

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

BAKIR (II) ve KROM (VI) İYONLARININ *Aspergillus niger*'e BİYOAKÜMÜLASYONUNUN KESİKLİ SİSTEMDE İNCELENMESİ

Yakup CUCİ¹, Arzu Y. DURSUN^{1,2}, Gülşad USLU

ÖZ

Bu çalışmada bakır (II) ve krom (VI) iyonlarının canlı *Aspergillus niger*'e biyoakümülyasyonu, başlangıç pH'ı, sıcaklık ve başlangıç metal iyonu derişiminin fonksiyonu olarak kesikli kültürde incelenmiştir. Bakır (II) ve krom (VI) iyonlarının *A. niger*'in üremesi üzerinde inhibisyon etkisi yaptığı ve mikroorganizmanın krom (VI) iyonlarının düşük derişimlerine karşı dahi çok hassas olduğu saptanmıştır. En uygun başlangıç pH'ı ve sıcaklık değeri olarak bakır (II) iyonları için pH=5, T=30°C, krom (VI) iyonları için pH=3.5, T=30°C olarak belirlenmiştir. *A. niger*'in bakır (II) iyonları için 100 mg dm⁻³ başlangıç derişiminde maximum birikim kapasitesi 15.6 mg g⁻¹ olarak, krom (VI) iyonları için ise 50 mg dm⁻³ başlangıç derişiminde 6.6 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyoakümülyasyon, Canlı *Aspergillus niger*, Bakır (II) iyonu, Krom (VI) iyonu, pH, sıcaklık.

INVESTIGATION OF BIOACCUMULATION OF COPPER (II) AND CHROMIUM (VI) IONS BY *Aspergillus niger* IN A BATCH SYSTEM

ABSTRACT

In this study bioaccumulation of copper (II) and chromium (VI) ions by growing *Aspergillus niger* was investigated as a function of initial pH, temperature and initial metal ion concentration in batch culture. It was predicted that copper (II) and chromium (VI) ions had an inhibition effect on the growth of *A. niger*. The microorganism was very sensitive to chromium (VI) ions even at low concentrations. Optimum initial pH and temperature were determined as 5 and 30°C for copper (II) ions, 3.5 and 30°C for chromium (VI) ions, respectively. The maximum bioaccumulation capacity of *A. niger* was found as 15.6 mg g⁻¹ for copper (II) ions at 100 mg dm⁻³ initial copper (II) concentration and 6.6 mg g⁻¹ for chromium (VI) ions at 50 mg dm⁻³ initial chromium (VI) concentration.

Key Words: Bioaccumulation, Copper (II), Chromium (VI), Viable *Aspergillus niger*, pH, Temperature.

1. GİRİŞ

Birçok endüstri atıksuları canlılar için son derece zehirli ve tehlikeli olan Pb, Cu, Ni, Hg, As, Fe ve Cr gibi ağır metal iyonlarını içerirler. Ayrıca bu atıksular, BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) değerleri düşük, genellikle asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için zehirli, inorganik karakterdedirler. Ağır metaller bu özelliklerine rağmen taşıdıkları teknolojik önem nedeniyle endüstride geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bunun sonucunda oluşan endüstriyel atıkların içerdikleri ağır metaller önemli miktarlarda besin zincirine girmektedir. Bu nedenle kirlilik kaynaklarında oluşan atık-

suların ağır metal içerikleri, alıcı ortamlara verilmeden önce arıtılarak, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinin göre izin verilen değerlerin altına düşürülmesi gerekmektedir. Ağır metal iyonu içeren atık suların arıtılması temelde metal iyonunun kimyasal olarak çöktürülmesine dayanır. Daha ileri arıtmalar için aktif karbon adsorpsiyonu, iyon değişimi, ters osmoz, elektrodiyaliz gibi arıtım metotları kullanılmaktadır. Metal kirliliğinin giderilmesinde kullanılan bu tür klasik yöntemler pratik ve ekonomik olmaktan uzaktır (Patterson, 1977; Brady ve Duncan, 1994; Aksu ve Kutsal, 1994; Veglio ve Belchini 1997).

¹ Fırat Üniversitesi Müh. Fak. Çevre Müh. Bölümü, 23100 Elazığ.

² E-posta: aydursun@firat.edu.tr

Geliş: 13 Mayıs 2002; Düzeltme: 30 Ekim 2002; Kabul: 05 Kasım 2002.

Suda yaşayan alg, bakteri ve maya türü pek çok mikroorganizma ağır metal iyonlarını çevrelerinden bünyelerine alabilirler ve bu işlem canlı ya da ölü hücrelerle gerçekleştirilebilir. Ölü mikroorganizmalar kullanıldığında işlem biyosorpsiyon olarak adlandırılır ve ağır metal iyonları mikroorganizma yüzeyine bağlanır. Canlı hücreler söz konusu olduğunda yüzey reaksiyonlarının yanı sıra hücre içi ve hücre içi dışı kompleks oluşturma ve çöktürme reaksiyonları gerçekleşir ve proses biyoakümülyasyon adını alır (Uslu vd., 2002; Volesky ve Philips, 1995; Wilson ve Edyvean, 1994; White ve Gadd, 1990).

Mikroorganizmaların hücre duvarındaki polisakaritler, metal iyonlarını bağlayabilen amino, karboksil, fosfat ve sülfat grupları içermektedir. Ayrıca hücre proteinlerinin amino ve karboksil grupları, peptid bağlarının azot ve oksijeni, ağır metal iyonlarını bağlayabilir. Bu çeşit bir bağ oluşumu, pH tarafından belirlenen protonlaşma miktarına bağlı olarak, protonların yer değiştirmesi ile gerçekleşebilir (Wilde ve Benemann, 1993; Aksu vd., 1999).

Son yıllarda literatürdeki ağır metallerin biyolojik yöntemlerle giderimi çalışmaları özellikle ağır metal iyonlarının biyosorpsiyonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Sağ ve Kutsal (1993), krom (VI) iyonlarının *Rhizopus arrhizus*'a biyosorpsiyonunu kesikli karıştırmalı, akışkan yatak ve dolgu kolon reaktörlerde inceleyerek, sürekli sistemlerde en uygun reaktörün dolgu kolon reaktör olduğunu gözlemişlerdir. Aksu vd. (1995), ağır metal iyonlarını iyi adsorplama yeteneği gösteren mikroorganizmalardan *Chlorella vulgaris*, *Zooglea ramigera* ve *Saccharomyces cerevisiae* ile kurşun (II), krom (VI) ve bakır (II) iyonlarının biyosorpsiyonunu incelemişler ve bu mikroorganizmalardan *C. vulgaris*'in biyosorpsiyon kapasitesinin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Dönmez ve Aksu (1999), *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus*; *Schizosaccharomyces pombe*, *Candida sp.* ile bakır (II) iyonlarının biyoakümülyasyonunu incelemişler ve *Candida sp.*'nin biyoakümülyasyon kapasitesinin daha yüksek olduğunu gözlemişlerdir. Uslu vd (2002), *R. arrhizus*'un üremesi üzerine kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının etkisini incelemişler ve kurşun (II) iyonlarının kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarına göre daha seçici olduğunu bulmuşlardır.

Bakır madenleri, bakır ve pirinç kaplama sanayi, bakır-amonyum reyon fabrikaları, kağıt, petrol ve boya endüstrileri atıksuları bakır (II) kirliliği içeren ana kaynaklardır. Metal temizleme ve kaplama banyo ve çalkalama atıksuları 120 ppm'e kadar bakır (II) içerir. Bakır işleme endüstrisi atıksularındaki bakır (II) kirliliği 400 ppm'e kadar çıkmaktadır. TS 266 Türk Standartları'na göre içme sularındaki maksimum bakır (II) derişimi 1.0-1.5 ppm'i, sulama sularında ise 0.2-5.0 ppm'i aşma-

malıdır. Vücutta biriken aşırı bakır ise karaciğerde tahribe neden olur (Brady vd., 1994; Aksu ve Kutsal, 1994).

Krom (VI) iyonu kirliliği ise krom madenleri, krom endüstrisi ve krom bileşikleri kullanan fabrika atıksularıyla oluşmaktadır. Kimya ve eczacılık, krom kaplama, boya ve vernik, film ve fotoğraf, galvanometri ve elektrik, deri ve tekstil endüstrileri atıksularında bol miktarda krom (VI) kirliliğine rastlanmaktadır. Krom (VI) kirliliğinin en yüksek olduğu metal kaplama işlemlerindeki kromik asit ve çalkalama banyolarında krom (VI) derişimi 10000-75000 ppm arasında değişmektedir. Kaplama atıksularının 600-1300 ppm, deri atıksularının 40 ppm, elektrokaplama sularının 40-140 ppm, anod banyolarının ise 50-175 ppm krom (VI) kirliliği içerdiği bilinmektedir. Krom (VI) kalıcı birikim yapan kirleticilerdendir. Balık ve sularındaki canlılar için çok küçük derişimlerde bile zehir etkisi gösterir. İnsan vücudunda özellikle akciğer dokularında birikir ve akciğer kanserine neden olur (Aksu ve Kutsal, 1986; Paterson, 1977; Weber, 1972).

Bu çalışmada, mikroorganizma olarak ağır metal iyonlarının sulu çözeltilerinden biyosorpsiyon yöntemi ile gideriminde uygulamaları olan *A. niger* seçilmiş ve *A. niger*'in üremesi üzerine bakır (II) ve krom (VI) iyonlarının etkisi başlangıç pH'ı, sıcaklık, başlangıç metal iyonu derişiminin fonksiyonu olarak kesikli karıştırmalı kapta araştırılmıştır.

2. SEMBOLLER

| | |
|-------------------|--|
| C | Atık metal iyonu derişimi (mg dm ⁻³) |
| C ₀ | Başlangıç metal iyonu derişimi (mg dm ⁻³) |
| C _{accm} | Mikrobiyal üreme sonunda biyoakümüle olan metal iyonu konsantrasyonu (mg dm ⁻³) |
| q _m | Mikrobiyal üreme sonunda bir gram mikroorganizma tarafından biyoakümüle edilen metal iyonu miktarı (mg g ⁻¹) |
| X | Kuru mikroorganizma derişimi (g dm ⁻³) |
| X _m | Maksimum kuru mikroorganizma derişimi (g dm ⁻³) |
| KH | Karıştırma hızı (rpm) |

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Mikroorganizma ve Üretim Yöntemi

Bu çalışmada, U.S. Department of Agriculture Culture Collection'dan temin edilen *A. niger* küf mantarı kullanılmıştır. Mikroorganizma, aerobik şartlarda, 15 g dm⁻³ malt ekstresi içeren sıvı besin ortamında,

pH=5, 30°C sıcaklıkta ve 100 rpm karıştırma hızında 72 saat süresince üretilmiş, daha sonra biyoakümülyasyon deneylerinin yapılacağı metal iyonlarını içeren besin ortamına aktarılmıştır.

3.2. Biyoakümülyasyon Deneyleri

Bakır (II) ve krom (VI) stok çözeltileri, analitik saflıktaki $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (Merck) ve $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 'ın (Merck) deiyonize suda çözünmesiyle hazırlanmıştır. Biyoakümülyasyon deneylerinde kullanılan besi ortamı 15 g dm^{-3} malt ekstresi ve deneyin niteliğine göre değişen derişimlerde metal iyonu içermektedir. Sterilizasyon sırasında çökeltme oluşumunu engellemek amacıyla, besin ortamı ayrı ayrı steril edilen malt ekstresi çözeltisi ile metal iyonlarını içeren çözeltinin karıştırılması ile oluşmuştur. Sterilizasyon işlemi 121°C 'de 20 dakika süre ile yapılmıştır. Otoklavdan alınan ağır metal çözeltileri ve sıvı besin çözeltileri steril şartlarda karıştırılarak toplam çalışma hacmi 100 cm^3 'e tamamlanmıştır. Steril koşullarda, sıvı ortamda üreyen mikroorganizmanın aynı miktarları ile ekim yapılmıştır. Biyoakümülyasyon deneyleri 100 rpm 'de çalışan Gallenkamp marka orbital inkübatörde 170 saat sürede gerçekleştirilmiş ve bu süre sonunda üreyen *A. niger* sıvı kısımdan mavi bant filtre kağıdı kullanılarak ayrılmıştır. *A. niger* küresel taneçikler şeklinde büyüyen bir mikroorganizma olduğundan her bir parametre tayini için aynı başlangıç koşullarında 10 adet erlenmeyerden oluşan deney setleri hazırlanmıştır. Çeşitli zaman aralıklarında her bir ölçüm için yeni bir erlenmeyer açılmış, atık metal iyonu ve mikroorganizma derişimleri tayin edilmiştir.

Deneyler süresince, mikroorganizma büyürken pH değerlerinde meydana gelen derişimleri tespit etmek amacıyla belirli zaman aralıklarında üreme ortamından örnekler alınmış, pH değerleri ölçülmüş ve az miktarda derişim gözlenmiştir. Bu derişimin, 0.5 pH değerinden az olması nedeniyle ağır metal iyonlarının çökmesine sebep olmamıştır

3.3. Analitik Metodlar

Ortamda kalan bakır (II) ve krom (VI) iyonlarının derişimleri Unicam 929 model atomik adsorpsiyon spektrofotometresi ile tayin edilmiştir. Kuru mikroorganizma derişimleri ise mikroorganizma paletlerinin 80°C 'de 24 saat süre ile kurutulup tartılmasıyla g dm^{-3} olarak tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada bakır (II) ve krom (VI) iyonlarının *A. niger*'in üreme ve metal iyonu biyoakümülyasyonuna etkisi başlangıç pH'ı, sıcaklık ve başlangıç metal iyonu derişiminin fonksiyonu olarak kesikli sistemde incelen-

miştir. Kuru mikroorganizmanın birim ağırlığı başına biyoakümülye olan metal iyonu miktarı, mikroorganizmanın metal biyoakümülyasyon kapasitesi ($q_m, \text{mg/g}$) olarak tanımlanmıştır.

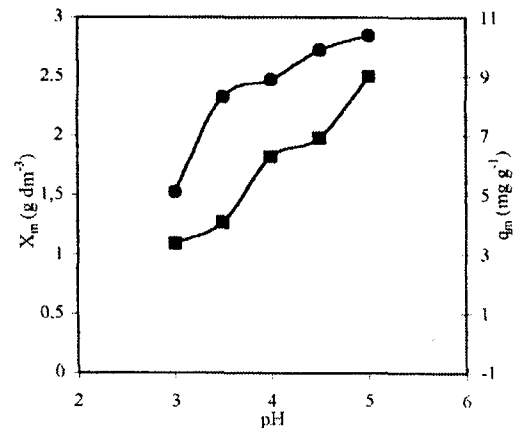
4.1. Başlangıç pH'ının Etkisi

Başlangıç pH'ı mikroorganizmanın üremesinde ve metal iyonlarının biyoakümülyasyonunda önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 1'de görüldüğü gibi başlangıç pH'ının mikroorganizmanın üremesi üzerine ve bakır (II) biyoakümülyasyonuna etkisi pH=3-5 aralığında, 50 mg dm^{-3} başlangıç bakır (II) iyonu derişiminde, 30°C 'de incelenmiş ve en yüksek kuru mikroorganizma derişimi ve bakır (II) biyoakümülyasyonu pH=5'de sırasıyla 2.5 g dm^3 ve 10.4 mg g^{-1} olarak belirlenmiştir. Daha yüksek pH değerlerinde (>5.5) ortamdaki bakır (II) iyonlarının çökmesi nedeniyle çalışma yapılamamıştır.

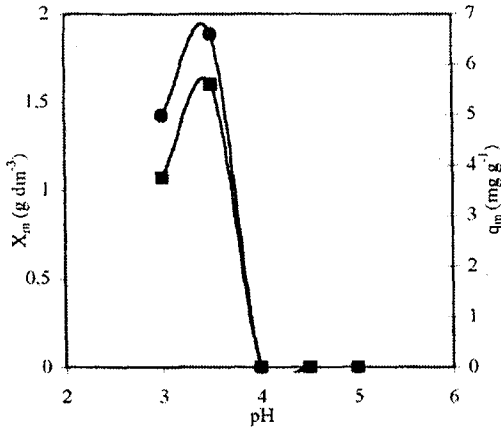
A. niger'in krom (VI) iyonlarını içeren besi ortamında pH'a karşı daha hassas olduğu, mikroorganizmanın üremesi ve krom (VI) biyoakümülyasyon değerlerinin pH=3.5'a kadar arttığı, daha yüksek pH değerlerinin ise *A. niger*'in üremesini tamamen inhibe ettiği gözlenmiştir (Şekil 2).

4.2. Sıcaklığın Etkisi

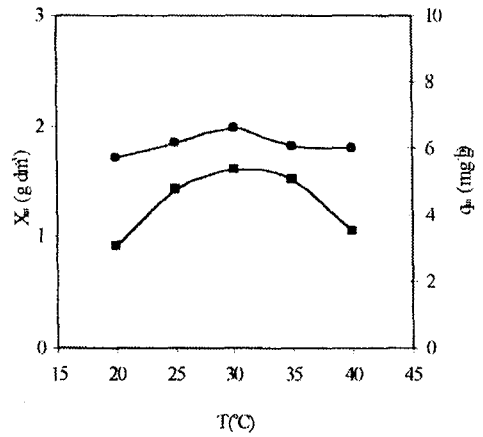
Bakır (II) ve krom (VI) iyonları içeren besi ortamlarında sıcaklığın üreme ve biyoakümülyasyon özelliklerine etkisi $20\text{-}40^\circ\text{C}$ aralığında araştırılmıştır. Şekil 3 ve 4'de görüldüğü gibi *A. niger*, bakır (II) ve krom (VI) iyonu içeren ortamda optimum 30°C 'de üremektedir. Düşük sıcaklıklar *A. niger*'in üremesi üzerinde inhibisyon etkisi yaparken yüksek sıcaklıklarda mikroorganizma içinde bulunan enzim yapısının bozulması sebebiyle metabolik aktivitelerini kaybetmelerinden dolayı daha düşük mikroorganizma özgül üreme hızları ve metal biyoakümülyasyon miktarları elde edilmiştir.



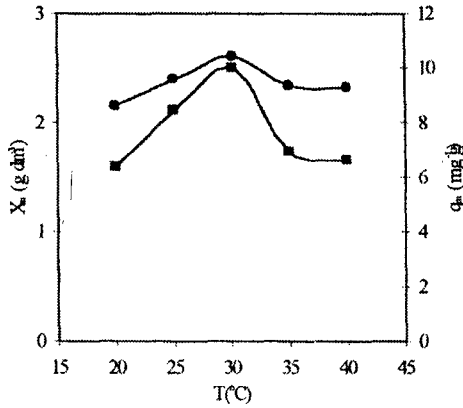
Şekil 1. Başlangıç pH'ının Kuru Mikroorganizma Derişimi ve Bakır (II) Biyoakümülyasyon Kapasitesi Üzerine Etkisi ($T=30^\circ\text{C}$, $KH=100 \text{ rpm}$, $C_0=50 \text{ mg dm}^{-3}$).



Şekil 2. Başlangıç pH'sının Kuru Mikroorganizma Derişimi ve Krom (VI) Biyokümlasyon Kapasitesi Üzerine Etkisi (T= 30°C, KH= 100 rpm, C₀= 50 mg dm⁻³).



Şekil 4. Sıcaklığın Kuru Mikroorganizma Derişimi ve Krom (VI) Biyokümlasyon Kapasitesi Üzerine Etkisi (T= 30°C, KH= 100 rpm, C₀= 50 mg dm⁻³).



Şekil 3. Sıcaklığın Kuru Mikroorganizma Derişimi ve Bakır (II) Biyokümlasyon Kapasitesi Üzerine Etkisi (T= 30°C, KH= 100 rpm, C₀= 50 mg dm⁻³).

4.3. Başlangıç Metal İyonu Derişiminin Etkisi

A. niger'in üremesini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de başlangıç metal iyonu derişimidir. Daha önce belirlenen optimum pH ve sıcaklık değerlerinde başlangıç metal iyonu derişiminin mikroorganizma üreme ve metal biyokümlasyonuna etkisi 25-150 mg dm⁻³ derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

En yüksek kuru mikroorganizma derişimi metal içermeyen besi ortamında 6.45 g dm⁻³ olarak elde edilmiştir. Besi ortamında bakır (II) iyonlarının bulunması *A. niger*'in üremesi üzerinde inhibisyon etkisi yapmış ve başlangıç bakır (II) iyonu derişiminin 25 mg dm⁻³'den 100 mg dm⁻³'e artması ile kuru mikroorganizma derişimi 2.95 g dm⁻³'den 1.25 g dm⁻³'e düşmüştür. Mikroorganizmanın bakır (II) iyonlarını giderim %'si, bakır (II) iyon derişiminin 25 mg dm⁻³'den 100 mg dm⁻³'e artması ile ortamdaki mikroorganizma deri-

Tablo 1. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin *A. niger*'in Üremesi ve Metal Biyokümlasyonuna Etkisi (T= 30°C, KH= 100rpm, Cu (II) için pH= 5, Cr (VI) için pH= 3.5).

| | C ₀ (mg dm ⁻³) | X ₀ (g dm ⁻³) | X _m (g dm ⁻³) | C _{accm} (mg dm ⁻³) | q _m (mg g ⁻¹) | Giderim Yüzdesi (%) |
|------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------|
| Bakır (II) | 0 | 0.034 | 6.45 | - | - | - |
| | 25 | 0.034 | 2.95 | 14.3 | 4.9 | 57.2 |
| | 50 | 0.034 | 2.50 | 25.9 | 10.4 | 51.8 |
| | 75 | 0.034 | 1.85 | 22.8 | 12.3 | 30.4 |
| | 100 | 0.034 | 1.25 | 19.5 | 15.6 | 19.5 |
| | 150 | 0.034 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Krom (VI) | 0 | 0.034 | 6.45 | - | - | - |
| | 25 | 0.034 | 1.75 | 9.0 | 5.1 | 36.0 |
| | 50 | 0.034 | 1.60 | 10.6 | 6.6 | 21.2 |
| | 75 | 0.034 | 0 | 0 | 0 | 0 |

şiminin azalması sonucu %57.2'den %19.5'e azalmıştır. En yüksek bakır (II) biyoakümülyasyon kapasitesi ise 100 mg dm⁻³ başlangıç bakır (II) derişiminde 15.6 mg g⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Bu derişim değerinin üzerinde mikroorganizmanın üremesi tamamıyla inhibe olmuştur.

Tablo 1'de görüldüğü gibi *A.niger*'in üremesi krom (VI) iyonlarına karşı çok hassastır. Ortamda 25 mg dm⁻³ krom (VI) iyonlarının bulunması *A. niger*'in üremesini inhibe etmiş, kuru mikroorganizma derişiminde (1.75 g dm⁻³) keskin düşüşler gözlenmiştir. 75 mg dm⁻³ başlangıç krom (VI) iyon derişiminde ise, herhangi bir mikrobiyal faaliyete rastlanmamıştır. En yüksek krom (VI) tüketim %'si 25 mg dm⁻³ derişiminde %36 olarak belirlenmiştir. Mikroorganizmanın krom (VI) iyonlarını biyoakümülyasyon kapasitesi ise 25 mg dm⁻³ başlangıç krom (VI) derişiminde 5.1 mg g⁻¹ olarak tespit edilmiş, krom (VI) derişiminin 50 mg dm⁻³'e yükselmesi ile bu değer 6.6 mg g⁻¹'e yükselmiştir.

A. niger'in bakır (II) ve krom (VI) iyonlarını içeren ortamdaki üreme ve metal biyoakümülyasyon değerleri karşılaştırılacak olursa, mikroorganizmanın bakır (II) iyonlarına karşı daha dayanıklı olduğu, aynı başlangıç bakır (II) ve krom (VI) iyon derişimlerinde bakır (II) iyonları için daha yüksek kuru mikroorganizma derişimi ve % metal giderim değerleri elde edildiği görülmüştür. Benzer sonuç *A. niger*'in metal biyoakümülyasyon kapasitelerinde de gözlenmiş, bakır (II) iyonları için daha yüksek biyoakümülyasyon kapasite değerleri elde edilmiştir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada bakır (II) ve krom (VI) iyonlarının canlı *A. niger*'in gelişimi ve metal iyonlarını giderimi üzerine etkileri kesikli sistemde incelenmiştir. Canlı mikroorganizmanın böyle bir proseste etkin olabilmesi için öncelikle mikroorganizmanın metal iyonlarını tolere edebilmesi ve onları bünyesinde biriktirebilmesi gereklidir. Yapılan çalışmalar sonucunda, her derişimdeki bakır (II) ve krom (VI) iyonlarının *A. niger*'in üremesini inhibe ettiği, mikroorganizmanın bakır (II) ve krom (VI) iyonları biyoakümülyasyon kapasitesinin başlangıç pH'nın, sıcaklığın ve başlangıç metal iyonu derişiminin fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. En uygun başlangıç pH'ı ve sıcaklık değerleri; bakır (II) iyonları içeren ortamda, pH=5, T=30°C ve krom (VI) iyonları içeren ortamda, pH=3.5, T= 30°C olarak saptanmıştır. *A. niger*'in bakır (II) iyonlarına krom (VI) iyonlarına kıyasla daha dayanıklı olduğu gözlenmiş, 25 ve 50 mg dm⁻³ başlangıç bakır (II) derişiminde toplam bakır (II) iyonlarının %57.2 ve %51.8'ini giderebilmiştir. 150 mg dm⁻³ başlangıç bakır (II) derişiminde *A. niger*'in üremesi tamamıyla inhibe olmuştur.

Krom (VI) iyonlarının düşük derişimlerinin dahi *A. niger*'in gelişimi üzerinde kuvvetli inhibitör etki yaptığı, 25 ve 50 mg dm⁻³ başlangıç krom (VI) derişimlerinde, mikroorganizmanın toplam krom (VI) iyonları miktarının yalnızca %36.0 ve %21.2'sini giderebildiği ve 75 mg dm⁻³ başlangıç krom (VI) derişiminde ise *A. niger*'in üremesinin tamamıyla son bulduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada canlı *A. niger* ile elde edilen maksimum bakır (II) ve krom (VI) biyoakümülyasyon kapasitelerini literatürdeki benzer çalışmalarda elde edilen değerlerle karşılaştırılacak olursak; Dönmez ve Aksu (1999) dört farklı tür maya bakır (II) iyonlarının biyoakümülyasyonunda en yüksek kapasiteyi *Saccharomyces cerevisiae* için 9.05 mg g⁻¹, *Kluyveromyces marxianus* için 11.25 mg g⁻¹, *Schizosaccharomyces Pombe* için 1.27 mg g⁻¹, *Candida sp* için 14.79 mg g⁻¹ olarak bulmuşlardır. Hung ve arkadaşları (1990) ise *S. Cerevisiae* ile bakır (II) iyonlarının biyoakümülyasyon kapasitesini 1.91 mg g⁻¹ olarak tesbit etmişlerdir. Literatürde krom (VI) iyonlarının biyoakümülyasyonuna dair bir veri bulunamamıştır. *A. niger* ile bakır (II) iyonu için elde edilen maksimum kapasite değerinin (9.53 mg g⁻¹), literatür değerleriyle rekabet halinde olduğu görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aksu, Z. ve Kutsal, T. (1986). Atıksulardaki Ağır Metal İyonlarının Giderilmesinde Mikroorganizmaların Kullanılması. Çevre-Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları, 2, 5-10.
- Aksu, Z. ve Kutsal, T. (1994). Atıksulardaki Kurşun (II), Krom (VI) ve Bakır (II) İyonlarının Yeşil Alglerden *Chlorella vulgaris*'e Adsorpsiyonunun Karşılaştırmalı ve Akışkan Yatak Reaktörlerde İncelenmesi. *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences* 18, 403-410.
- Aksu, Z., Sağ, Y., Nourbakhsh, M. ve Kutsal, T. (1995). Atıksulardaki Bakır (II), Krom (VI) ve Kurşun (II) İyonlarının Çeşitli Mikroorganizmalara Adsorplanarak Giderilmesinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. *Tr. J. of Eng. And Environ. Sciences* 19, 285-295.
- Aksu, Z., Çalık, A., Dursun, A.Y. ve Demircan, Z. (1999). Biosorption of Iron (III)-Cyanide Complex Anions to *Rhizopus arrhizus*: Application of Adsorption Isotherms. *Process Biochemistry* 34, 483-491.
- Brady, D., Rose, P.D. ve Duncan, J.R. (1994). The Use of Hollow Fiber Cross-Flow Microfiltration in Bioaccumulation and Continuous Removal of Heavy Metals from Solution by *Sacharomyces cerevisiae*. *Biotechnology and Bioengineering*, 44, 1362-1366.

- Brady, D. ve Duncan, J.R. (1994). Bioaccumulation of Metal Cations by *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Microbiol Biotechnol* 41,149-154.
- Dönmez, G. ve Aksu, Z. (1999). The Effect of Cu (II) Ions on the Growth and Bioaccumulation Properties of Some Yeasts. *Process Biochem* 35, 135-142.
- C. Huang, ve Morehart, A.L. (1990). The Removal of Copper from Dilute Aqueous Solutions by *Saccharomyces cerevisiae*. *Water Research* 24, 433-439.
- Patterson, J.W. (1977). Wastewater Treatment Technology. Ann Arbor Science Publishers Inc., USA.
- Sağ, Y. ve Kutsal, T. (1993). A Comparative Study of the Adsorption of Chromium (VI) Ions to *R. arrhizus* in Batch Stirred, Fluidized Bed and Packed Bed Column Reactors, Sixth European Congress on Biotech. IV: TH 256-TH 257, Firenze.
- TS 266 Türk Standartları, UDK 662.6:543, Haziran 1984, Ankara.
- Uslu, G., Özer, A. ve Ekiz, H.İ. (2002). The Effects of Heavy Metal Ions on the Growth of *R. arrhizus*. Parlar Scientific Publications. In press.
- Veglio, F. ve Beolchini, F. (1997). Removal of Metals by Biosorption: A Review. *Hydrometallurgy* 44, 301-16.
- Volesky, B. ve Philips, H.A. (1995). Biosorption of Heavy Metals by *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Microbiol Biotechnol* 42, 797-806.
- Weber, W.J. (1972). Physicochemical Processes for Water Quality Control, Wiley-Interscience, USA.
- White and Gadd, (1990). Biosorption of Radionuclides by Fungal Biomass. *J. Chem. Technol. Biotechnol* 49, 331-443.
- Wilson, M.W. ve Edyvean, R.R. (1994). Biosorption for the Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters. *Icheme Environmental Biotechnology* 10, 89-91.
- Wilde, E.W. ve Benemann J.R. (1993). Bioremoval of Heavy Metals by the Use of Micro Algae. *Biotech. Adv.* 11, 781-812.



Yakup Cuci, 26.03.1972'de Adıyaman-Besni'de doğdu. Lisans eğitimini 1995 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Yüksek lisans eğitimini aynı üniversitede Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladı. Halen Fırat Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde uzman olarak çalışmakta olup doktora çalışması devam etmektedir. Yakup Cuci evli ve 2 çocuk babasıdır.



Arzu Y. Dursun, 06.12.1961 yılında Ankara'da doğdu. Lisans öğrenimini 1984 yılında Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Yüksek Lisans ve Doktora eğitimini aynı üniversitede yaptı. Halen Fırat Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Yrd.Doç.Dr. olarak çalışmaktadır.



Gülşad Uslu, 19.05.1966'da Tunceli Çemişgezek'de doğdu. Lisans eğitimini 1989 yılında Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde tamamladı. Yüksek lisans ve doktora eğitimini aynı üniversitede Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladı. Halen Fırat Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Yrd.Doç.Dr. olarak çalışmaktadır.