90.70	89.80	93.15	91.21	±1.73
	150	141.25	140.62	140.20	140.69	±0.52
	200	178.05	180.92	184.30	181.09	±3.12
	250	220.65	212.20	215.92	216.25	±4.23
38F	50	44.50	47.85	48.90	47.08	±2.29
	100	98.35	98.15	97.95	98.15	±0.20
	150	136.80	137.97	141.15	138.64	±2.25
	200	184.70	183.75	182.70	183.71	±1.00
	250	244.50	235.80	236.85	239.05	±4.74
CIAT 899	50	45.45	43.55	39.95	42.98	±2.79
	100	91.40	92.60	93.10	92.36	±0.87
	150	130.35	134.95	139.90	135.06	±4.77
	200	173.95	176.85	180.80	177.20	±3.43
	250	217.65	221.75	226.75	222.05	±4.55

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	120. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	48.10	41.80	47.25	45.71	±3.41
	100	88.45	86.25	85.90	86.86	±1.38
	150	135.10	134.75	134.60	134.81	±0.25
	200	173.45	173.55	174.20	173.73	±0.40
	250	214.20	214.15	214.30	214.21	±0.07
38F	50	44.90	48.19	49.50	47.53	±2.36
	100	97.75	98.45	97.70	97.96	±0.41
	150	138.10	145.65	140.88	141.54	±3.81
	200	178.00	181.90	186.70	182.20	±4.35
	250	245.15	242.50	247.20	244.95	±2.35
CIAT 899	50	42.55	40.40	37.87	40.27	±2.34
	100	91.10	92.95	94.00	92.68	±1.46
	150	133.00	134.10	135.15	134.08	±1.07
	200	174.75	175.15	174.65	174.85	±0.26
	250	222.15	220.65	221.45	221.41	±0.75

Tablo 9. pH 5'te farklı süre ve konsantrasyonlardaki biyosorpsiyon kapasite değerleri (mg/g)

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	Biyosorpsiyon Kapasite Değerleri mg/g				
		5. dk	30. dk	60. dk	90. dk	120. dk
23F	50	1.73	5.32	6.54	3.18	2.14
	100	3.95	8.42	4.55	4.39	6.57
	150	7.24	11.97	6.97	4.65	7.59
	200	12.94	15.00	8.99	9.45	13.13
	250	17.86	18.35	14.45	16.87	17.89
38F	50	1.95	2.27	2.34	1.46	1.23
	100	0.40	0.99	1.84	0.92	1.02
	150	5.37	5.86	6.27	5.68	4.23
	200	6.97	8.60	9.38	8.14	8.90
	250	5.94	4.87	6.05	5.47	2.52
CIAT 899	50	3.35	6.07	5.04	3.51	4.86
	100	2.87	3.54	3.58	3.82	3.66
	150	7.91	10.97	7.05	7.47	7.96
	200	12.47	14.82	8.15	11.40	12.57
	250	15.98	19.99	11.65	13.97	14.29

Rhizobium phaseoli 23F izolatı; pH 5'te en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 18.35 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 30. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 1.73 mg/g değeri ile 50 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

Rhizobium phaseoli 38F izolatı; pH 5'te en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 9.38 mg/g değeri ile 200 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 60. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 0.40 mg/g değeri ile 100 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

Rhizobium phaseoli CIAT 899 nolu suş; pH 5'te en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 19.99 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 30. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 2.87 mg/g değeri ile 100 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

pH 5'te en iyi Ni(II) iyonu giderimi *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suşta 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 30. dakikada 19.99 mg/g, en az Ni(II) iyonu giderimi *Rhizobium phaseoli* 38F izolatında 100 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada 0.40 mg/g değerinde gözlenmiştir (Tablo 9).

Tablo 10. pH 6’da farklı süre ve konsantrasyonlardaki Ni(II) ölçümleri

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	5. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	44.30	45.40	46.10	45.26	±0.90
	100	95.15	98.10	96.01	96.42	±1.51
	150	148.40	145.15	143.20	145.58	±2.62
	200	197.30	195.80	195.85	196.31	±0.85
	250	244.60	243.70	246.25	244.85	±1.29
38F	50	48.85	49.15	47.85	48.61	±0.68
	100	97.85	98.95	97.98	98.26	±0.60
	150	149.50	147.65	145.95	147.70	±1.77
	200	192.35	199.90	195.85	196.03	±3.77
	250	243.50	239.80	238.60	240.63	±2.55
CIAT 899	50	48.65	49.15	46.40	48.06	±1.46
	100	97.80	98.90	97.95	98.21	±0.59
	150	140.65	145.70	149.60	145.31	±4.48
	200	195.00	193.70	192.20	193.63	±1.40
	250	240.65	246.80	248.50	245.31	±4.12

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	30. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	41.35	42.70	44.50	42.85	±1.58
	100	90.70	93.00	91.55	91.75	±1.16
	150	136.20	136.90	139.30	137.46	±1.62
	200	175.70	172.90	171.65	173.41	±2.07
	250	216.00	212.67	211.35	213.34	±2.39
38F	50	48.60	48.90	49.75	49.08	±0.59
	100	91.20	94.90	92.98	93.02	±1.85
	150	137.05	141.20	138.89	139.04	±2.07
	200	174.45	175.25	173.85	174.51	±0.70
	250	219.05	218.10	217.75	218.30	±0.67
CIAT 899	50	47.70	47.50	47.80	47.66	±0.15
	100	94.70	94.80	97.20	95.56	±1.41
	150	138.35	139.70	140.30	139.45	±0.99
	200	178.60	177.10	177.65	177.78	±0.75
	250	221.55	221.70	221.52	221.59	±0.09

Tablo 10'un devamı

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	60. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	40.50	41.00	40.95	40.81	±0.27
	100	93.85	91.83	91.05	92.24	±1.44
	150	133.95	134.80	136.70	135.15	±1.40
	200	174.00	170.86	168.55	171.13	±2.73
	250	215.05	208.55	210.93	211.51	±3.28
38F	50	46.65	47.50	47.17	47.10	±0.42
	100	87.80	89.35	88.37	88.50	±0.78
	150	138.45	137.35	135.15	136.98	±1.68
	200	170.50	169.65	169.98	170.04	±0.42
	250	215.95	210.70	212.87	213.17	±2.63
CIAT 899	50	48.40	45.80	43.55	45.91	±2.42
	100	90.40	90.82	91.45	90.89	±0.52
	150	135.30	138.20	136.85	136.78	±1.45
	200	173.70	174.95	175.90	174.85	±1.10
	250	218.55	218.95	218.85	218.78	±0.20

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	90. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	42.30	43.90	43.40	43.20	±0.81
	100	95.30	94.70	95.20	95.06	±0.32
	150	141.15	141.87	142.80	141.94	±0.82
	200	185.75	189.97	194.60	190.10	±4.42
	250	236.90	230.30	232.70	233.30	±3.34
38F	50	49.35	49.15	48.85	49.11	±0.25
	100	94.85	93.95	94.01	94.27	±0.50
	150	146.50	144.45	145.27	145.40	±1.03
	200	186.20	185.75	184.97	185.64	±0.61
	250	233.85	235.45	235.20	234.83	±0.86
CIAT 899	50	44.90	44.60	43.90	44.46	±0.51
	100	93.85	94.60	94.32	94.25	±0.37
	150	141.25	142.57	144.30	142.70	±1.52
	200	186.10	186.70	186.50	186.43	±0.30
	250	239.00	239.60	240.15	239.58	±0.57

Tablo 10'un devamı

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	120. Dakika				
		Paralel			ORTALAMA	Standart Sapma
		1.	2.	3.		
23F	50	44.85	43.97	45.10	44.64	±0.59
	100	92.85	94.95	99.10	95.63	±3.18
	150	142.40	142.17	141.75	142.10	±0.33
	200	180.65	186.05	182.90	183.20	±2.71
	250	228.60	231.90	236.30	232.26	±3.86
38F	50	49.65	48.80	48.55	49.00	±0.57
	100	90.75	92.92	97.10	93.59	±3.22
	150	142.15	145.85	144.10	144.03	±1.85
	200	184.30	184.95	187.55	185.60	±1.71
	250	233.25	234.50	235.25	234.33	±1.01
CIAT 899	50	49.20	48.85	48.98	49.01	±0.17
	100	94.50	95.90	97.90	96.10	±1.70
	150	138.95	140.55	142.75	140.75	±1.90
	200	188.80	187.67	186.75	187.74	±1.02
	250	238.75	239.30	239.12	239.05	±0.28

Tablo 11. pH 6'da farklı süre ve konsantrasyonlardaki biyosorpsiyon kapasite değerleri (mg/g)

Bakteriler	Konsantrasyon mg/l	Biyosorpsiyon Kapasite Değerleri mg/g				
		5. dk	30. dk	60. dk	90. dk	120. dk
23F	50	2.37	3.57	4.59	3.40	2.68
	100	1.79	4.12	3.88	2.47	2.18
	150	2.21	6.27	7.42	4.03	3.95
	200	1.84	13.29	14.43	4.95	8.40
	250	2.57	18.33	19.24	8.35	8.87
38F	50	0.69	0.46	1.45	0.44	0.50
	100	0.87	3.49	5.75	2.86	3.20
	150	1.15	5.48	6.51	2.30	2.98
	200	1.98	12.74	14.98	7.18	7.20
	250	4.68	15.85	18.41	7.58	7.83
CIAT 899	50	0.97	1.17	2.04	2.77	0.49
	100	0.89	2.22	4.55	2.87	1.95
	150	2.34	5.27	6.61	3.65	4.62
	200	3.18	11.11	12.57	6.78	6.13
	250	2.34	14.20	15.61	5.21	5.47

Rhizobium phaseoli 23F izolatı; pH 6'da en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 19.24 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 60. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 1.79 mg/g değeri ile 100 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 5. dakikada ulaşılmıştır.

Rhizobium phaseoli 38F izolatı; pH 6'da en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 18.41 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 60. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 0.44 mg/g değeri ile 50 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 90. dakikada ulaşılmıştır.

Rhizobium phaseoli CIAT 899 nolu suş; pH 6'da en yüksek biyosorpsiyon kapasitesine 15.61 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 60. dakikada, en düşük biyosorpsiyon kapasitesine 0.49 mg/g değeri ile 50 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 120. dakikada ulaşılmıştır.

pH 6'da en iyi Ni(II) iyonu giderimi *Rhizobium phaseoli* 23F izolatında 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 60. dakikada 19.24 mg/g, en az Ni(II) iyonu giderimi *Rhizobium phaseoli* 38F izolatında 50 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 90. dakikada 0.44 mg/g değerinde gözlenmiştir (Tablo 11).

Kıvanç ve arkadaşları (1996), krom içeren endüstriyel atık sudan izole edilen *Bacillus subtilis* ile Cr(6) iyonlarının adsorpsiyonunu, bununla birlikte farklı pH ve başlangıç iyon konsantrasyonlarının (25-200 ppm) *Bacillus subtilis*'e Cr(6) adsorpsiyonundaki etkilerini test etmiş ve atık sulardan Cr(6) iyonlarının giderilmesinde optimum koşulları araştırmışlardır. Cr(6) iyonlarının *B. subtilis* bakterilerine adsorpsiyonu ortamın pH'sına bağlı olarak değişmiştir. Düşük pH'da adsorpsiyon oranı diğer pH'lara göre daha yüksek olmuştur. Maksimum adsorpsiyon pH 1'de meydana gelmiştir. Ortamdaki başlangıç Cr(6) iyonu konsantrasyonu arttıkça metal adsorpsiyon hızı da artmıştır. Maksimum adsorpsiyon oranı 100 ile 200 mg/l başlangıç iyon konsantrasyonlarında elde edilmiştir [45]. Araştırmacıların bulgularına paralel olarak araştırmamızda *Rhizobium phaseoli* 38F izolatında adsorpsiyon oranı düşük pH'da diğer pH'lara göre daha yüksek olmuş ve maksimum adsorpsiyon pH 3'te gözlenmiştir. Ayrıca başlangıç Ni(II) iyonu konsantrasyonu arttıkça metal adsorpsiyon hızı da artmış ve maksimum adsorpsiyon 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyonu konsantrasyonunda gerçekleşmiştir.

Özer ve arkadaşları (1996), kurşun (II) iyonlarının *Rhizopus arrhizus*'a adsorpsiyonuna ortam koşullarının etkisini kesikli karıştırmalı bir kapta araştırmışlardır. Başlangıç adsorpsiyon hızına pH, sıcaklık, kurşun (II) iyon derişimleri ve mikroorganizma

derişimlerinin etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Başlangıç pH'sının 4.0-4.5, sıcaklığın 30°C, başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin 100 mg/l ve mikroorganizma derişiminin 0.25 g/l değerlerinde en yüksek adsorpsiyon hızları elde etmişlerdir [46]. Araştırmacılar pH 4.0-4.5'da pH 3'ten daha yüksek adsorpsiyon hızı gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde araştırmamızda *Rhizobium phaseoli* 23F izolatında en yüksek adsorpsiyon hızına pH 4'te ulaşılmış ve pH 3'ten daha yüksek adsorpsiyon hızı elde edilmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi pH 3'te 12.80 mg/g, pH 4'te 21.00 mg/g bulunmuştur. Araştırmacılardan farklı olarak araştırmamızda en yüksek adsorpsiyon hızına 150 mg/l başlangıç Ni(II) iyon derişiminde ulaşılmıştır.

Özer ve Özer (1998), Nikel(II) iyonlarının yeşil alglerden inaktif *Cladophora crispata*'ya adsorpsiyonunu kesikli çalışan karıştırmalı bir kaptan incelemişlerdir. Başlangıç pH'sı, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi ve mikroorganizma derişiminin adsorpsiyon hızına etkileri araştırılarak; en uygun ortam koşulları; başlangıç pH'sını 5.0, sıcaklığı 25°C, başlangıç metal iyon derişimini 200 mg/l ve mikroorganizma derişimini 1.0 g/l olarak belirlenmiştir [47]. Araştırmamızda da *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suşta en yüksek adsorpsiyon hızı pH 5.0 değerinde elde edilmiştir. Araştırmacıların düşük pH'larda başlangıç adsorpsiyon hızlarının düşük olduğu; pH'nın 5.0 değerinde optimum, daha yüksek pH'larda ise hızların azaldığı tespitleri araştırmamızda *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suşta gözlenmiş ve bu açıdan paralellik göstermiştir.

Özdemir ve arkadaşları (2003), Aktif çamurdan izole edilen *Ochobactrum anthropi* ile Cr(VI), Cd(II) ve Cu(II) iyonlarının adsorpsiyonunu araştırmışlardır. pH, metal konsantrasyonu ve etkileşim zamanının etkisini incelemişlerdir. Optimum adsorpsiyon pH değerlerini; Cr(VI), Cd(II) ve Cu(II) için sırasıyla; 2.0, 8.0 ve 3.0 olarak belirlemişlerdir [48]. Araştırmacılar Cu(II) için optimum adsorpsiyon pH değerini pH 3.0'te 91.6 mg/l başlangıç Cu(II) iyon konsantrasyonunda 26.0 mg/g olarak belirlemişlerdir. Süre açısından ise en iyi adsorpsiyon hızına ilk 5 dakika içerisinde ulaşıldığını ve 2 saat sonunda neredeyse sabit kaldığını gözlemlemişlerdir. Araştırmamızda *Rhizobium phaseoli* 38F izolatında Ni(II) için optimum adsorpsiyon pH 3.0'te 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda 34.49 mg/g değeri ile bulunmuşken, süre ise araştırmadan farklı olarak 120. dakika olarak belirlenmiştir. Bu araştırmanın bulguları ile bulgularımız pH açısından benzerlik göstermesine karşın, başlangıç metal iyonu konsantrasyonu ve süre açısından farklılıklar mevcuttur. Bu farklılığın kullanılan biyosorbentin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İlhan ve arkadaşları (2004), endüstriyel atıksulardan krom, kurşun ve bakır iyonlarının mikroorganizmalar tarafından biyosorpsiyonunu araştırmışlardır. Mikroorganizmalar topraktan izole edilmiş ve araştırmada *Staphylococcus saprophyticus* olarak tanımlanan bakteri kullanılmıştır. pH, sıcaklık ve başlangıç metal iyonu konsantrasyonunun biyosorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Optimum pH değerleri krom, kurşun ve bakır iyonlarının biyosorpsiyonu için sırasıyla 2.0, 4.5 ve 3.5 bulunmuştur. Maksimum adsorpsiyon Cr^{6+} , Pb^{2+} ve Cu^{2+} için, 193.66 mg Cr^{6+}/l ; 100 mg Pb^{2+}/l ve 105 mg Cu^{2+}/l başlangıç konsantrasyonlarında gözlenmiş ve bu koşullar altında biyosorpsiyon değerleri sırasıyla 88.66 mg Cr^{6+}/l ; 100 mg Pb^{2+}/l ve 44.94 mg Cu^{2+}/l bulunmuştur [12]. Araştırmamızda Ni(II) iyonu için maksimum adsorpsiyon değerleri pH 3'te *Rhizobium phaseoli* 38F izolatında 250 mg/l konsantrasyonda 34.49 mg/g olarak bulunmuşken; pH 4'te *Rhizobium phaseoli* 23F izolatında 150 mg/l konsantrasyonda 21.00 mg/g bulunmuştur. Elde ettiğimiz sonuçların biyosorpsiyon kapasiteleri göz önüne alındığında bu araştırmaya göre düşük seviyede olması kullanılan mikroorganizma ve derişiminin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Elmacı ve arkadaşları (2005), Yaygın olarak kullanılan 3 alg türünü (*Chara sp.*, *Cladophora sp.* ve *Chlorella sp.*) Zn(II), Cd(II), Co(II) gibi ağır metal iyonlarının biyosorpsiyonunda kullanmışlardır. Yapılan çalışmada ağır metal (20-60 mg/l) çözeltilerle farklı pH aralığında (2.0-8.0) alg türlerinin biyosorpsiyonunu incelemişlerdir. En iyi adsorpsiyonun sağlandığı optimum pH *Cladophora sp.* ile yapılan çalışmada Cd(II), Zn(II) ve Co(II) için sırasıyla; 6.0; 5.0 ve 5.0; *Chara sp.* ile yapılan çalışmada 6.0; 5.0 ve 6.0; *Chlorella sp.* ile yürütülen çalışmada 5.0; 6.0 ve 5.0 olarak belirlenmiştir. Ağır metal çalışmasında en iyi giderim *Cladophora sp.* ile elde edilmiştir [49]. Araştırmacılar farklı ağır metal iyonları için en iyi adsorpsiyonun gerçekleştiği pH'ları pH 5.0 ve pH 6.0 olarak belirlemişlerdir. Araştırmamızda *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suşta pH 5.0'te Ni(II) ağır metal iyonu için en iyi adsorpsiyon elde edilmiştir. Ancak pH 6.0'da araştırmada kullandığımız 3 bakteride de Ni(II) ağır metal iyonu için en iyi adsorpsiyon gözlenmemiştir. Kullanılan mikroorganizma türünün farklı olması ve bu duruma paralel olarak mikroorganizmaların farklı pH'larda metal iyonlarıyla farklı etkileşim göstermeleri bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.

Çabuk ve arkadaşları (2007), endüstriyel olarak alkol üretiminde kullanılan *Saccharomyces cerevisiae* hücrelerinin Cu(II) iyonu giderim yeteneklerini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmada, pH, başlangıç Cu(II) iyon konsantrasyonu ve süre gibi

biyosorpsiyon parametreleri için optimizasyon çalışmaları yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda en yüksek Cu(II) biyosorpsiyon kapasitesine 58.8 mg/g değeri ile 200 mg/l başlangıç Cu(II) iyonu konsantrasyonunda, pH 5.0 değerinde ve 5 dakika süre içerisinde ulaşılmıştır [50]. Araştırmamızda *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suşta en yüksek Ni(II) biyosorpsiyon kapasitesine 19.99 mg/g değeri ile 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyonu konsantrasyonunda pH 5.0 değerinde ve 30. dakikada ulaşılmıştır. Elde ettiğimiz sonuçların bu araştırmayla biyosorpsiyon kapasitesi ve süre açısından farklı olmasının nedeni kullanılan mikroorganizma türünün farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak pH'nın aynı ve metal iyonu konsantrasyonlarının da birbirine yakın olması iki araştırmanın birbiriyle uyumlu olduğunu destekleyen sonuçlardır.

Yazıcı (2007), bakır (Cu^{2+}) ve krom (Cr) iyonlarının *Marrubium globosum* ssp. *globosum* biyokütlesi kullanarak sulu çözeltilerden biyosorpsiyonunu incelemiştir. Elde edilen sonuçlarda Cu^{2+} ve Cr biyosorpsiyonunun optimum pH değerleri sırası ile 5.5 ve 3.0 olarak bulunmuş, her iki metal iyonunun biyosorpsiyonu 60 dakikada dengeye ulaşmıştır. Her iki metal iyonunun biyosorpsiyonunun başlangıç metal konsantrasyonu ve başlangıç sıcaklık artışı ile arttığı gözlenmiştir [20]. Araştırmamızda *Rhizobium phaseoli* 38F izolatu için en yüksek biyosorpsiyon değerine pH 3'te 120. dakikada 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyonu konsantrasyonunda ulaşılmışken, *Rhizobium phaseoli* CIAT 899 nolu suşta pH 5'te 30. dakikada 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyonu konsantrasyonunda ulaşılmıştır. Araştırmacıların tespitlerine paralel olarak araştırmamızda da artan başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak biyosorpsiyonun arttığı gözlemlenmiş ve maksimum biyosorpsiyon her iki pH'da da 250 mg/l başlangıç Ni(II) iyon konsantrasyonunda gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Sağlam, N., Cihangir, N.,** 1995. Ağır Metallerin Biyolojik Süreçlerle Biyosorpsiyonu Çalışmaları, *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11, 157-161.
- [2] **Özdemir, S.,** 2008. Ağır Metallerin Değişik Termofilik Bakterilerdeki Akümüasyonu, Biyosorpsiyonu ve Çevre Biyoteknolojisinde Kullanımı Üzerine Çalışmalar, *Doktora Tezi*, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- [3] **Demiroğlu, A.,** 2010. Basil Türü Bazı Mikroorganizmalar Üzerine Ağır Metallerin Biyosorpsiyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- [4] **Ucun, H.,** 2001. Sarı Çam (*Pinus sylvestris*) Kozalağı Biyoması Kullanılarak Atıksulardaki Ağır Metallerin Biyosorpsiyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- [5] **Bahadır, T.,** 2005. Endüstriyel Atıksulardan Biyosorpsiyonla Kurşun Gideriminin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- [6] **Çokadar, H., İleri, R., Ateş, A., İzgi, B.,** 2003. Nikel (II) İyonunun Sulu Ortamdan Granül Aktif Karbon (GAK) ile Giderilmesi, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 12 (46), 38-42.
- [7] **Gremion, F.,** 2003. Analyses Of Microbial Community Structures and Functions In Heavy Metal-Contaminated Soils Using Molecular Methods, *Ph.D. thesis*, Swiss Federal Institute of Technology of Lausanne.
- [8] **Demirel, S.,** 2008. Doğal Ortamdaki Fizikokimyasal Şartların Ağır Metal Biyosorpsiyonuna Etkisi, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [9] **Prego, R., Cobelo-Garcia, A.,** 2003. Twentieth Century Overview of Heavy Metals in the Galician Rias (NW Iberian Peninsula), *Environmental Pollution*, 121, 425–452.
- [10] **Malik, A.,** 2004. Metal Bioremediation Through Growing Cells, *Environment International*, 30, 261-278.
- [11] **Zouboulis, A.I., Loukidou, M.X., Matis, K.A.,** 2004. Biosorption of Toxic Metals from Aqueous Solutions by Bacteria Strains Isolated from Metal-Polluted Soils, *Process Biochemistry*, 39, 909–916.
- [12] **İlhan, S., Nourbakhsh, M.N., Kılıçarslan, S., Özdağ, H.,** 2004. Removal of Chromium, Lead and Copper Ions from Industrial Waste Waters by *Staphylococcus saprophyticus*, *Turkish Electronic Journal of Biotechnology*, 2, 50-57.
- [13] **Aslan, S., Bozkurt, Z., Tekeli, A.N.,** 2007. Cu (II), Ni (II), Cd (II) ve Cr (VI) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Biyosorpsiyon Yöntemi ile Giderilmesi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 25 (2), 209-222.

- [14] **Malkoç, E., Nuhoglu, Y.,** 2006. Palamut Meşesi (*Quercus ithaburensis*) Atığı ile Sabit Yataklı Kolonda Cr(VI) Biyosorpsiyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (2), 31-45.
- [15] **Hussein, H., Ibrahim, S.F., Kandeel K., Moawad, H.,** 2004. Biosorption of Heavy Metals from Waste Water Using *Pseudomonas sp.*, *Electronic Journal of Biotechnology*, 7 (1), 38-46.
- [16] **Liu, H.L., Chen, B.Y., Lan, Y.W., Cheng, Y.C.,** 2004. Biosorption of Zn(II) and Cu(II) by the İndigenous *Thiobacillus thiooxidans*, *Chemical Engineering Journal*, 97, 195–201.
- [17] **Costa, A.C.A., Duta, F.P.,** 2001. Bioaccumulation of Copper, Zinc, Cadmium and Lead by *Bacillus sp.*, *Bacillus cereus*, *Bacillus sphaericus* and *Bacillus subtilis*, *Brazilian Jorنال of Microbiology*, 32, 1-5.
- [18] **Karaca, M.,** 2008. Sudaki Pb⁺², Cd⁺² ve Ni⁺² İyonlarının Atomik Spektrometrik Tayini Öncesi *Dunaliella salina*, *Oocystis sp.*, *Porphyridium cruentum* ve *Scenedesmus protuberans* Tarafından Biyosorpsiyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [19] **Müftüoğlu, B.,** 2010. Kuru Aktif Çamur ve *Spirulina platensis* Kullanılarak Cu⁺² Biyosorpsiyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- [20] **Yazıcı, H.,** 2007. *Marrubium Globosum* SSP. *Globosum* Bitkisi ile Sulu Çözeltilerden Cr ve Cu²⁺ İyonlarının Biyosorpsiyonunun İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [21] **Vijayaraghavan, K., Yun, Y.S.,** 2008. Bacterial Biosorbents and Biosorption, *Biotechnology Advances*, 26, 266–291.
- [22] **Ahluwalia, S.S., Goyal, D.,** 2007. Microbial and Plant Derived Biomass for Removal of Heavy Metals from Wastewater, *Bioresource Technology*, 98, 2243–2257.
- [23] **Regine, H.S.F, Volesky, B.,** 2000. Biosorption: A Solution to Pollution, *Internatl Microbiol*, 3, 17-24.
- [24] **Wang, J., Chen, C.,** 2006. Biosorption of Heavy Metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review, *Biotechnology Advances*, 24, 427-451.
- [25] **Alluri, H.K., Ronda, S.R., Settalluri, V.S., Bondili, J.S., Suryanarayana, V. and Venkateshwar, P.,** 2007. Biosorption: An Eco-Friendly Alternative for Heavy Metal Removal, *African Journal of Biotechnology*, 6 (25), 2924-2931.
- [26] **Nakiboğlu, T.,** 2005. Deri Endüstrisi Atıksularından Kromun Çeşitli Alglerle Biyosorpsiyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [27] **Lloyd, J.R.,** 2002. Bioremediation of Metals; the Application of Microorganisms that Make and Break Minerals, *Microbiology Today*, 29, 67-69.
- [28] **Özvardarlı, A.,** 2006. Çevre Biyoteknolojisi Uygulamalarında Biyosorpsiyonun Yeri, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çorlu.

- [29] **Veglio, F. and Beolchini, F.,** 1997. Removal of Metals by Biosorption: A Review, *Hydrometallurgy*, 44, 301-316.
- [30] **Altun Anayurt, R.,** 2009. Biyosorpsiyon Yoluyla Sulu Çözeltilerden Pb(II) ve Cd(II) İyonlarının Uzaklaştırılması İşleminin Denge, Termodinamik ve Kinetik Açından İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Tokat.
- [31] **Tsezos, M. and Volesky B.,** 1981. Biosorption of Uranium and Thorium, *Biotechnology and Bioengineering*, 23, 583-604.
- [32] **Tsezos, M. and Volesky B.,** 1982. The Mechanism of Uranium Biosorption by *Rhizopus arrhizus*, *Biotechnology and Bioengineering*, 24, 385-401.
- [33] **Tsezos, M. and Volesky B.,** 1982. The Mechanism of Thorium Biosorption by *Rhizopus arrhizus*, *Biotechnology and Bioengineering*, 24, 955-969.
- [34] **Kuyucak, N. and Volesky B.,** 1988. Biosorbents for Recovery of Metals from Industrial Solutions, *Biotechnology Letters*, 10 (2), 137-142.
- [35] **Friis, N. and Myers-Keith, P.,** 1986. Biosorption of Uranium and Lead by *Streptomyces longwoodensis*, *Biotechnology and Bioengineering*, 28 (1), 21-28.
- [36] **Muraleedharan, T.R. and Venkobachar, C.,** 1990. Mechanism of Biosorption of Copper (II) by *Ganoderma lucidum*, *Biotechnology and Bioengineering*, 35, 320-325.
- [37] **Venkobachar, C.,** 1990. Metal Removal by Waste Biomass to Upgrade Wastewater Treatment Plants, *Water Science and Technology*, 22 (7-8), 319-320.
- [38] **Cabral, J.P.S.,** 1992. Selective Binding of Metal Ions to *Pseudomonas syringae* Cells, *Microbios*, 286 (71), 47-53.
- [39] **Aksu, Z., Sağ, Y. and Kutsal, T.,** 1992. The Biosorption of Copper (II) by *C. vulgaris* and *Z. Ramigera*, *Environmental Technology*, 13 (6), 579-586.
- [40] **Scott, J.A. and Palmer, S.J.,** 1990. Sites of Cadmium Uptake in Bacteria Used for Biosorption, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 33 (2), 221-225.
- [41] **Holan, Z.R., Volesky, B. and Prasetyo, I.,** 1993. Biosorption of Cadmium by Biomass of Marine Algae, *Biotechnology and Bioengineering*, 41 (8), 819-825.
- [42] **Mukhopadhyay, M., Noronha, S.B., Suraishkumar, G.K.,** 2007. Kinetic Modeling for the Biosorption of Copper by Pretreated *Aspergillus niger* Biomass, *Bioresource Technology*, 98, 1781-1787.
- [43] **Dursun, A.Y.,** 2006. A Comparative Study on Determination of The Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Parameters of Biosorption of Copper(II) and Lead(II) Ions onto Pretreated *Aspergillus niger*, *Biochemical Engineering Journal*, 28, 187-195.
- [44] **Ahmad, A.L., Bhatia, S., Ibrahim, N. and Sumathi, S.,** 2005. Adsorption of Residual Oil from Palm Oil Mill Effluent Using Rubber Powder, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22 (3), 371-379.
- [45] **Kıvanç, M., Karakaş, N., Platin, S.,** 1996. Atık Sulardaki Krom İyonlarının Giderilmesinde *Bacillus subtilis*'in Kullanılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 20, 17-20.

- [46] **Özer, A., Ekiz, H.İ., Özer, D., Kutsal, T., Çağlar, A.,** 1996. Kurşun (II) İyonlarının Kesikli Reaktörde *Rhizopus arrhizus*'a Adsorpsiyonu, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 21, 27-31.
- [47] **Özer, A., Özer, D.,** 1998. Nikel(II) İyonlarının İki Kademeli Kesikli Kaptı *Cladophora crispata* ile Giderilmesi , Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 22, 305-313.
- [48] **Özdemir, G., Öztürk, T., Ceyhan, N., İşler, R., Coşar, T.,** 2003. Heavy Metal Biosorption by Biomass of *Ochrobactrum anthropi* Producing Exopolysaccharide in Activated Sludge, *Bioresource Technology*, 90, 71-74.
- [49] **Elmacı, A., Yonar, T., Özengin, N., Türkoğlu, H.,** 2005. Zn(II), Cd(II), Co(II) ve Remazol Turkish Blue-G Boyar Maddesinin Sulu Çözeltilerinde Kurutulmuş *Chara sp.*, *Cladophora sp.* ve *Chlorella sp.* Türleri ile Biyosorpsiyonun Araştırılması, *Ekoloji Dergisi* 14, 55, 24-31.
- [50] **Çabuk, A., Akar T., Kotluk, Z., Şaşmaz, S.,** 2007. *Saccharomyces cerevisiae* Hücreleri ile Ağır Metal Giderimi ve Metal Toleransı, *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 5 (3), 1-7.

ÖZGEÇMİŞ

10.03.1987 yılında Elazığ'da doğdum. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da, tamamladım. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji bölümünde lisans öğrenimine başladım ve 2009 yılında lisans programından mezun oldum. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji bölümünde yüksek lisans eğitime başladım.