

**LİF KABAĞI SÜNGERİNE TUTUKLANMIŞ  
*Pseudomonas putida* HÜCRELERİ İLE BAKIR (II)  
İYONLARININ BİYOSORPSİYONU**

**Arzuhan ŞİHOĞLU-TEPE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİYOLOĞİ ANABİLİM DALI  
2003**

T.C.  
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİF KABAĞI SÜNGERİNE TUTUKLANMIŞ *Pseudomonas putida*  
HÜCRELERİ İLE BAKIR (II) İYONLARININ BİYOSORPSİYONU**

Arzuhan ŞİHOĞLU-TEPE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**SİVAS-2003**

**Danışman**

**Yrd. Doç. Dr. Rana TAŞKIN**

## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Biyoloji Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Üye

Üye

Üye

Üye

Y. Doç. Dr. H. Nurşevim ÖZTÖP  
Y. Doç. Dr. Rana TAŞKIN  
Y. Doç. Dr. Meltem Sarıgözü  
.....  
.....

### ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen Öğretim Üyeleri'ne ait olduğunu onaylıyorum.

05.09.2003

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. Rauf AMİROV

R. Amirov

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 05 / 01 / 1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30 / 12 / 1993 tarihinde C. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'nce hazırlanan ve yayınlanan "Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Kılavuzu" adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

*ŒIHOĐLU ailesine sevgi ve saygılarımla ...*

*Arzuhan ŒIHOĐLU-TEPE*

**İÇİNDEKİLER**

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Ağır Metaller ve Çevre Kirliliği	1
1.2. Ağır Metallerin Canlı Organizmalar Üzerine Etkisi	2
1.3. Ağır Metallerin Biyosorpsiyon Mekanizmaları	3
1.4. Çalışmanın Amacı	6
2. MATERYAL ve METOT	7
2.1. Materyal	7
2.1.1. Kullanılan Mikroorganizma	7
2.1.2. Kimyasal Maddeler	7
2.2. Metot	7
2.2.1. Mikroorganizmaların Üretilmesi	7
2.2.2. Mikroorganizmanın Lif Kabağına Tutuklanması	7
2.2.3. Deney Sistemi	8
2.2.4. Çalışma Koşulları	8
2.2.5. Analiz Yöntemleri	8
2.2.6. Adsorplanan Bakır (II) İyonu Miktarının Hesaplanması ve Adsorpsiyon Kinetikleri	9
3. BULGULAR	10
3.1. Farklı Partikül Büyüklüklerine Sahip Lif Kabaklarının Bakteri Tutuklama Kapasiteleri	10
3.2. Bakır (II) İyonlarının Adsorpsiyonu Üzerine Lif Kabağı Büyüklüğünün Etkisi	11
3.3. Bakır (II) İyonlarının Adsorpsiyonu Üzerine Farklı Başlangıç pH'larının Etkisi	13
3.4. Bakır (II) İyonlarının Adsorpsiyonu Üzerine Sıcaklığın Etkisi	14

3.5. Başlangıç Bakır (II) İyonu Derişiminin Adsorpsiyon Üzerine Etkisi	16
3.6. Bakır (II) İyonu Adsorpsiyonu Üzerine Çalkalama Hızının Etkisi	17
3.7. Bakır (II) İyonu İçin Adsorpsiyon Kinetikleri	19
4. TARTIŞMA ve SONUÇ	21
4.1. Bakır (II) İyonu Adsorpsiyonu Üzerine Lif Kabağı Büyüklüğünün Etkisi	21
4.2. Bakır (II) İyonu Adsorpsiyonu Üzerine Farklı Başlangıç pH'larının Etkisi	22
4.3. Bakır (II) İyonu Adsorpsiyonu Üzerine Sıcaklığın Etkisi	23
4.4. Başlangıç Bakır (II) İyonu Derişiminin Adsorpsiyon Üzerine Etkisi	24
4.5. Bakır (II) İyonu Adsorpsiyonu Üzerine Çalkalama Hızının Etkisi	25
4.6. Bakır (II) İyonu için Adsorpsiyon Kinetikleri	25
5. KAYNAKLAR	26
6. ÖZGEÇMİŞ	32

**ÖZET**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**LİF KABAĞI SÜNGERİNE TUTUKLANMIŞ *Pseudomonas putida*  
HÜCRELERİ İLE BAKIR (II) İYONLARININ BİYOSORPSİYONU**

**Arzuhan ŞİHOĞLU-TEPE**

**Cumhuriyet Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyoloji Anabilim Dalı**

**Danışman**

**Yrd. Doç. Dr. Rana TAŞKIN**

Bu çalışmada lif kabağı süngerine tutuklanmış *Pseudomonas putida* hücreleri ile bakır (II) iyonlarının biyosorpsiyonu araştırıldı. Bu amaçla, farklı lif kabağı partikül büyüklüğü, başlangıç pH, sıcaklık, başlangıç bakır (II) iyonu derişimi ( $C_0$ ) ve çalkalama hızının bakır (II) iyonu adsorpsiyonu üzerine etkisi incelendi. Yapılan çalışmalar sonucunda optimum koşullar olarak, lif kabağı büyüklüğü 0.42-0.85 mm; başlangıç pH 5.0; sıcaklık 30 °C; başlangıç bakır (II) iyonu derişimi 25 mg L<sup>-1</sup> ve çalkalama hızı 130 devir dk<sup>-1</sup> olarak saptandı. Kinetik hesaplamalar sonucunda, *P. putida* tutuklanmış lif kabağı süngerinde adsorbsiyon hızı ( $r_0$ ) 0.077 mg g<sup>-1</sup> dk<sup>-1</sup> ve denge halinde adsorblanan bakır (II) iyonu miktarı ( $Q_{max}$ ) 0.39 mg g<sup>-1</sup> olarak bulunurken, *P. putida* içermeyen lif kabağı süngerinde adsorbsiyon hızı ( $r_0$ ) 0.052 mg g<sup>-1</sup> dk<sup>-1</sup> ve denge halinde adsorblanan bakır (II) iyonu miktarı ( $Q_{max}$ ) 0.096 mg g<sup>-1</sup> şeklinde kaydedildi.

**Anahtar Kelimeler:** Biyosorpsiyon, *Pseudomonas putida*, bakır (II) adsorpsiyonu.



**SUMMARY****M. Sc.****THE BIOSORPTION OF COPPER (II) IONS BY *Pseudomonas putida* CELLS  
IMMOBILIZED TO THE VEGETABLE SPONGE OF *Luffa cylindrica*****Arzuhan ŞIHOĞLU-TEPE****Cumhuriyet University  
Graduate School of Natural and  
Applied Sciences  
Department of Biology****Supervisor****Assist. Prof. Dr. Rana TAŞKIN**

In this study, the biosorption of copper (II) ions by *Pseudomonas putida* cells immobilized to the vegetable sponge of *Luffa cylindrica* was investigated. For this purpose, effects of vegetable sponge particle size differences, initial pH, temperature, initial copper (II) ion concentration ( $C_0$ ) and the shaking rate on adsorption of copper (II) ions were examined. As a result of the study, optimum conditions were determined as follows: vegetable sponge particle size 0.42-0.85 mm; initial pH 5.0; temperature 30 °C; initial copper (II) ion concentration 25 mg L<sup>-1</sup> and shaking rate 130 cycle minute<sup>-1</sup>. According to the kinetic calculations; in the case of *P. putida* cells immobilized to the vegetable sponge, adsorption rate ( $r_0$ ) and the amount of Cu (II) ions in equilibrium ( $Q_{max}$ ) were found as 0.077 mg g<sup>-1</sup> dk<sup>-1</sup> and 0.39 mg g<sup>-1</sup>, respectively; while these values were 0.052 mg g<sup>-1</sup> dk<sup>-1</sup> and 0.096 mg g<sup>-1</sup> for vegetable sponge without *P. putida* cells.

**Key Words:** Biosorption, *Pseudomonas putida*, copper (II) adsorption.

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca yardımını esirgemeyen danıőmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Rana TAŞKIN'a, laboratuvar çalışmaları ve sonrasında yardımlarını gördüğüm hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Emine KAÇMAZOĞLU'na, Sayın Yrd. Doç. Dr. Nursevin ÖZTOP'a, ve Sayın Doç. Dr. Münevver SÖKMEN'e, çalıőmalarım boyunca hep yanımda olan eőim Arő. Gör. Bektaő TEPE'ye, maddi ve manevi anlamda yardımlarını esirgemeyen annem Nilüfer ŞIHOĞLU, babam Alaattin ŞIHOĞLU ve kardeőim Aslıhan ŞIHOĞLU'na teőekkürlerimi sunarım.

**Arzuhan ŞIHOĞLU-TEPE**

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Şekil 1.1</b> Metal iyonlarının biyosorpsiyon mekanizması	5
<b>Şekil 3.1</b> Farklı partikül büyüklüğüne göre lif kabaklarının tutuklama kapasiteleri (w/w)	10
<b>Şekil 3.2</b> Bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu üzerine lif kabağı büyüklüğünün etkisi	11
<b>Şekil 3.3</b> Denge durumunda farklı partikül büyüklüğüne sahip lif kabaklarının bakır (II) iyonu adsorpsiyonu üzerine etkisi	12
<b>Şekil 3.4</b> Bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu üzerine farklı başlangıç pH'larının zamana bağlı değişimi	13
<b>Şekil 3.5</b> Denge konumunda farklı başlangıç pII'larının bakır (II) iyonu adsorpsiyonu üzerine etkisi	14
<b>Şekil 3.6</b> Bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın zamana bağlı değişimi	15
<b>Şekil 3.7</b> Denge konumunda bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi	15
<b>Şekil 3.8</b> Bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu üzerine başlangıç bakır (II) iyonu derişiminin zamana bağlı değişimi	16
<b>Şekil 3.9</b> Denge konumunda farklı başlangıç bakır (II) iyonu derişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi	17
<b>Şekil 3.10</b> Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu üzerine çalkalama hızının etkisi	18
<b>Şekil 3.11</b> Farklı çalkalama hızlarının bakır (II) iyonu adsorpsiyonu üzerine etkisi	18
<b>Şekil 3.12</b> <i>P. putida</i> hücreleri tutuklanmış lif kabağı ve <i>P. putida</i> tutuklanmamış lif kabağı için bakır (II) iyonu adsorpsiyon eğrileri	19
<b>Şekil 3.13</b> <i>P. putida</i> hücreleri tutuklanmış lif kabağı ve <i>P. putida</i> tutuklanmamış lif kabağı için bakır (II) iyonu adsorpsiyonunda kinetik eğriler	20

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Ağır Metaller ve Çevre Kirliliği

İnsanoğlu yüzyıllar boyunca doğa ile iç içe yaşamış ve yaşamsal faaliyetlerini yerine getirebilmek için gereksinim duyduğu ihtiyaçlarının pek çoğunu, aynı zamanda yaşama ortamı olarak kullandığı doğal çevreden edinme yoluna gitmiştir. Bu gereksinimlerin başında beslenme gelmektedir. İnsanoğlunun beslenme gereksinimlerini karşılayışının tarihçesine göz atılacak olursa, ilk dönemlerde basit bir avlanma ihtiyacına ve çevreyi nispeten doğal haliyle kabullenme içgüdüsüne sahip olduğu görülecektir. Ancak ilerleyen dönemlerde nüfustaki hızlı artış ve kentleşme, yetersiz bir alt yapının oluşmasına yol açmıştır. Buna paralel olarak sanayileşmede de büyük bir ivme kaydedilmiştir. Artan ihtiyaca cevap verebilmek için, sayıları gün geçtikçe artan sanayi kuruluşları günümüzde artık çevreyi tehdit edici konuma ulaşmıştır. Bugün sanayi kuruluşlarının pek çoğunda arıtım tesislerinin bulunmayışı çevreyi olumsuz yönde etkileyen başlıca faktörler arasındadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl 275 milyon tondan fazla zararlı atığın çevreye bırakıldığı tahmin edilmektedir (Crusberg, 1994).

Hava kirliliği, toprak kirliliği, su kirliliği, gürültü kirliliği gibi birçok faktör çevre kirliliğinin öğeleri arasındadır. Kuşkusuz her biri diğerine nazaran oldukça önemli olan bu kirlilik kavramlarının içerisinde su kirliliğinin önemi çok büyüktür. Yaşamın sularda başladığı düşünülecek olursa, sucul sistemlerin organizmalara sunduğu avantajlar daha anlamlı olacaktır. Su, canlıların yaşamı için vazgeçilmezdir.

Su kirliliğine yol açan başlıca etkenler arasında sucul sistemlerin organik kirleticilerin etkilerine maruz kalmaları ve bunun yanısıra büyük çoğunluğunu ağır metallerin oluşturduğu inorganik maddelerin eşik derişimlerin üzerinde bulunmaları gelmektedir (Lee ve Low, 1980). Günümüzde metal kaplama ve cilalama işlemleri, madencilik ve maden cevheri işleme uygulamaları, pil ve akü imalatı, özellikle kömür yakıtlı termal enerji santrali gibi endüstriler su kaynaklarını ağır metaller yönünden kirletmektedir. Ağır metaller canlı

bünyesinde birikebilen, besin zinciri ile insana kadar ulaşabilen ve canlılar için tahriş edici ve toksik etkileri olan maddelerdir (Kesenci ve Ark., 1997).

Sanayi geliştikçe, endüstriyel kuruluşlar da ağır metal kullanımını yaygınlaştırmışlardır. Gelişmekte olan ülkelerde küçük ya da orta dereceli birçok kuruluş, önemli miktarda ağır metal içeren atık maddeleri herhangi bir arıtma işleminden geçirmeden çevreye bırakmaktadır. Bunun en çarpıcı örneğini Malezya'da görmek mümkündür. Burada; bakır, nikel, kurşun, krom ve çinko gibi ağır metalleri içeren atıkların su kaynaklarına yakın yerlerde çevreye boşaltıldıkları bildirilmiştir (Lee ve Low, 1980; Anon, 1995). Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmada, endüstriyel kuruluşlar tarafından çevreye bırakılan atıkların % 90'ından fazlasının doğrudan sucul sistemleri etkilediği belirtilmektedir (Querk ve Ark., 1998).

Metal iyonlarının su kirliliği üzerindeki etkileri, onların sudaki çözünürlüklerinden kaynaklanıyor olabileceği gibi, çözünmeden suyun dibinde toplanmaları sonucunda da gerçekleşebilir. Endüstri kuruluşları tarafından doğrudan sucul sistemlere verilmeseler dahi atmosfere bırakılan ağır metaller, yağışların etkisiyle tekrar yere inerler ve akarsular vasıtasıyla su yataklarına ulaşarak dolaylı yoldan sucul sistemlere karışmış olurlar (Gündüz, 1994).

## **1.2. Ağır Metallerin Canlı Organizmalar Üzerine Etkisi**

Ağır metallerin büyük bir kısmı besin zincirine girmektedir. Metaller, tüm aerob ve birçok anaerob organizma için zorunlu minerallerdir. Bunun yanı sıra bakır, kurşun, kadmiyum ve civa gibi birçok ağır metalin yüksek dozlarının insan sağlığını ciddi şekilde etkilediği kanıtlanmıştır. İnsan vücudu ağır metalleri işleyemez, bu nedenle metaller çeşitli iç organlarda depo edilirler (Kirk ve Ark., 1979). Yüksek miktarda depolama, vücutta ciddi zararlara ve yan etkilere yol açar. Ağır metallerin aşırı miktarı; kanser, kalp ve karaciğer hastalıkları, sinir sistemi bozuklukları ve hipertansiyon gibi hastalıklara neden olur. Ağır metaller, düşük miktarlarda bile, vücutta karsinojenik veya mutajenik olabilecek bileşikler oluştururlar. Böylelikle ağır metallerden yalnızca ilk nesil etkilenmekle kalmaz, bu etkiler aynı zamanda genetik bozukluklarla daha sonraki nesilleri de etkiler. Bu

nedenle, insanların besinlerle birlikte aşırı miktarda ağır metal almaması hem kendi sağlıkları hem de gelecek nesillerin sağlığı açısından oldukça önemlidir (Ruiz-Manriques ve Ark., 1998).

Günümüzde ağır metallerin giderimi konusunda pek çok çalışma yapılmaktadır. Bir sistemin güvenilir olabilmesi için Çevre Koruma Örgütü (Environmental Protection Agency, EPA,1995) tarafından belirlenen su kalite standartlarını karşılıyor olması gerekmektedir. Çevre Koruma Örgütü'nün günümüz standartlarına göre bakır iyonlarının tatlı sulardaki maksimum derişimi  $17 \mu\text{g L}^{-1}$  iken tuzlu sularda bu değer  $2.4 \mu\text{g L}^{-1}$ 'dir (EPA, 1995). Yapılan bazı araştırmalara göre metal temizleme ve kaplama, banyo ve çalkalama atık suları  $120 \text{ ppm}$ 'e kadar bakır (II) iyonu içerebilir. Bakır işleme endüstrilerinde atık sulardaki bakır (II) iyonu  $400 \text{ ppm}$ 'e kadar çıkmaktadır. Standartlara göre içme suyundaki maksimum bakır (II) iyonu  $1.0-1.5 \text{ ppm}$ 'i, sulama sularında ise  $0.2-5.0 \text{ ppm}$ 'i aşmamalıdır. Düşük miktardaki bakır(II) sağlığa zararlı değildir, ancak içme suyunda istenmeyen tat yapar. Vücutta aşırı biriken bakır (II) iyonu, karaciğer bozukluklarına neden olur (Zajic, 1971; Scholz-Baldes ve Lewin, 1967; Patterson, 1977).

### 1.3. Ağır Metallerin Biyosorpsiyon Mekanizmaları

Ağır metal içeren atık suların arıtım temeli, kimyasal olarak metal iyonunun çökebilen bir şekline dönüştürülmesi ilkesine dayanır. Daha ileri arıtmalar için karbon adsorpsiyonu, iyon değişimi, ters ozmoz gibi farklı fizikokimyasal yöntemler kullanılır. Metal kirliliğinin giderilmesinde kullanılan bu klasik yöntemler gerek tesis, gerek ekipman ve gerekse malzeme açısından pratik ve ekonomik olmaktan uzak olup, ayrıca metal kirliliği yönünden de arıtmanın çok verimli olduğu söylenemez (Sağ ve Ark., 1995). Son yıllarda konu ile ilgili araştırmalar, daha az zaman alan, fazla yer ve ekipman gerektirmediği için ucuza mal olan, çok seyreltik çözeltilerden bile ağır metalleri giderebilen, oldukça verimli ve çevreye dost bir yöntem olan biyolojik materyallerle ağır metallerin giderimi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bir çözeltiden biyokütle ile metal iyonlarının geri kazanımına **biyosorpsiyon** denir. Bu işlemde mikrobiyal biyokütlenin

karboksil, amino imidazol, fosfat, sülfhidril, sülfat ve hidroksil gibi hücre yüzeyinde bulunan çeşitli reaktif grupları birer iyon değiştirici gibi davranmaktadır. Mikroorganizmalar metal iyonlarını, hücre dışına salgıladıkları polimerlerle veya hücre duvarındaki proteinlerin fonksiyonel grupları ya da peptid bağlarına bağlayarak da giderebilmektedirler (Gupta ve Ark., 2000). Mantarlar, bakteriler ve mayalar bu amaçla kullanılan mikroorganizma gruplarıdır (Özen ve Ark., 1996).

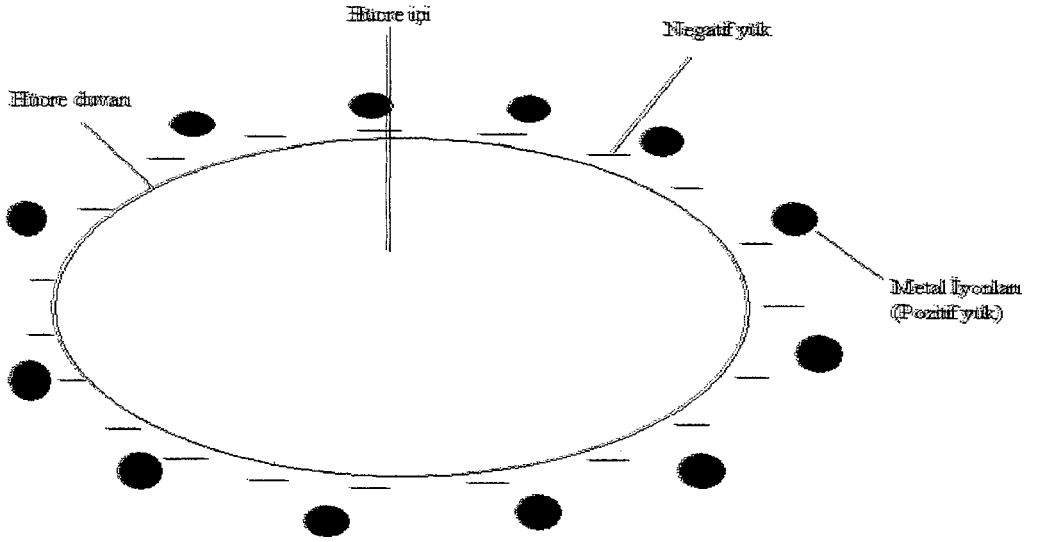
Biyosorpsiyon süreci metabolik enerji gerektirmektedir. Canlı mikroorganizma kullanımında enerji bizzat biyokütlenin kendisi tarafından sağlandığından, bu süreç kendiliğinden de olabilmektedir. Metallerin mikroorganizmalar tarafından adsorpsiyonu sırasında, aktif taşımanın enerji gerektiriyor olması araştırmacılar açısından önemli bir engel oluşturmaktadır. Bu nedenle canlı hücrelerle çalışmak daha avantajlıdır (Tobin ve Ark., 1994). Eğer hücresel gelişimin önemli olmadığı bir deneysel sistem oluşturulmak isteniyorsa, bu durumda metal biyosorpsiyonu genellikle ölü mikroorganizmalar ile yapılmaktadır. Böylelikle metallerin canlı hücreler üzerindeki toksik etkisinden korunulmaktadır (Palmieri ve Ark., 2000).

Yapılan çalışmalar, kullanılan mikroorganizmaların hücre tipi ve içerdiği temel bileşenlerin metal adsorpsiyon mekanizmasını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir (Özen ve Ark., 1996). Bunun yanısıra mikroorganizmanın yüzey özellikleri, film difüzyonu, film kalınlığı ve çözeltinin pH, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi, karıştırma hızı, mikroorganizma derişimi gibi parametreler de ağır metallerin mikroorganizmalara biyosorpsiyonunu etkileyen diğer faktörler arasındadır. Biyosorpsiyon olayında pH oldukça önemli bir parametredir (İleri, 2000).

Mikroorganizmanın, sulu ortamdan hücre yüzeyine metal adsorpsiyonunu açıklayan çeşitli hipotezler öne sürülmüştür. Bunlardan birincisini şöyle açıklamak mümkündür: metal iyonları, hücre yüzeyindeki negatif yüklü tepkime alanları ile kompleks oluşturarak ve/veya pozitif yüklü tepkime alanları ile yer değiştirerek adsorplanır. Bu olaya iyonik (fiziksel) adsorpsiyon adı verilir (Aksu ve Ark., 1994). İkinci hipotez, bazı mikroorganizmaların hücre duvarından uzanan

polimerleri sentezleyebildikleri ve bu polimerlerin çözeltideki metal iyonlarını bağlayabilme yeteneğine sahip olduklarıdır (Sağ ve Ark., 1995). Üçüncü hipotez ise hücre duvarındaki proteinlerin metali bağlamak üzere aktif bölgeler oluşturmasıdır. Ağır metallerin proteinlere karşı kuvvetli bir ilgisi vardır. Metallerin hücre yapısına girmesindeki ilk işlem hücre duvarı veya zarı ile metal iyonu arasındaki etkileşimdir. Mikroorganizma zarlarının dış yüzeyleri metal iyonlarının adsorblanabileceği değişik karbohidrat ve proteinlerden oluşmuştur (Gündüz, 1994).

İleri (2000)'ye göre, hemen hemen bütün organizmalar, yüzeyleri negatif yüklü olduğundan pozitif yüklü metal iyonlarını ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+} / \text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$  v.b.) adsorbe etme yeteneğine sahiptirler. Metal iyonlarının biyosorpsiyon mekanizması Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



**Şekil 1.1.** Metal iyonlarının biyosorpsiyon mekanizması (İleri, 2000).

Günümüzde biyosorpsiyon çalışmaları için çok sayıda ve farklı çalışma sistemleri geliştirilmiştir. Bunun yanısıra kullanılacak mikroorganizmalar üzerinde de ayrıntılı araştırmalar yapılmıştır. Bu mikroorganizmalar arasında



*Rhizopus arrhizus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Zooglea ramigera*, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Chorella vulgaris*, *Schizomeris leibleinii* v.b. sayılabilir. Kesikli sistem, biyokütle rejenerasyonsuz sürekli sistem, biyokütle rejenerasyonlu sürekli sistem, sabit yatak sistemi, akışkan yatak sistemi ve hareketli yatak sistemi ise biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş sistemlerdir (İleri, 2000).

#### 1.4. Çalışmanın Amacı

Çözeltilerden metallerin giderilmesinde immobilize hücrelerin kullanıldığı araştırmalar, genellikle ölü hücreler üzerine yoğunlaşmıştır. Canlı hücrelerin tutuklandığı sistemlerin metal gideriminde kullanıldığı çalışmalar nispeten azdır. Canlı hücrelerin ağır metalleri bünyelerinde biriktirebildiği ve metabolik aktiviteye bağlı olarak aktif giderimin gerçekleştiği de bilinmektedir. Ancak ağır metallerin biyolojik gideriminde aktif giderim ile ilgili çok az literatür bulunmaktadır. Genellikle fenolik bileşiklerin biyolojik parçalanması çalışmalarında kullanılan *P. putida*, ağır metallerin biyosorpsiyonu çalışmalarında da kullanılmaktadır (Zilli ve Ark., 1993; Hannaford ve Kuek, 1999; Mordocco ve Ark., 1999; Gonzalez ve Ark., 2001).

Araştırmamızda matriks olarak lif kabağı süngeri kullanılmıştır. Lif kabağı süngeri, *Luffa cylindrica*'nın olgun meyvelerinden elde edilmektedir. Halk arasında banyo lifi olarak kullanılır ve genellikle lignin özelliğe ağırsı bir yapısı vardır. Doğal, biyofilm üzerine toksik etkisi olmayan, temini kolay ve ucuz olan, ortamdaki iyon ve/veya maddelerden etkilenmeyen ve ağırsı yapısı nedeniyle uzun süre kararlılığını kaybetmeyen bir maddedir (Kuru-Kaçmazoğlu, 1999).

Çalışmamızda yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, atık suların biyolojik gideriminde sık kullanılan mikroorganizmalardan olan canlı *P. putida* hücreleri; lif kabağı süngere tutuklanarak bakır (II) iyonlarının giderimi araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Kullanılan Mikroorganizma

Biyosorbent olarak kullanılan *P. putida*, Prof. Dr. Merih Kıvanç'tan stok kültür olarak temin edilmiştir.

#### 2.1.2. Kimyasal Maddeler

Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler, analitik saflıkta olup hepsi Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nden temin edilmiştir.

### 2.2. Metot

#### 2.2.1. Mikroorganizmaların Üretilmesi

Mikroorganizmaların üretilmesinde Bülbül ve Aksu (1997) tarafından önerilen besiyeri kullanılmıştır.

#### 2.2.2. Mikroorganizmanın Lif Kabağına Tutuklanması

Taşıyıcı matriks olarak *L. cylindrica*'nın olgunlaşmış kuru meyvelerinden elde edilen ağsı sünger kullanılmıştır (İqbal ve Zafer, 1994). Öğütülen lif kabakları ölçülü elekten geçirilerek 0.42-0.85, 0.85-1.00, 1.00-1.40 ve 1.40-2.00 mm olmak üzere dört farklı partikül büyüklüğüne ayrılmıştır.

Bu büyüklüklere sahip 1 g kütleli kuru lif kabaklarının önce mikroorganizmasız, daha sonra da mikroorganizma tutuklanmış olarak yaş kütleleri saptanmıştır. Bu kütleler karşılaştırılarak en iyi mikroorganizma tutuklama kapasitesine sahip büyüklüğün 0.42-0.85 mm olduğu belirlenmiştir. Denemeler, 0.42-0.85 mm partikül büyüklüğündeki lif kabağı ile sürdürülmüştür.

### 2.2.3. Deney Sistemi

*P. putida* hücreleri önce, içinde 1 g kuru lif kabağı bulunan 500 mL'lik erlenmayerlerde, çalkalayıcı etüvde, 30 °C'ta 48 saat inkübe edilmiştir. Daha sonra mikroorganizma tutuklanmış lif kabağı, Whatman No: 6 süzgeç kağıdından süzülerek 3.54 g alınmıştır. Adsorpsiyon çalışmaları, bakır (II) iyonu çözeltisi içeren 100 mL çalışma hacmindeki 250 mL'lik erlenmayerlerin kullanıldığı sabit sıcaklık ve karıştırma hızında çalışabilen çalkalayıcı etüvde gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.4. Çalışma Koşulları

Denemeler: lif kabağı büyüklüğü; 0.42-0.85 mm, başlangıç pH; 5.0, sıcaklık; 25 °C, başlangıç bakır (II) iyonu derişimi; 10 mg L<sup>-1</sup> ve çalkalama hızı; 100 devir dk<sup>-1</sup>'daki çalışma koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Bu parametreler;

1. Lif kabağı büyüklüğünün adsorpsiyona etkisi incelenirken, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85; 0.85-1.00; 1.00-1.40; 1.40-2.00 mm olarak,
2. Başlangıç pH'nın adsorpsiyona etkisi incelenirken, başlangıç pH: 2.5; 3.5; 4.5 ve 5.0 olarak;
3. Sıcaklığın adsorpsiyona etkisi incelenirken, sıcaklık: 20; 25; 30 ve 40 °C olarak,
4. Başlangıç bakır (II) iyonu derişiminin adsorpsiyona etkisi incelenirken, başlangıç bakır (II) iyonu derişimi 10; 25; 50 ve 100 mg L<sup>-1</sup> olarak,
5. Çalkalama hızının adsorpsiyona etkisi incelenirken, çalkalama hızı: 50; 100; 130 ve 150 devir dk<sup>-1</sup> olarak değiştirilmiş ve diğer parametreler bütün denemelerde sabit tutulmuştur.

### 2.2.5. Analiz Yöntemleri

Çalışılan deney düzeneğinde *P. putida* hücreleri tutuklanmış lif kabaklarının bakır (II) iyonu çözeltisine eklendiği an t = 0 olarak alınmıştır. Daha sonra 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 25, 40, 100 ve 160. dakikalarda 5'er mL örnek alınarak süzgeç kağıdından süzölmüş ve çözeltide adsorplanmadan kalan bakır (II) iyonu derişimi

analiz edilmiştir. Analiz, alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresi (FAAS, Unicam 929 Model) kullanılarak yapılmıştır.

### **2.2.6. Adsorplanan Bakır (II) İyonu Miktarının Hesaplanması ve Adsorpsiyon Kinetikleri**

Adsorplanan bakır (II) iyonu miktarının hesaplanmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır:

$$Q = (C_o - C_{son}) \times V_t / M$$

Q = Birim gram biyosorbent başına adsorplanan bakır (II) iyonu miktarı (mg g<sup>-1</sup>)

C<sub>o</sub> = Çözeltinin başlangıç bakır (II) iyonu derişimi (mg L<sup>-1</sup>)

C<sub>son</sub> = Çözeltide kalan bakır (II) iyonu derişimi (mg L<sup>-1</sup>)

V<sub>t</sub> = Çözeltinin toplam hacmi (mL)

M = Lif kabaklarına tutuklanmış bakterinin kütlesi (g)

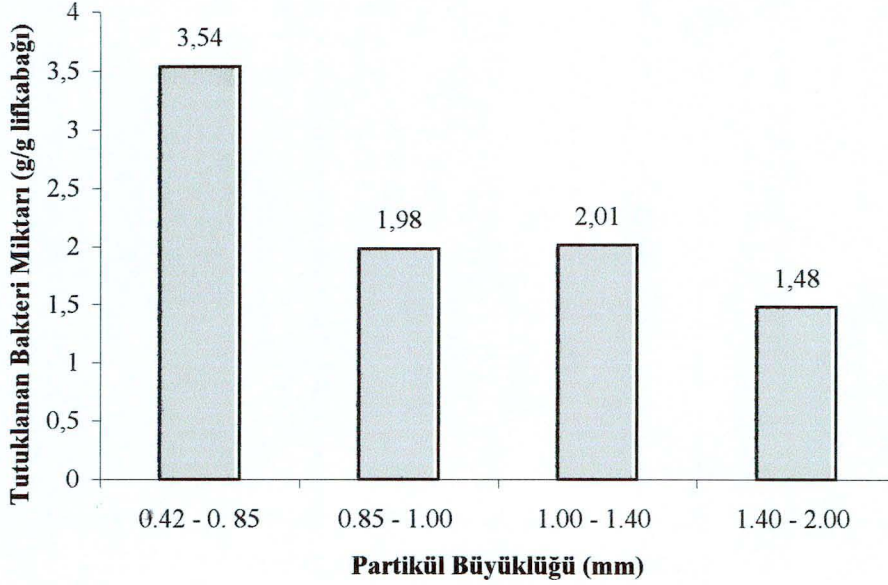
Adsorpsiyon kinetiğinin incelenmesi için optimum koşullarda mikroorganizma içeren ve içermeyen lif kabağıyla yapılan denemeler sonucu adsorplanan bakır (II) iyonu derişimi zamana karşı grafiğe geçirilerek hız ve maksimum adsorplanan miktar hesaplanmıştır.

### 3. BULGULAR

Bu çalışmada, *P. putida* hücreleri kullanılarak değişik parametreler eşliğinde bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu araştırılmıştır. Araştırmada öncelikle farklı partikül büyüklüklerine sahip lif kabaklarının bakteri tutuklama kapasiteleri saptanmıştır. Daha sonra çeşitli parametrelerin (lif kabağı büyüklüğü, pH, sıcaklık, başlangıç bakır (II) iyonu derişimi ve çalkalama hızı) bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

#### 3.1. Farklı Partikül Büyüklüklerine Sahip Lif Kabaklarının Bakteri Tutuklama Kapasiteleri

Farklı partikül büyüklüklerine sahip lif kabaklarının *P. putida* hücrelerini tutuklama kapasiteleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



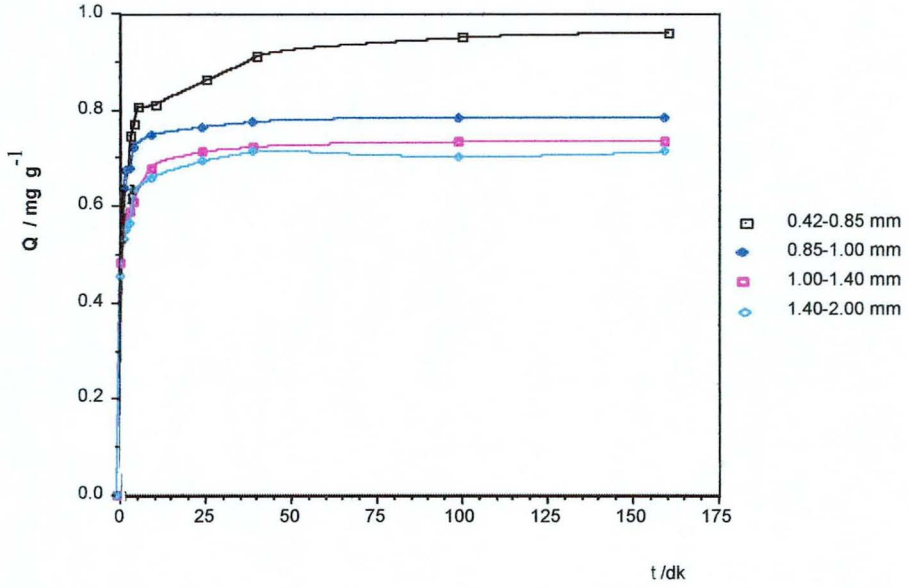
**Şekil 3.1.** Farklı partikül büyüklüğüne göre lif kabaklarının tutuklama kapasiteleri (Verilen değerler, 1 g kuru lif kabağı esas alınarak hesaplanmıştır)

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi partikül büyüklüğü arttıkça bakteri tutuklama kapasitesi azalmaktadır. En küçük partikül büyüklüğüne (0.42-0.85 mm) sahip lif kabaklarında, 3.54 g bakteri tutuklanmışken, en yüksek partikül büyüklüğüne (1.40-2.00 mm) sahip lif kabaklarında 1.48 g bakteri tutuklanmıştır. Bu nedenle

çalışmalarımızda 0.42-0.85 mm partikül büyüklüğüne sahip lif kabakları kullanılmıştır.

### 3.2. Bakır (II) İyonlarının Adsopsiyonu Üzerine Lif Kabağı Büyüklüğünün Etkisi

Bakır (II) iyonu adsopsiyonunun lif kabağı büyüklüğüyle zamana bağlı değişimi araştırılmıştır. Elde edilen Q (birim gram biyosorbent başına adsorplanan mg metal miktarı) değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

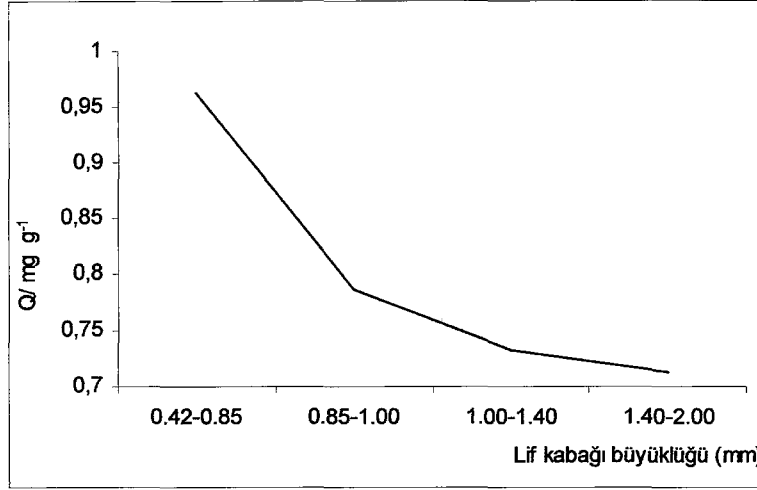


**Şekil 3.2.** Bakır (II) iyonlarının adsopsiyonu üzerine lif kabağı büyüklüğünün etkisi (Bakır (II) iyonu derişimi: 50 mg L<sup>-1</sup>, sıcaklık: 25 °C, pH: 5.0, çalkalama hızı: 100 devir dk<sup>-1</sup>)

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi bakır (II) iyonlarının adsopsiyonu, 25-40. dakikalar arasında denge haline ulaşmıştır. 1.00-1.40 ve 1.40-2.00 mm arasında partikül büyüklüğüne sahip lif kabağı için denge konumunda sırasıyla 0.73 ve 0.71 mg g<sup>-1</sup> adsopsiyon gözlenirken, bu değer 0.85-1.00 mm arasında partikül büyüklüğüne sahip lif kabağı için 0.78 mg g<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

0.42-0.85 mm arasında partikül büyüklüğüne sahip lif kabağı ile yapılan adsopsiyon çalışmaları sonucunda, birim gram biyosorbent başına adsorplanan

bakır (II) iyonu miktarının 25. dakikaya kadar hızlı bir artış gösterdiği belirlenmiştir. 40. dakikadan sonra denge haline ulaşılmıştır. Bu büyüklükteki lif kabağı için denge halinde adsorplanan bakır (II) iyonu miktarı  $0.96 \text{ mg g}^{-1}$ 'dir.

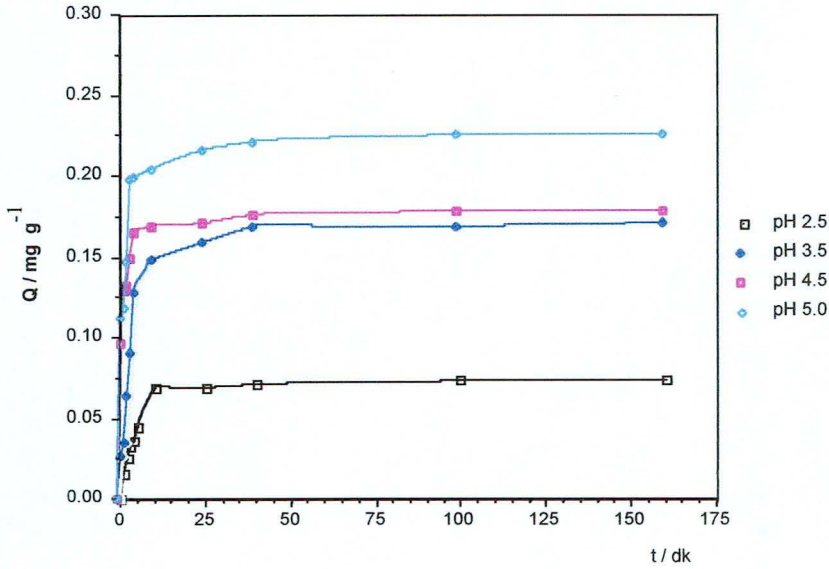


**Şekil 3.3.** Denge durumunda farklı partikül büyüklüğüne sahip lif kabaklarının bakır (II) iyonu adsopsiyonu üzerine etkisi (Bakır (II) iyonu derişimi:  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , sıcaklık:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , pH: 5.0, çalkalama hızı:  $100 \text{ devir dk}^{-1}$ )

Şekil 3.3'te de görüldüğü gibi, denge halinde 0.42-0.85 mm arasında partikül büyüklüğüne sahip lif kabağının diğer büyüklüklere nazaran en yüksek miktarda bakır (II) iyonu adsorpladığı saptanmıştır. Bunu sırasıyla 0.85-1.00 ve 1.00-1.40 mm arasında partikül büyüklüğüne sahip lif kabakları izlemiştir. En düşük adsopsiyon, 1.40-2.00 mm arasında partikül büyüklüğüne sahip lif kabağı tarafından gerçekleştirilmiştir.

### 3.3. Bakır (II) İyonlarının Adsopsiyonu Üzerine Farklı Başlangıç pH'larının Etkisi

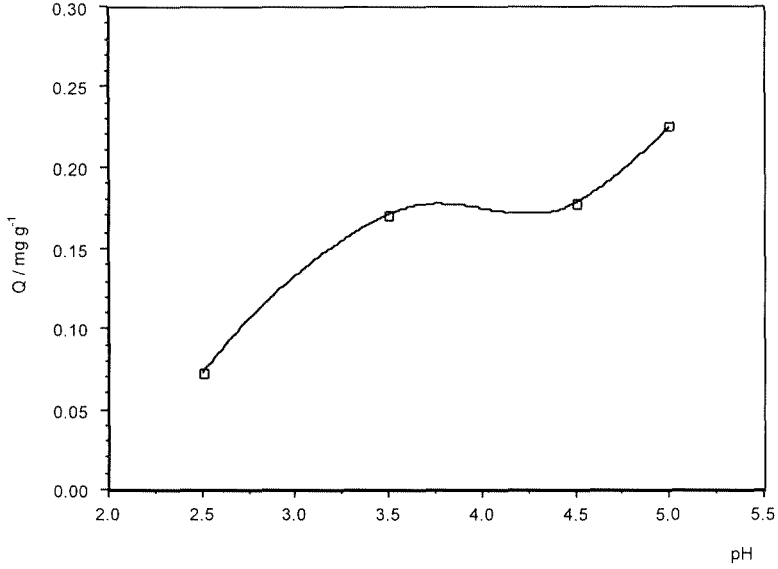
Farklı başlangıç pH'larının bakır (II) iyonlarının adsopsiyonu üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla başlangıç pH: 2.5; 3.5; 4.5 ve 5.0 olarak alınmıştır. Birim gram biyosorbent başına adsorplanan bakır (II) iyonu miktarı ( $\text{mg g}^{-1}$ )'nın zamana bağlı değişimi Şekil 3.4'te verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Bakır (II) iyonlarının adsopsiyonu üzerine farklı başlangıç pH'larının zamana bağlı değişimi (Bakır (II) iyonu derişimi:  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , sıcaklık:  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , çalkalama hızı:  $100 \text{ devir dk}^{-1}$ , lif kabağı büyüklüğü:  $0.42\text{-}0.85 \text{ mm}$ )

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi, pH 2.5'ta bakır (II) iyonlarının adsopsiyonu 10. dakikada dengeye ulaşırken, denenen diğer pH'larda 25-40. dakikalar arasında dengeye ulaşılmıştır. pH 2.5'ta denge halinde adsorpsiyon,  $0.07 \text{ mg g}^{-1}$  olarak gerçekleşmiştir. pH 3.5 ve 4.5 için elde edilen denge adsorpsiyon değerleri nispeten birbirlerine yakındır (sırasıyla  $0.17$  ve  $0.18 \text{ mg g}^{-1}$ ). pH 5.0'te denge konumundaki adsorpsiyon değeri  $0.22 \text{ mg g}^{-1}$ 'dir (Şekil 3.5). Kısaca başlangıç pH arttıkça dengeye ulaşma süresi ve adsorplanan bakır (II) iyonu miktarı artmaktadır. Bakır (II) iyonlarının, pH'nın 5.0'ten büyük olduğu değerlerde bakır hidroksit şeklinde çökmesinden dolayı daha yüksek pH'lar denenmemiştir (Aksu ve Sağ, 1995).



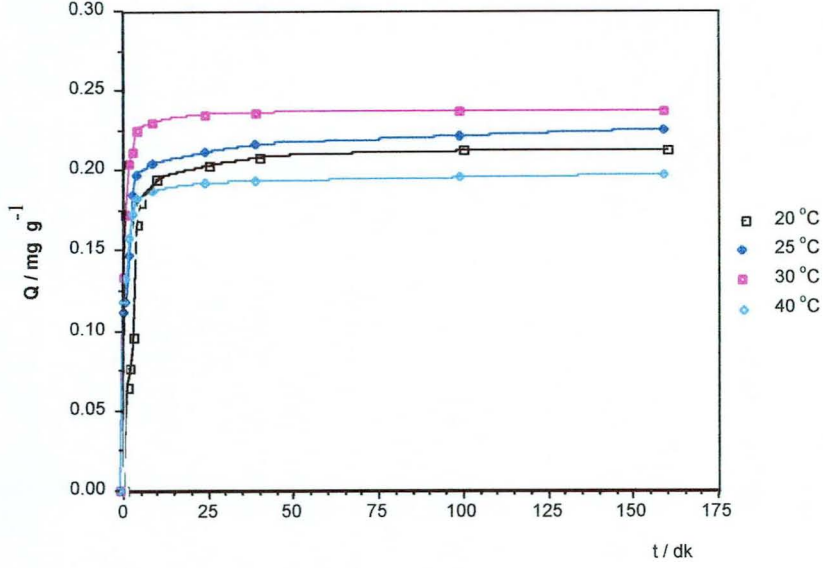


**Şekil 3.5.** Denge konumunda farklı başlangıç pH'larının bakır (II) iyonu adsopsiyonu üzerine etkisi (Bakır (II) iyonu derişimi: 10 mg L<sup>-1</sup>, sıcaklık: 25 °C, çalkalama hızı: 100 devir dk<sup>-1</sup>, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85 mm)

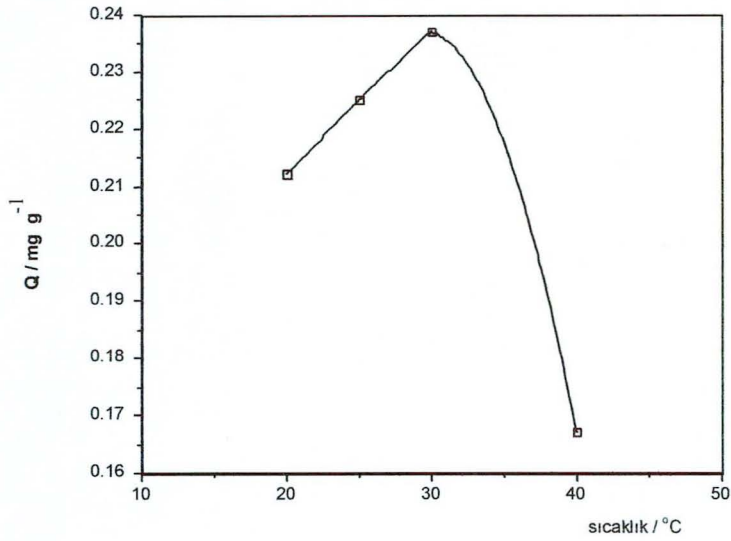
### 3.4. Bakır (II) İyonlarının Adsopsiyonu Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Bakır (II) iyonlarının adsopsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini belirlemek amacıyla 20, 25, 30 ve 40 °C'de adsopsiyon değerleri araştırılmıştır. Birim gram biyosorbent başına adsorplanan bakır (II) iyonu miktarının zamana bağlı değişimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Çalışılan tüm sıcaklıklarda ilk 5 dakika içerisinde çok hızlı bir adsopsiyon gerçekleşirken, 25-40. dakikalar arasında dengeye ulaşılmıştır (Şekil 3.6). Çalışılan en yüksek sıcaklık olan 40 °C'de, denge halinde 0.16 mg g<sup>-1</sup> bakır (II) iyonu adsorbe edilmiştir. 20 ve 25 °C için bakır (II) adsopsiyon değerleri sırasıyla 0.21 ve 0.22 mg g<sup>-1</sup>'dir. Denge halinde en yüksek bakır (II) adsopsiyonu 0.23 mg g<sup>-1</sup> ile 30 °C'de elde edilmiştir (Şekil 3.7).



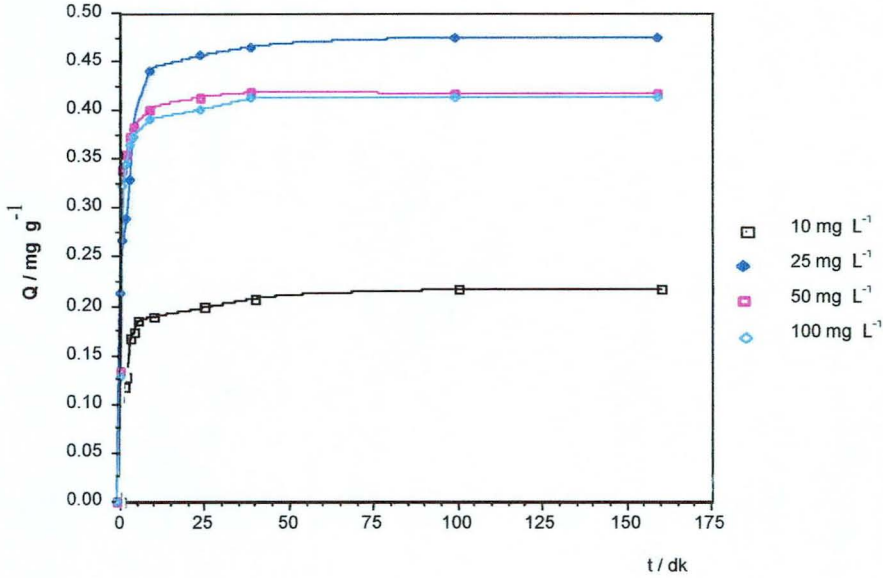
**Şekil 3.6.** Bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın zamana bağlı değişimi (Bakır (II) iyonu derişimi:  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , pH: 5.0, çalkalama hızı: 100 devir dakika<sup>-1</sup>, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85 mm)



**Şekil 3.7.** Denge konumunda bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi (Bakır (II) iyonu derişimi:  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , pH: 5.0, çalkalama hızı: 100 devir dk<sup>-1</sup>, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85 mm)

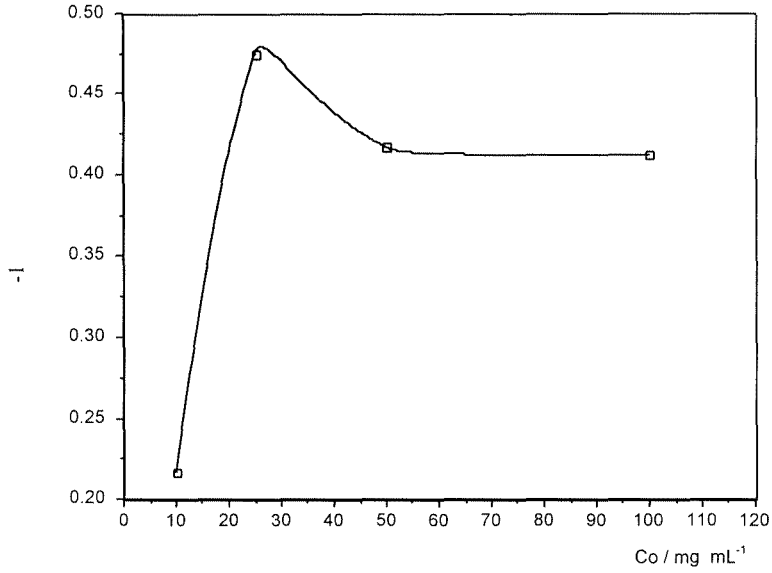
### 3.5. Başlangıç Bakır (II) İyonu Derişiminin Adsopsiyon Üzerine Etkisi

Başlangıç bakır (II) iyonu derişimleri : 10; 25; 50 ve 100 mg L<sup>-1</sup> olmak üzere beş farklı değerde çalışılmıştır. Birim gram biyosorbent başına adsorplanan bakır (II) iyonu miktarının zamana bağlı değişimi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.8.** Bakır (II) iyonlarının adsopsiyonu üzerine başlangıç bakır(II) iyonu derişiminin zamana bağlı değişimi (Sıcaklık: 25 °C, pH: 5.0, çalkalama hızı: 100 devir dk<sup>-1</sup>, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85 mm)

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi, çalışılan tüm bakır (II) iyonu derişimlerinde adsopsiyon 25-40. dakikalar arasında dengeye ulaşmıştır. Denge halinde en düşük bakır (II) iyonu adsopsiyonu, 10 mg L<sup>-1</sup>'lik derişim ile yapılan denemeler sonucunda elde edilmiştir (0.22 mg g<sup>-1</sup>). 50 ve 100 mg L<sup>-1</sup>'lik bakır (II) iyonu derişimlerinde elde edilen adsopsiyon değerleri nispeten birbirine yakındır (sırasıyla 0.42 ve 0.41 mg g<sup>-1</sup>). En yüksek bakır (II) iyonu adsopsiyonu (0.48 mg g<sup>-1</sup>), 25 mg L<sup>-1</sup>'lik derişim ile yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir (Şekil 3.9).

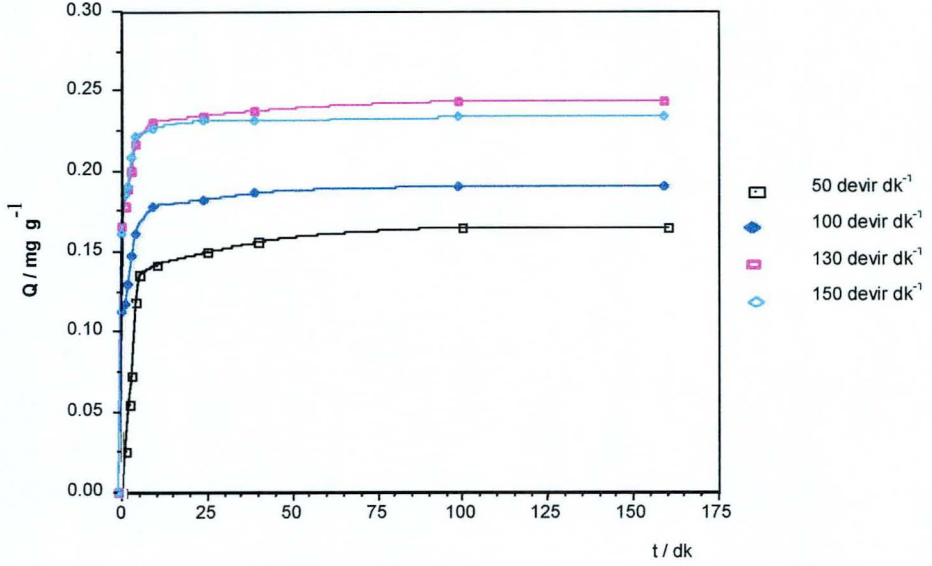


**Şekil 3.9.** Denge konumunda farklı başlangıç bakır (II) iyonu derişiminin adsopsiyon üzerine etkisi (Sıcaklık: 25 °C, pH: 5.0, çalkalama hızı: 100 devir dakika<sup>-1</sup>, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85 mm)

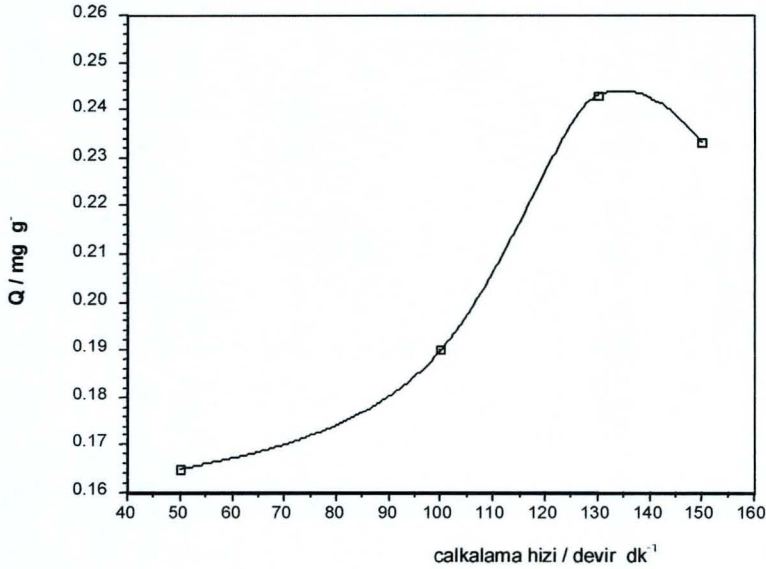
### 3.6. Bakır (II) İyonu Adsopsiyonu Üzerine Çalkalama Hızının Etkisi

Çalkalama hızının bakır (II) iyonu adsopsiyonu üzerine etkisini belirlemek amacıyla 50, 100, 130 ve 150 devir dk<sup>-1</sup> çalkalama hızları esas alınmıştır. Birim gram biyosorbent başına adsorplanan bakır (II) iyonu miktarının zamana bağlı değişimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, çalışılan tüm çalkalama hızı değerleri için 25-40. dakikalar arasında denge konumuna ulaşılmıştır. Adsopsiyon ilk 5 dakika içerisinde oldukça hızlı gerçekleşmiştir. Denge durumunda 50 devir dk<sup>-1</sup> çalkalama hızında bakır (II) iyonu adsopsiyonu 0.16 mg g<sup>-1</sup>'dir. Bu değer, 100 devir/dakika için 0.19 mg g<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Denge durumunda 130 ve 150 devir dk<sup>-1</sup> çalkalama hızları için elde edilen adsopsiyon değerleri nispeten birbirine yakındır (sırasıyla 0.24 ve 0.23 mg g<sup>-1</sup>). Bu verilerden de anlaşıldığı üzere en etkin bakır (II) iyonu adsopsiyonu 130 devir dk<sup>-1</sup> çalkalama hızında gerçekleşmiştir (Şekil 3.11).



**Şekil 3.10.** Bakır (II) iyonu adsorpsiyonu üzerine çalkalama hızının etkisi (Bakır (II) iyonu derişimi: 10 mg L<sup>-1</sup>, sıcaklık: 25 °C, pH: 5.0, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85 mm)



**Şekil 3.11.** Farklı çalkalama hızlarının bakır (II) iyonu adsorpsiyonu üzerine etkisi (Bakır (II) iyonu derişimi: 10 mg L<sup>-1</sup>, sıcaklık: 25 °C, pH: 5.0, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85 mm)

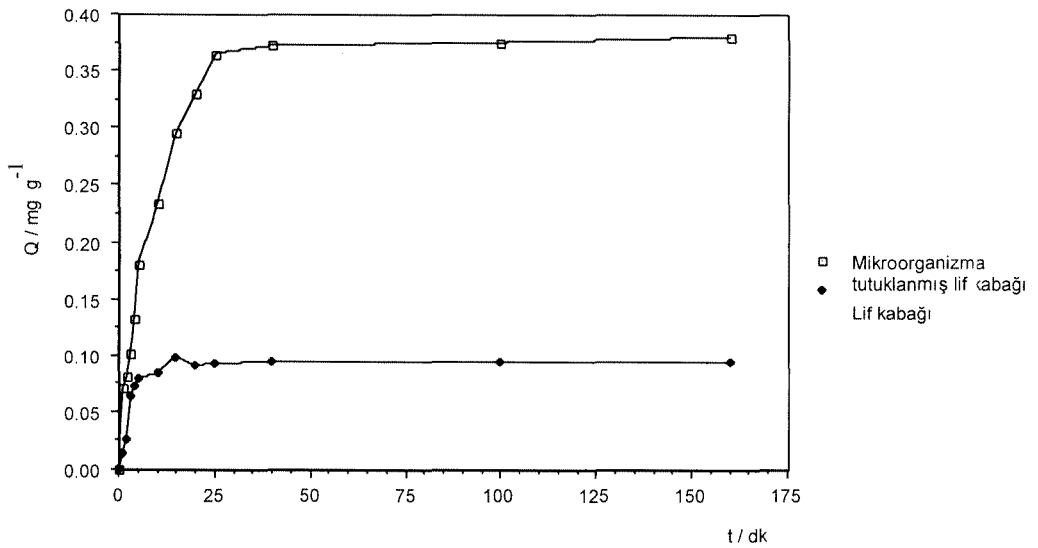
### 3.7. Bakır (II) İyonu İçin Adsorpsiyon Kinetikleri

Yapılan çalışmalar sonucunda *P. putida* hücreleri tutuklanmış lif kabağı ile bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu ile ilgili optimum koşullar; başlangıç pH 5.0, başlangıç bakır (II) iyonu derişimi  $25 \text{ mg L}^{-1}$ , sıcaklık  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  ve çalkalama hızı  $130 \text{ devir dk}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda adsorpsiyon kinetiklerini saptamak için mikroorganizma içeren ve içermeyen lif kabağı ile denemeler yapılmıştır.

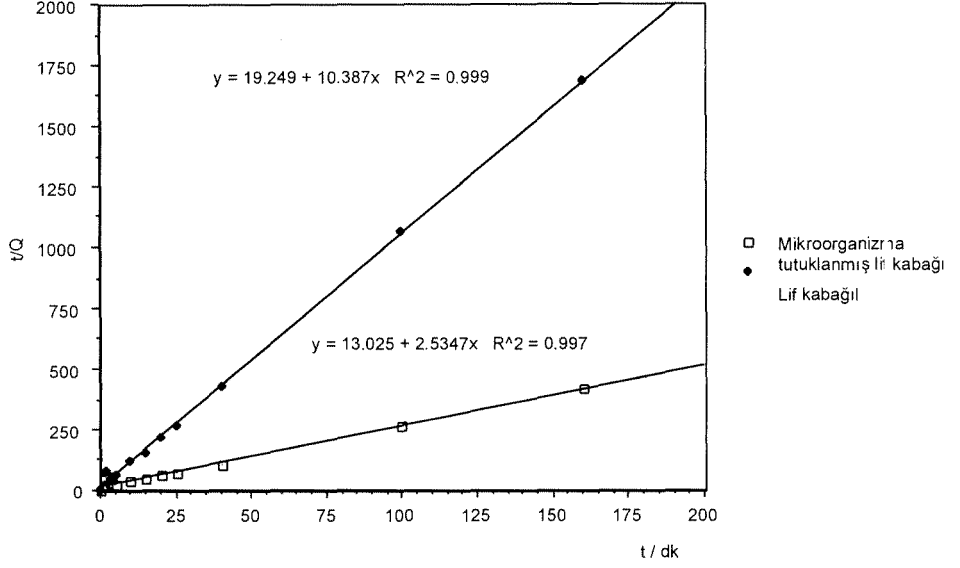
Adsorplanan bakır (II) iyonu derişimi zamana karşı grafiğe geçirilmiş ve şekil 3.12'de gösterilmiştir. Adsorpsiyon zamanla artmakta ve bir süre sonra dengeye ulaşmaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi mikroorganizma tutuklanmış lif kabağında adsorpsiyon daha fazladır.  $t/Q'$  ya karşı  $t$  grafiğı çizilmiş ve şekil 3.13'te gösterilmiştir. Bu grafik adsorpsiyonun ikinci dereceden kiretiğe uyduğunu göstermektedir. Bunun için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$t/Q = a + bt$$

Burada  $Q$ ;  $t$  anında adsorplanan bakır (II) iyonu derişimi  $b = 1 / Q_{\text{max}}$ ; adsorplanan bakır (II) iyonunun maksimum veya denge derişiminin tersi,  $a = 1 / (d_c / d_t)$ ; başlangıç hızının ( $r_0$ ) tersidir.



**Şekil 3.12.** *P. putida* hücreleri tutuklanmış lif kabağı ve *P. putida* tutuklanmamış lif kabağı için bakır (II) iyonu adsorpsiyon eğrileri (Bakır (II) iyonu derişimini:  $25 \text{ mg L}^{-1}$ , sıcaklık:  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , pH: 5.0, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85 mm, çalkalama hızı:  $130 \text{ devir dk}^{-1}$ )



**Şekil 3.13.** *P. putida* hücreleri tutuklanmış lif kabağı ve *P. putida* tutuklanmamış lif kabağı için bakır (II) iyonu adsorpsiyonunda kinetik eğriler (Bakır (II) iyonu derişimi: 25 mg L<sup>-1</sup>, sıcaklık: 30 °C, pH: 5.0, lif kabağı büyüklüğü: 0.42-0.85 mm, çalkalama hızı: 130 devir dk<sup>-1</sup>)

Şekil 3.13' teki grafikten  $Q_{max}$  ve  $r_0$  değerleri bulunmuştur. Mikroorganizma içeren lif kabağı için  $Q_{max} = 0.394$  mg g<sup>-1</sup> ve  $r_0 = 0.077$  mg g<sup>-1</sup> dk<sup>-1</sup> iken Mikroorganizma içermeyen lif kabağı ile yapılan testler sonucunda  $r_0 = 0.052$  mg g<sup>-1</sup> dk<sup>-1</sup> ve  $Q_{max} = 0.096$  mg g<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Bu bulgular, mikroorganizma tutuklanmış lif kabağının bakır (II) iyonlarını daha fazla adsorpladığını ve adsorpsiyonun daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir.

## TARTIŞMA ve SONUÇ

Atık sulardan ağır metallerin giderimi genellikle kimyasal çöktürme, iyon değişimi veya asidifikasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerde pahalı biyokimyasallar ve reçine kullanılmaktadır. Son yıllardaki gelişmeler, ağır metallerin mikrobiyal biyokütleyle adsorpsiyonunu içeren biyosorpsiyon metodu üzerine yoğunlaşmıştır (Lister ve Line, 2001). Diğer metotlara göre biyosorpsiyon, daha iyi bir performansa sahiptir ve maliyeti daha ucuzdur (Lo ve Ark., 1998). Biyosorpsiyonda, adsorpsiyon tersinir bir olay olduğundan, biyosorbent desorbe edilerek metal, düşük hacimli rejenerasyon ortamlarında yüksek derişimlerde geri kazanılabilir (Sağ ve Ark., 1995).

Araştırmamızda bakır (II) iyonu giderimi için kesikli kültürde lif kabağına tutuklanmış *P. putida* hücreleri kullanılmıştır. Bu amaçla önce en iyi tutuklama kapasitesine sahip lif kabağı büyüklüğü belirlenmiştir (Şekil 3.1). Tüm çalışma 0.42-0.85 mm partikül büyüklüğündeki lif kabağı ile sürdürülmüştür.

Bakır (II) iyonu için adsorpsiyon kinetiklerini belirlemek amacı ile sadece lif kabağı ve *P. putida* hücreleri tutuklanmış lif kabağı ile optimum koşullarda çalışmalar yapılmıştır. Sadece lif kabağı ile yapılan çalışmada oldukça düşük adsorpsiyon gözlenmişken, diğerinde oldukça yüksek adsorpsiyon verimi elde edilmiştir.

Çalışmamızda lif kabağı süngerine tutuklanmış *P. putida* hücreleri ile bakır (II) iyonunun giderimi üzerine etkili olan parametreler araştırılmıştır.

### 4.1. Bakır (II) İyonu Adsorpsiyonu Üzerine Lif Kabağı Büyüklüğünün Etkisi

Lif kabağı süngerine tutuklanmış *P. putida* hücreleri ile metal giderimi üzerine lif kabağı büyüklüğünün etkisi araştırılırken dört farklı partikül büyüklüğünde (0.42-0.85; 0.85-1.00; 1.00-1.40; 1.40-2.00 mm) çalışılmıştır. Partikül büyüklüğü arttıkça bakteri tutuklama kapasitesi (Şekil 3.1) ve metal giderim kapasitesi azalmıştır (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3). Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ilk beş dakika içerisinde bakır (II) iyonu giderimi oldukça hızlıdır.



Mikroorganizma, bakır (II) iyonu ile temas ettikten kısa bir süre sonra denge oluşmuştur.

Biyosorpsiyonda kullanılan organizmanın hücre yapısına bağlı olarak çeşitli mekanizmalar etkilidir. Açıklanan en genel mekanizmaya göre metal giderimi iki aşamada gerçekleşmektedir. Birincisi, metal iyonlarının hücre yüzeyindeki negatif yüklü tepkime alanları ile kompleks oluşturarak ve/veya pozitif yüklü tepkime alanları ile yer değiştirerek adsorblandığı fiziksel adsorpsiyon veya iyon değişim basamağıdır. Bu basamak pasif giderim olarak adlandırılır ve başlangıçta oldukça hızlıdır. Mikroorganizma, metal iyonu ile temas ettikten kısa bir süre sonra denge oluşur ve bu denge oluşumu adsorpsiyon izotermi ile gösterilebilir. İkinci basamakta ise aktif giderim söz konusudur. Metabolik aktiviteye bağlı olduğundan daha yavaş ilerler. Bu basamakta kimyasal adsorpsiyon gözlenir (Butter ve Ark., 1998; Nelson ve Ark., 1981; Sağ ve Ark., 1995; Sağ ve Ark., 1998). Elektronegativitesi daha yüksek olan iyonlar biyosorbent tarafından daha kuvvetli adsorbe edilmektedir (Allen ve Brown, 1995). Lo ve Ark. (1998)'a göre bakır (II) iyonunun adsorpsiyon kinetikleri oldukça hızlıdır. Bakır (II) iyonları ile biyosorbentin temasının ilk 3 dakikasında ortamdaki bakırın % 75'i adsorblanmaktadır.

Adsorpsiyonda dengeye ulaşmak için gerekli zaman, metal iyonlarının difüzyon katsayısına ve partikül büyüklüğüne bağlıdır (Butter ve Ark., 1998). Partikül büyüklüğü azaldıkça yüzey alanı artmakta ve bu durum daha fazla mikroorganizma ve dolayısıyla daha fazla ağır metal adsorblanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle çalıştığımız en küçük partikül büyüklüğü olan 0.42-0.85 mm boyutlarındaki lif kabaklarına hem tutuklanan mikroorganizma, hem de ağır metal adsorpsiyon miktarı fazladır.

#### **4.2. Bakır (II) İyonu Adsorpsiyonu Üzerine Farklı Başlangıç pH'larının Etkisi**

Araştırmamızda lif kabağı süngerine tutuklanmış *P. putida*'nın bakır (II) iyonlarının biyosorpsiyon kapasitesi üzerine başlangıç pH'sının etkisi, 25 °C ve 10 mg L<sup>-1</sup> başlangıç bakır (II) iyonu derişiminde çalışılmıştır. 2.5; 3.5; 4.5 ve 5.0

olmak üzere dört farklı başlangıç pH'nın etkisi denenmiştir. Şekil 3.4 ve 3.5'te görüldüğü gibi, başlangıç pH'nın artması ile bakır (II) iyonlarının biyosorpsiyonunda da artış olmaktadır. Birim gram biyosorbent başına adsorblanan en yüksek bakır (II) iyonu miktarı, pH 5.0'te elde edilmiştir.

Hücre yüzeyinde metal iyonlarının bağlanmasını sağlayan bazı kimyasal gruplar (karboksil, fosfat, amino, sülfat ve metal iyonları için yüksek afinite gösteren hidroksil grupları) bulunmaktadır (Ahuja ve Ark., 1999). Ortamın pH hem bakteri hücre duvarının fonksiyonel gruplarını hem de metallerin çözünürlüğünü etkilemektedir (Say ve Ark., 2001). Düşük pH'larda (pH 2.0) ortamda  $H^+$  ve  $H_3O^+$  iyonlarının miktarı artmakta ve bu durum bakteri hücre duvarına metal iyonlarının bağlanmasını sınırlamaktadır (Gadd, 1988). pH artması ile metal bağlama bölgeleri açıkta kalmakta ve pozitif yüklü metal iyonlarının hücre yüzeyine ilgisi artmaktadır (Aksu, 2001). Ayrıca yüksek pH'larda metal iyonlarının çözünürlüğünün azalması bu metallerin biyokütle tarafından adsorbe edilmesini artırmaktadır (Guibal ve Ark., 1992).

Yapılan çalışmalarda bakır (II) iyonlarının biyosorpsiyonu için optimum pH 4.5- 5.5 arasında bulunmuştur (Aksu, 2001; Sanchez ve Ark., 1999; Sağ ve Ark., 1995). Bakır (II) iyonlarının pH'nın 5.0'ten büyük olduğu değerlerde bakır hidroksit ( $CuOH$ )<sup>-</sup> şeklinde çökelediği bildirilmiştir (Aksu ve Ark., 1995). Bu nedenle pH 5.0'ten büyük değerler çalışılmamıştır.

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, çalışılan tüm pH değerlerinde 25-40. dakikalar arasında sistem dengeye ulaşmıştır. Bu durum bakır (II) iyonu biyosorpsiyonu ile ilgili birçok çalışma ile benzerlik göstermektedir (Çeçen ve Gürsoy, 2001; Nelson ve Ark., 1981; Sağ ve Ark., 2000; Say ve Ark., 2001; Nakajima ve Ark., 2001). Ancak dengeye ulaşma süresi kullanılan organizmaya ve çalışma koşullarına göre değişmektedir.

### 4.3. Bakır (II) İyonu Adsorpsiyonu Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık, adsorpsiyonu etkileyen önemli parametrelerden biridir. Bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi incelenirken 20; 25; 30 ve 40 °C' lerde çalışılmıştır. Şekil 3.6 ve 3.7'de görüldüğü gibi 30 °C' ye kadar birim

gram biyosorbent başına adsorblanan bakır (II) iyonu miktarı ve adsorpsiyon hızı artmakta, daha sonra ise hızla azalma olmaktadır.

Düşük sıcaklıklarda adsorpsiyon hızının yüksek olması, bakır (II) iyonlarının mikroorganizmaya adsorpsiyonunun fiziksel adsorpsiyon özellikleri göstermesindedir. Fiziksel adsorpsiyonda ağır metal iyonları hücre yüzeyindeki bileşene zayıf bağlarla bağlanır. Yüksek sıcaklıklarda bu bağlar kopar ve desorbsiyon gözlenir (Özer ve Özer, 1998; Aksu ve Ark., 1995).

Çalışmamızda en iyi bakır (II) iyonu giderimi  $0.23 \text{ mg g}^{-1}$  ile  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de elde edilmiştir (Şekil 3.7).

#### **4.4. Başlangıç Bakır (II) İyonu Derişiminin Adsorpsiyon Üzerine Etkisi**

Başlangıç metal iyonu derişimi, metal iyonlarının mikroorganizmalara adsorpsiyonunda oldukça etkili olan bir parametredir. Araştırmamızda başlangıç bakır (II) iyonu derişimleri; 10, 25, 50 ve  $100 \text{ mg L}^{-1}$  olarak alınmıştır. Şekil 3.8 ve 3.9'da görüldüğü gibi,  $25 \text{ mg L}^{-1}$ 'ye kadar olan bakır (II) iyonu derişimlerinde adsorpsiyon hızı ve birim gram biyosorbent başına adsorblanan metal miktarı artarken, bu değerin üzerindeki başlangıç metal iyonu derişimlerinde her iki değer de azalmıştır. Birim gram biyosorbent başına en yüksek bakır (II) iyonu adsorpsiyonu  $0.48 \text{ mg g}^{-1}$  olarak  $25 \text{ mg L}^{-1}$ 'lik başlangıç derişiminde elde edilmiştir.

Artan başlangıç metal derişimi ile adsorblanan toplam metal miktarındaki artışa rağmen, metal derişimi arttıkça, giderilen metal yüzdesinde azalış meydana gelmektedir (Lister ve Line, 2001).

Yüksek derişimlerde biyosorbent metalle daha hızlı sürede doymun hale gelmekte, böylece daha kısa sürede dengeye ulaşılmaktadır (Sağ ve Ark., 1995; Zulfadhyl ve Ark., 2001).

#### 4.5. Bakır (II) İyonu Adsorpsiyonu Üzerine Çalkalama Hızının Etkisi

Araştırmamızda çalkalama hızının bakır (II) iyonu adsorpsiyonu üzerine etkisini saptamak amacı ile 50; 100; 130 ve 150 devir  $dk^{-1}$  çalkalama hızları çalışılmıştır. Şekil 3.10 ve 3.11’de görüldüğü gibi, 130 devir  $dk^{-1}$  ya kadar olan çalkalama hızlarında adsorpsiyon hızı ve birim gram biyosorbent başına adsorblanan metal miktarı artarken ( $0.24 \text{ mg g}^{-1}$ ), daha yüksek çalkalama hızlarında yavaşlamıştır.

Canlı organizmalarla çalışırken çözeltideki maddelerle mikroorganizmaların temasını artırmak için çalkalama hızı önemli bir faktördür. Ancak, biyosorpsiyonda genellikle mikroorganizmanın aktif yüzeyleri ile ağır metal iyonları arasında zayıf bağlar olduğundan yüksek çalkalama hızlarında mekanik etki artar ve bu bağlar kolayca kopabilir. Bu nedenle yüksek çalkalama hızlarında adsorpsiyon verimi düşmektedir.

#### 4.6. Bakır (II) İyonu İçin Adsorpsiyon Kinetikleri

Bölüm 3.7’de verildiği gibi, mikroorganizma içeren ve içermeyen lif kabakları için regresyon değerleri sırasıyla 0.997 ve 0.999 olarak bulunması tepkimenin ikinci dereceden olduğunu gösterir. Hesaplanan  $Q_{\max}$  ve  $r_0$  değerleri mikroorganizma tutuklanmış lif kabağının bakır (II) iyonlarını daha fazla adsorpladığını ve adsorpsiyonun daha hızlı olduğunu göstermektedir ( $r_0 = 0.077 \text{ mg g}^{-1} dk^{-1}$ ,  $Q_{\max} = 0.394 \text{ mg g}^{-1}$ ). Bu durum, lif kabağına tutuklanmış *P. putida* hücrelerinin ağır metallerin bağlanacakları yüzey alanını artırdığının belirtisidir.

Lif kabağı süngerinde tutuklanmış *P. putida* hücreleri ile bakır (II) iyonlarının biyosorpsiyonu ile ilgili yaptığımız çalışmalar sonucunda, optimum koşullar olarak lif kabağı büyüklüğü 0.42 – 0.85mm; başlangıç pH 5.0; sıcaklık  $30^{\circ}C$ ; başlangıç bakır (II) iyonu derişimi  $25 \text{ mg L}^{-1}$  ve çalkalama hızı 130 devir  $dk^{-1}$  olarak saptanmıştır. Ayrıca sadece lif kabağının da iyi bir biyosorbent olduğu gözlenmiştir. Ancak, *P.putida* hücreleri tutuklanmış lif kabağı ile birim gram biyosorbent başına daha fazla bakır (II) iyonu giderimi elde edilmiştir.

**KAYNAKLAR**

Ahuja, P., Gupta, R., Saxena, R.K. (1999) Zn<sup>2+</sup> biosorption by *Oscillatoria angustissima*. Process Biochemistry, 34: 77-85.

Aksu, Z. (2001) Equilibrium and kinetic modelling of cadmium (II) biosorption by *C. vulgaris* in a batch system: effect of temperature. Separation and Purification Technology, 21(3): 285-294.

Aksu, Z., Sağ, Y., Nourbakhsh, M., Kutsal, T. (1994) Atık sulardaki bakır (II), krom (VI), kurşun (II) iyonlarının çeşitli mikroorganizmalara adsorblanarak giderilmesinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Doğa-Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, Yayın No: 20.

Aksu, Z., Sağ, Y., Nourbakhsh, M., Kutsal, T. (1995) Atık sulardaki bakır (II), krom (VI) ve kurşun (II) iyonlarının çeşitli mikroorganizmalara adsorblanarak giderilmesinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 19: 285-293.

Allen, J.A., Brown, P.A. (1995) Isotherm analyses for single component and multi-component metal sorption onto lignite. J. Chem. Tech. Biotechnol., 62: 17-24.

Anon. (1995) Environmental Quality Report (Department of the Environment, Ministry of Science, Technology and Environment of Malaysia).

Butter, T.J., Evison, L.M., Hancock, I.C., Holland, F.S. (1998) The kinetics of metal uptake by microbial biomass. Implications for the design of a biosorption reactor. Water Sci. Technol., 38 (6), 279-286.

Bülbül, G., Aksu, Z. (1997) Atıksulardaki fenol kirliliğinin serbest ve Ca-alginata tutuklanmış *Pseudomonas putida* ile giderilmesinin kesikli karıştırmalı tepkime kabında karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Tr. J. Engineer. Environ. Sci., 21(3), 175-181.

Crusberg, T.C. (1994) Expectations for commercial adoption of new heavy metal bioremediation technologies, WiseD. (ed.) Global Environmental Biotechnology, 347-354, Kluwer Acad. Publ., The Netherlands.

Çeçen, F., Gürsoy, G. (2001) Biosorption of heavy metals from landfill leachate onto activated sludge. J. Environ. Sci. Health, A36(6), 987-998.

Environmental Protection Agency (EPA), (1995). Water Quality Standards; Establishment of Numeric Criteria for Priority Toxic Pollutants; States' Compliance-Revision of Metals Criteria, Federal Register 40 CFR Part 131; [WII-FRL-5196-1], May 4 th.

Gadd, G.M. (1988) Accumulation of metals by microorganisms and algae. In: Rehm, H.J. (Eds.), Biotechnology, VCH, Weinheim, Germany, pp. 401-433.

Gonzalez, G., Herrera, G., Garcia, Ma.T., Pena M. (2001) Biodegradation of phenolic industrial wastewater in a fluidized bed bioreactor with immobilized cells of *Pseudomonas putida*. Biosource Technology, 80: 137-142.

Gupta, R., Ahuja, P., Khan, S., Saxena, R.K., Mohapatra, H. (2000) Microbial biosorbents ; Meeting challans of heavy metal pollution in aqueous solutions. Current Sci., 78 : 967-973.

Guibal, E., Roulph, C., Le Cloirec, P. (1992) Uranium biosorption by a filamentous fungus *Mucor meihei* pII effect on mechanisms and performances of uptake. Water Researche, 26: 1139-1145.

Gündüz, T. (1994) Çevre sorunları. A.Ü. Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Ankara Üniversitesi Yayınları, Ankara.

Hannaford, A.M., Kuek, C. (1999) Aerobic batch degradation of phenol using immobilized *Pseudomonas putida*. J. Indust. Microbiol. Biotechnol. 22: 121-126.

Iqbal, M., Zafar, S.I. (1994) Vegetable sponge as a matrix immobilize micro-organisms: a trial study for hyphal fungi, yeast and bacteria. Letters Appl. Microbiol., 18: 241-217.

İleri, R. (2000) Çevre Biyoteknolojisi. Değişim Yayınları, Adapazarı.

Kuru-Kaçmazoğlu, E. (1999) Sabit yataklı reaktörlerde mikrobiyal nitrat giderimi ve kinetiği. (Doktora Tezi), Atatürk Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum. Sayfa, 14. (Yayınlanmamış).

Kesenci, K., Denizli, A., Pişkin, E. (1997) Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solutions by using dithiocarbamate containing monosize polystyrene microspheres. Tr. Journal of Engineer. Environ. Sci., 21: 343-350

Kirk, R.E., Othmer, D.F. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1979.

Lee, C.K., Low, K.S. (1980) A study of wastewater discharge from electroplating factories, Pertanika, 3: 159-161.

Lister, S.K., Line, M.A. (2001) Potential utilisation of sewage sludge and paper mill waste for biosorption of metals from polluted waterways. Bioresource Technology, 79: 35-39.

Lo, W., Wong, M.F., Chua, H. (1998) Removal and recovery of copper (II) ions by bacterial biosorption. *Appl. Biochem. Biotech.*, 91 (3): 447-457.

Mordocco, A., Kuek, C., Jenkins, R. (1999) Continuous degradation of phenol at low concentration using immobilized *Pseudomonas putida*. *Enzyme Microbial Technol.*, 25 : 530-536.

Nakajima, A., Yasuda, M., Yokoyama, H., Ohya-Nishiguchi, H., Kamada, H. (2001) Copper biosorption by chemically treated *Micrococcus luteus* cells. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 17: 343-347.

Nelson, P.O., Chung, A.K., Hudson, M.C. (1981) Factors affecting the fate of heavy metals in the activated sludge process. *J. WPFC*, 53(8): 1323-1333.

Özen, C., Özçayan, G., Sağ, Y., Kutsal, T., Çağlar, A. (1996) *Saccharomyces cerevisiae* ile atık sulardaki bakır (II) ve krom (VI) iyonlarının gideriminin incelenmesi. UKMK-2, Bildiri Kitabı, İTÜ, İstanbul.

Özer, A., Özer, D. (1998) Nikel (II) iyonlarının iki kademeli kesikli kaptaki *Cladophora crispata* ile giderilmesi. *Tr. Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 22: 305-313.

Palmieri, M.C., Garcia, O., Melnikov, P. (2000) Neodymium biosorption from acidic solutions in batch system. *Process Biochemistry*, 36: 441-444.

Patterson, J.W. (1977) *Waste Water Treatment*, Science Publishers Inc., USA.

Querk, S.Y., Al-Duri, B., Wase, D.A.J., Forster, C.F. (1998) Coir as a biosorbent of copper and lead. *Trans IchemE*, 76; 50-54.



Ruiz-Manriquez, A., Magana, P.I., Lopez, R., Guzman R. (1998) Biosorption of Cu by *Thiobacillum ferrooxidans*, *Bioprocess Engineering*, 18: 113-118.

Sağ, Y., Nourbakhsh, M., Aksu, Z., Kutsal T. (1995) Dolgulu kolon reaktörde Ca-aljinat ve tutuklanmış mikroorganizma sistemleriyle karşılaştırmalı ağır metal adsorpsiyonu. *Tr. J. Of Engineering and Environmental Sciences*, 19: 145-157.

Sağ, Y., Açikel, Ü., Aksu, Z., Kutsal T. (1998) İkili metal karışımlarından krom (VI), demir (III) ve bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ve *C. vulgaris*'e yarışmalı biyosorpsiyonu. *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, 22: 145-154.

Sağ, Y., Yalçuk, A., Kutsal T., (2000) Mono and multi-component biosorption of heavy metal ions on *Rhizopus arrhizus* in a CFST. *Process Biochemistry*, 35: 787-799.

Sanchez, A., Ballester, A., Blazquez, M.L., Gonzalez, F., Munoz, J., Hammami, A. (1999) Biosorption of copper and zinc by *Cymodocea nodosa*. *FEMS Microbiology Reviews*, 23: 527-536.

Say, R., Denizli, A., Arıca, M.Y. (2001) Biosorption of cadmium (II), lead (II) and copper (II) with the filamentous fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource technology*, 76: 67-70.

Scholz-Baldes, M., Lewin, R.A. (1967) Lead uptake in two marine phytoplankton organisms. *Biol. Bull.*, 150: 180-187.

Tobin, J.M., White, C., Gadd, G.M. (1994) Metal accumulation by fungi: applications in environmental biotechnology. *J. Ind Micobiol*, 13: 126-130.

Zajic, J.E. (1971) *Water Pollution*, Marcel Dekker Inc., USA.

Zilli, M., Converti, A., Lodi, A., del Borghi, M., Ferraiolo, G. (1993) Phenol removal from waste gases with a biological filter by *Pseudomonas putida*. *Biotechnol. Bioeng.*, 41: 693-699.

Zulfadhyl, Z., Mashitah, M.D., Bhotic, S. (2001) Heavy metals removal in fixed bed column by the macro fungus *Pycnoporus sanguineus*. *Environ. Poll.*, 112: 463-470.

## 6. ÖZGEÇMİŞ

05.11.1977 Düziçi-Osmaniye'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Düziçi Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. 1996-2000 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'nü bitirdi. 2000 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı.