

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

YAŞ VE KURU FUNGUS MİSELLERİYLE PB^{2+} BİYOSORPSİYONUN İNCELENMESİ

Semra İLHAN^{1,2}, Cansu FİLİK¹, Ahmet ÇABUK¹

ÖZ

Sulu çözeltilerden ağır metal iyonlarının uzaklaştırılmasında funguslar oldukça ilgi çekmektedir. Metal iyonlarının adsorbsiyonunda canlı ve ölü hücreler kullanılmakla birlikte ölü hücre kullanımı canlı hücrelere kıyasla daha fazla kabul görmektedir.

Bu çalışmada, çeşitli yaş ve kuru fungal biyokütle kullanılarak sulu çözeltilerden kurşun giderimi çalışılmıştır. Etkili kurşun giderimi için farklı pH'larda bir seri fungus türünü elemek için kesikli biyosorpsiyon denemeleri yapılmış ve farklı biyosorbentler (*Aspergillus oryzae*, *A. versicolor*, *Penicillium cyclopium*, *P. fuscum*, *P. lanoso-coeruleum*, *P. lanoso-viride* ve *P. steckii*) arasındaki biyosorpsiyon kapasite değişimlerinin pH ile ilişkili olduğu görülmüştür. Tüm fungal biyokütle tipleri pH 5.0-7.0 aralığında en yüksek kurşun biyosorpsiyon kapasitesi göstermiştir. En yüksek biyosorpsiyon kapasitesi 100 mg/l başlangıç metal derişiminde pH 7.0'de *A. oryzae* için 34.1 mg/g kuru biyokütledir. pH 6.0'da *P. lanoso-viride* ve *P. lanoso-coeruleum* için kurşun biyosorpsiyon kapasitesiteleri ise sırasıyla 31.6 mg/g ve 26.8 mg/g kuru biyokütle olarak bulunmuştur. Yaş biyokütle ile yapılan çalışmalarda en yüksek biyosorpsiyon kapasitesi *P. lanoso-viride* ile pH 7.0'de 26.9 mg/g kuru biyokütle olarak bulunmuştur.

Yüksek kurşun biyosorpsiyon kapasitesine sahip olduğu belirlenen funguslar için Freundlich izoterminden Freundlich sabitleri belirlenmiştir. Deneysel veriler Freundlich izotermine uygunluk göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyosorpsiyon, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, Kurşun (II), Metal giderimi, Atık su.

INVESTIGATION OF PB^{2+} BIOSORPTION BY WET AND DRY FUNGAL MYCELIA

ABSTRACT

Fungal microorganisms are being increasingly studied for the removal of heavy metal ions from aqueous solutions. Both living and dead cells have been found to adsorb metal ions. However the removal of metal ions using dead cells has received increased attention compared with living cells.

In this study, the removal of lead from aqueous solutions using wet and dry biomass of different fungi was studied. Batch biosorption experiments were performed to screen a series of fungal species for effective lead removal at different pH. Biosorption capacity variations between different biosorbent types (*Aspergillus oryzae*, *A. versicolor*, *Penicillium cyclopium*, *P. fuscum*, *P. lanoso-coeruleum*, *P. lanoso-viride* ve *P. steckii*) could be related to pH. All of the fungal biomass types exhibited the highest lead biosorption capacity between pH 5.0-7.0.

The highest biosorption capacity was 34.1 mg/g dry biomass for *A. oryzae* at pH 7.0 and 100 mg/l initial lead concentration. At pH 6.0, the maximum lead biosorption capacities of *P. lanoso-viride* and *P. lanoso-coeruleum* were 31.6 mg/g and 26.8 mg/g dry biomass, respectively.

In studies with the wet biomass, the highest biosorption capacity was found as 26.9 mg/g dry biomass for *P. lanoso-viride* at pH 7.0.

For the fungi having the high lead biosorption capacity their Freundlich constants were determined from their Freundlich isotherms. The experimental data were suitable with Freundlich isotherm.

Key Words: Biosorption, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, Lead (II), Metal removal, Waste water.

1. GİRİŞ

Çeşitli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların içinde bazen eser miktarlarda bazen de yüksek konsantrasyonlarda metaller bulunur. Metaller alıcı ortamlarındaki canlı yaşam üzerine, konsantrasyonları ile orantılı olarak toksik etki yaparlar. Eser miktarlarda bile sakıncalı olabilen bu maddeler arasında en önemli grubu "ağır metaller" diye adlandırılan Sb, Ag, As, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, Th, U, V, Zn gibi elementler oluşturur. Özellikle kadmiyum, civa, kurşun ve krom gibi ağır metaller, besin zincirleriyle girdikleri canlı bünyelerinden doğal fizyolojik mekanizmalarla atılmadıkları için birikime uğrar ve bünyede belirli sınırların aşılması halinde toksik etki yaparlar. Bu birikim sonucunda sulara yaşayan balıklar ve diğer canlılar ölebilir. Hatta bu tür su ürünleriyle beslenen insanların yaşamı da tehlikeye girebilir. Bu nedenle deşarj edilmeden önce ağır metallerin atıksulardan uzaklaştırılması gerekmektedir (Uslu ve Türkman, 1987; Gadd, 1990; Anonim, 1991; Gadd, 1993; Puranik ve Paknikar, 1997; Matheickal ve Yu, 1997).

Atıksulardan ağır metallerin gideriminde şelat oluşumu ile ekstraksiyon, iyon değiştirme, kristallendirme, yüzdürme, buharlaştırarak ve dondurarak kristallendirme ve elektrolitik indirgeme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Metal kirliliğinin giderilmesinde kullanılan bu klasik yöntemler gerek tesis, gerek ekipman ve gerekse de malzeme açısından pratik ve ekonomik değildir. Ayrıca metal kirliliği yönünden de arıtmanın çok verimli olduğu söylenemez (Nourbakhsh, 1991; Sam-sunlu, 1999; Lo vd., 1999).

Biyolojik yolla metal giderimi yukarıda belirtilen klasik yöntemlere göre üstünlüklere sahip olup günümüzde kullanımı giderek artmaktadır. Biyosorpsiyon, biyolojik materyal ile çözümlenen metallerin ve yakın elementlerin ya da bileşiklerin uzaklaştırılmasını tanımlamada kullanılan genel bir terimdir. Tüm biyolojik materyaller önemli biyosorpsiyon yeteneğine sahip olmakla birlikte, biyosorpsiyonun endüstriyel uygulamalarında mikrobiyal sistemler tercih edilmektedir (Gadd, 1988; Gadd, 1990; Matheickal ve Yu, 1997).

Çözünmüş halde bulunan ağır metalleri bakteriler, funguslar, mayalar ve algler yüzey bileşenleri sayesinde adsorplayarak ortamdan uzaklaştırabilmektedirler. (Kapoor ve Viraraghavan, 1998). Fungal biyokütleden oluşan bileşikler adsorplamada çok dikkat çekmektedir. Fungal çeperlerdeki biyosorplayıcı ajanlar mannanlar, glukanlar, kitin ve kitosanı kapsar. Kitin ve kitosanın fosforlanmış türevleri, fosforlanmamış kitin ve kitosandan daha etkili biyosorplayıcı ajanlardır. Fungal fenolik polimerler ve melaninler fenolik birimleri, peptidleri, karbohidratları, alifatik hidrokarbonları ve yağ asitlerini içerir. Özellikle melaninler ya saflaştırılmış halde ya

da çeper materyaliyle birlikte iyi biyosorplayıcı ajanlardır (Gadd, 1990; Fogarty ve Tobin, 1996; Kapoor ve Viraraghavan, 1997). Ancak biyosorpsiyon üzerine çevresel faktörlerin etkisi göz ardı edilemez. Özellikle metal formu ve ortam pH'ı en önemli çevresel faktörlerdendir. Fungusların iyi birer biyosorbent olduğu bilince de türler arası farklılıklar söz konusudur.

Biyosorpsiyon çalışmalarında hem canlı hem de ölü biyokütleler kullanılabilir. Ancak düşük maliyet ve geniş çeşitlilik nedeniyle ölü biyokütlelerin biyosorpsiyon çalışmalarında kullanımı büyük ilgi görmektedir. Metallerin mikrobiyal büyüme üzerine toksik etkileri ya da salgılanan metabolit veya besinlerin metal birikimini engellemesi gibi durumlar ölü biyokütle ile çalışıldığında sorun oluşturmaz (Fourest ve Roux, 1992).

Bu çalışmada atıksulardan metal gideriminde yedi fungus türünün yaş ve kuru misellerinin biyosorpsiyon yetenekleri pH'ya bağımlı olarak incelenmiş ve en iyi biyosorpsiyon kapasitesi gösteren türler için biyosorpsiyon izotermi elde edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Mikroorganizmalar

Bu çalışmada kullanılan fungus türleri (*Aspergillus oryzae*, *A. versicolor*, *Penicillium cyclopium*, *P. fuscum*, *P. lanoso-coeruleum*, *P. lanoso-viride* ve *P. steckii*) Osmangazi Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu 1996/42 no'lu proje kapsamında kurşun kirliliği olduğu bilinen topraklardan izole edilen çok sayıda küf arasından seçilmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen küfler yatık potato dekstroza agarda (PDA) +4°C'de saklanmıştır.

2.2. Mikroorganizmaların Çoğaltılması

Her küf aktiflenmek üzere stoktan yatık PDA'lara aktarılmış ve 27°C'de 5-7 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda gelişen sporlar 100 ml Malt Broth (MB) içeren 250 ml'lik erlenlere transfer edilmiş ve 27°C sıcaklıkta ve 140 rpm çalkalama hızında 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Oluşan inokulumdan aseptik koşullarda 10'ar ml alınarak 100 ml MB içeren 10 erlene aktarılmış ve pelletlerin gelişimi için 140 rpm çalkalama hızında 5 gün inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda pelletler filtre kağıdından süzülüş ve deiyonize su ile yıkanmıştır. Elde edilen pelletlerden kuru olarak denenecekler 80°C sıcaklıkta 12-15 saat kurutulmuş ve öğütülmüştür. Yaş olarak denenecekler ise suyu sıkılarak uzaklaştırıldıktan sonra kullanılmıştır.

2.3. pH Çalışmaları

Biyosorbsiyon işleminde $Pb(NO_3)_2$ kullanılarak 1000 mg/l Pb^{2+} içeren stok çözeltiden 100 mg/l'lik çözeltiler hazırlanmıştır. pH, HCl ve NaOH ile 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 olacak şekilde ayarlanmıştır. Yaş biyokütle (2.126 g) ve buna karşılık gelen kuru biyokütle (0.3 g) erlenlere ilave edildikten sonra oda sıcaklığında 150 rpm hızda çalkalanmıştır. 300 dakika boyunca belirli zaman aralıklarında örnekler alınmıştır. Alınan örnekler filtre edildikten sonra Pb^{2+} analizleri yapılmıştır. Gram yaş ve kuru biyokütle başına adsorplanan mg metal iyonu miktarları formül 1'e göre hesaplanmıştır.

$$Q = [(C_o - C) \cdot V] / M_b \quad (1)$$

Burada Q , biyokütle başına adsorplanan metal iyonu miktarı (mg/g); C_o başlangıç metal konsantrasyonu (mg/l); C , biyosorpsiyondan sonraki metal konsantrasyonu (mg/l); V , çalışma hacmi (l); M_b , biyokütle miktarını ifade etmektedir (Say vd., 2001).

2.4. İzoterm Çalışmaları

Aşağıda verilen, heterojen yüzeylerde sorpsiyonun dayandığı deneysel Freundlich eşitliği yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$q_{eq} = K_F C_{eq}^{1/n} \quad (2)$$

Burada, K_F ve n Freundlich sabitleridir. Freundlich izoterminden hesaplanan K_F değeri, metalin hücrelere adsorplanma kapasitesinin bir ölçüsüdür, n değeri adsorpsiyon derecesini ve $1/n$ ise izoterm doğrusunun eğimini vermektedir. Metallerin adsorpsiyonu, hücrelerin aktif yüzeyine, metalin adsorplanma kapasitesine, derecesine ve hücre ile metal arasındaki temas yüzeyine bağlıdır. Burada, q_{eq} dengede hücre tarafından adsorplanan metal miktarını ve C_{eq} ise dengede adsorplanmadan kalan metal konsantrasyonunu verir. Freundlich adsorpsiyon modelinde K_F değerinin yüksek, n değerinin ise düşük (genellikle 1'den küçük) olması bu modele uygunluğu ifade eder (Smith, 1981; Nourbakhsh vd., 1994; Aksu vd., 1999; Kılıçarslan, 1999).

İzoterm çalışmalarında; 25, 50, 100, 150 ve 200 mg/l Pb^{2+} içeren 100 ml'lik metal çözeltilerine belirtilen miktarlarda yaş ve kuru biyokütle ilave edilmiştir. Erlenler $30^\circ C$ 'de 150 rpm'e ayarlı çalkalayıcıda çalkalanmıştır. 300 dakika boyunca belirli zaman aralıklarında örnekler alınmıştır. Alınan örnekler filtre edildikten sonra Pb^{2+} analizleri yapılmıştır. Denge anında ortamda kalan metal derişimine karşı birim biyokütle başına adsorplanan metal miktarı logaritmik olarak grafiğe geçirilmiştir.

Tüm kurşun analizleri Perkin Elmer 3110 Atomik Absorbsiyon Alev Spektrofotometre cihazında (217nm dalga boyu, 0.7nm slit aralığı) gerekli seyreltmeler yapılarak 0.01 mg/l duyarlılıkta yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Metal-fungus etkileşimlerinde metalin formunu ve mobilitesini, hücre fizyolojisini ve metabolizmasını etkilemesi nedeniyle pH önemli bir faktördür. Azalan pH çözeltideki serbest metal iyonlarının konsantrasyonunu artırmasına karşılık, hidrojen iyonu ile metal iyonları hücresel bağlanma yerleri için yarışmakta ve hücre ile metal arasındaki potansiyel etkileşim azalmaktadır (Gadd, 1990; Kapoor vd., 1999). Cr^{6+} ve Fe^{3+} giderimi için en uygun pH değeri 1.0-2.0 olarak bildirilmesine rağmen, genel olarak funguslarla diğer metal iyonlarının gideriminde 3.0'ün altındaki pH'larda biyosorpsiyonun az ya da hiç olmadığı bilinmektedir (Fourest ve Roux, 1992; Nourbakhsh vd., 1994; Kapoor vd., 1999; Lo vd., 1999). Bu nedenle, kurşun biyosorpsiyonunda pH'nın etkisini belirleyebilmek için 3.0 ve üzerindeki pH değerleri seçilmiştir. Artan pH, metal hidroksit ve oksitlerin oluşumuna ve çökelmeye neden olmaktadır (Gadd, 1990). Kurşun iyonları pH 7.0'nın üzerinde çökelebilen forma dönüşmesi nedeniyle en yüksek pH değeri olarak 7.0 seçilmiştir. İncelenen pH aralığında (3.0-7.0) belirtilen fungusların hem kuru hem de yaş biyokütelleriyle yapılan denemelerde düşük pH değerlerinde biyosorpsiyonun az olduğu gözlenmiştir. Türlerle göre farklılık göstermesiyle birlikte kurşun biyosorpsiyonu için en uygun pH değerlerinin 5.0-7.0 olduğu gözlenmiştir (Tablo 1, Şekil 1 ve Şekil 2). pH 5.0'nın altında kurşun biyosorpsiyonunun az olması çözeltideki hidrojen iyonunun fazla olmasına bağlanabilir. Bununla birlikte, pH değişimleri çözeltideki metal katyonlarının özelliğini ve dolayısıyla bağlanabilirliğini değiştirebileceği gibi biyokütlenin metal bağlayan fonksiyonel gruplarının kimyasal durumunu da değiştirebilir (Marques vd., 2000). Funguslara ağır metal biyosorpsiyonu, fungal hücre yüzeyinde bulunan fonksiyonel gruplar ile metal iyonları arasındaki iyonik etkileşimler ve kompleks oluşumunun bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Ağır metal biyosorpsiyonu ile ilgili fonksiyonel gruplar fosfat, karboksil, amin ve amid gruplarıdır (Volesky, 1990; Tobin vd., 1990; Zhou, 1999).

Kapoor ve Viraraghavan, (1997) amin ve karboksil gruplarının ağır metallerin biyosorpsiyonuyla ilgili önemli fonksiyonel gruplar olduğunu ileri sürerek, farklı funguslarda ağır metallerin biyosorpsiyonunun farklı olmasını onların farklı fonksiyonel gruplara sahip olmalarına bağlamışlardır.

Kuru hücrelerin canlı hücrelerden daha yüksek metal bağlama kapasitelerinin olduğu çeşitli çalışmalar-

da bildirilmiştir (Volesky, 1990; McLean vd., 1996). Denenen yedi fungusun yaş ve kuru biyokütlesi ile yapılan biyosorpsiyon çalışmalarının sonuçları karşılaştırıldığında genel olarak tüm funguslarda kuru biyokütle ile daha yüksek bir biyosorpsiyon kapasitesinin olduğu ve yaklaşık 100 dakikadan sonra Q değerinin çok fazla değişmediği dikkat çekmektedir (Şekil 1). Kuru biyokütleden farklı olarak yaş biyokütle ile kurşun biyosorpsiyonunda, Q değeri deneme süresi boyunca dalgalanmalar göstermektedir (Şekil 2). Bu durumun, canlı hücrelerin metal toksisitesine karşı gösterdikleri direnç mekanizmaları ve metabolizmaya dayalı metal tutulum mekanizmaları ile ilgili olduğu söylenebilir (Gadd, 1988). Kuru biyoküttelede sadece hücre yüzeyi değil, hücre içi bileşenlerinin de metal tutma yeri olarak iş görmesi biyosorpsiyonu artırmaktadır. Kuru biyokütle ile her fungus için en iyi biyosorpsiyonun olduğu pH'da, gram biyokütle başına adsorplanan metal iyonu miktarına göre yüksekten düşüğe doğru fungus türleri *Aspergillus oryzae*, *Penicillium lanosa viride*, *P. lanosa coeruleum*, *P. fuscum*, *P. cyclopium*, *A. versicolor*, *P. steckii* olarak sıralanmaktadır. Yaş biyokütle ile sıralama *Penicillium lanosa viride*, *P. lanosa coeruleum*, *Aspergillus oryzae*, *P. cyclopium*, *A. versicolor*, *P. fuscum*, *P. steckii* şeklindedir (Tablo 1).

Aspergillus niger ile içerisinde Pb^{2+} 'ninde bulunduğu çeşitli ağır metallerin biyosorpsiyonunda ön muamelelenin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, çeşitli yöntemlerle inaktive edilmiş *A. niger* biyokütelleri kul-

lanılmıştır. En yüksek Pb^{2+} biyosorpsiyon kapasitesi formaldehit ile işlem görmüş kuru biyokütle ile pH 5.0'da 7.42 mg/g olarak bildirilmiştir (Kapoor ve Viraraghavan, 1998). Puranik ve Paknikar tarafından *Streptovorticillium cinnamoneum*'un 60°C'de 48 saat kurularak elde edilen kuru biyokütelleriyle yapılan bir çalışmada ise pH 4.0'da Pb^{2+} biyosorpsiyon kapasitesinin 3.5 mg/g olduğu bildirilmiştir (Puranik ve Paknikar, 1997). Tablo 1 incelendiğinde sadece 80°C'de bekletilerek elde edilen kuru biyokütellerin biyosorpsiyon kapasitelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

P. lanosa viride ve *P. lanosa coeruleum* yaş biyokütelleri, *A. oryzae* ve *P. lanosa viride* kuru biyokütellerinin en yüksek biyosorpsiyon kapasitesi göstermesi nedeniyle bu türlerle yapılan biyosorpsiyon çalışmalarının Freundlich izotermine uygunluğu araştırılmıştır (Şekil 3). Buna göre *P. lanosa viride* kuru biyokütlesi ve *A. oryzae* kuru biyokütlesi en iyi K_F ve n değerlerini vermiştir (Tablo 2).

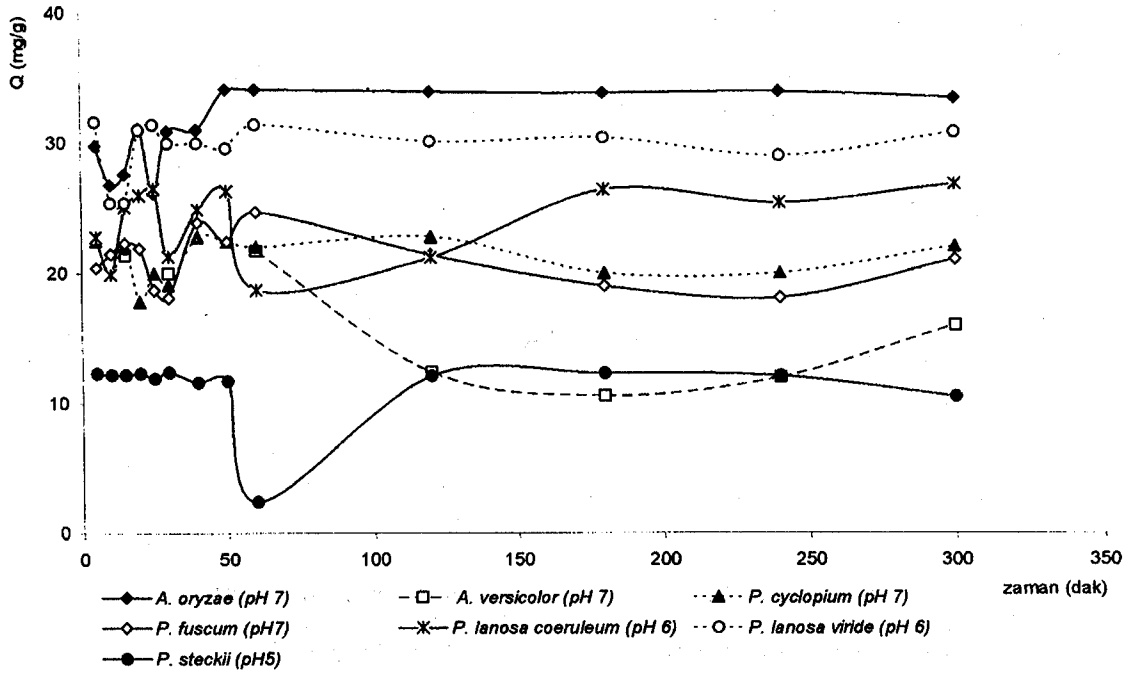
Sonuç olarak fungusların kurşun tutma yeteneklerinin türe göre değiştiği, buna ilaveten yaş ve kuru biyokütle kullanımının biyosorpsiyon kapasitesini etkilediği anlaşılmaktadır. Funguslarla kurşun gideriminde etkili mekanizma adsorpsiyon olup nötr pH civarında daha kuvvetlidir. İncelenen küfler arasında *A. oryzae*, *P. lanosa viride* ve *P. lanosa coeruleum*'un diğerlerine göre kurşun gideriminde daha etkili olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 1. Yaş ve Kuru Fungal Biyokütellerin Kurşun Biyosorplama Kapasiteleri ($C_0=100$ mg/l).

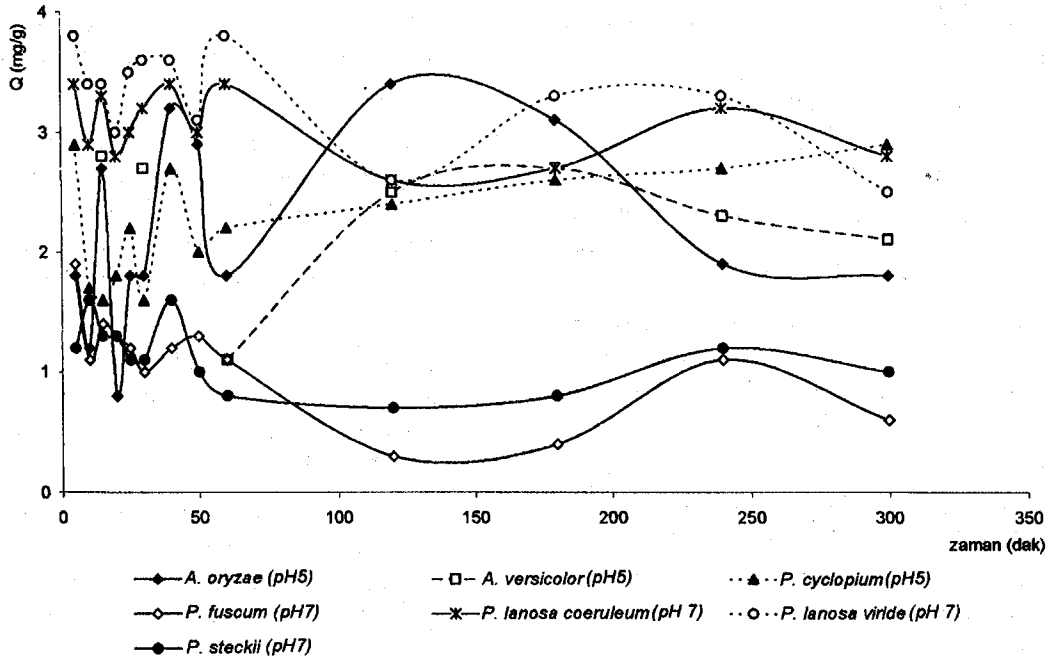
Biyokütle tipi	Biyosorpsiyon kapasitesi (gram kuru biyokütle başına biyosorplanan mg kurşun iyonu)			
	pH	Yaş biyokütle	pH	Kuru biyokütle
<i>A. oryzae</i>	5	23.5	7	34.1
<i>P. lanosa viride</i>	7	26.9	6	31.6
<i>P. lanosa coeruleum</i>	7	24.0	6	26.8
<i>P. fuscum</i>	7	13.4	7	24.7
<i>P. cyclopium</i>	5	20.5	7	22.8
<i>A. versicolor</i>	5	19.8	7	21.7
<i>P. steckii</i>	7	11.3	5	12.4

Tablo 2. Freundlich İzoterm Çalışmasında Elde Edilen K_F ve n Değerleri.

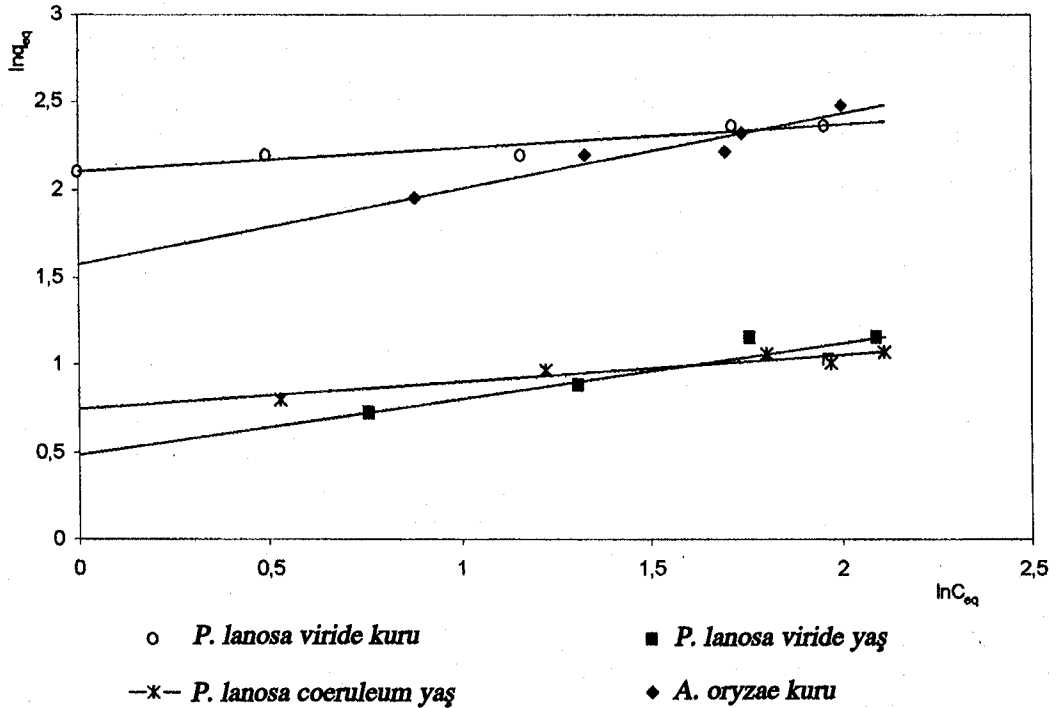
Biyokütle tipi	K_F	n
<i>P. lanosa viride</i> (kuru)	126.765	0.732
<i>A. oryzae</i> (kuru)	37.78	0.371
<i>P. lanosa viride</i> (yaş)	3.099	0.480
<i>P. lanosa coeruleum</i> (yaş)	5.613	0.699



Şekil 1. Kuru Fungus Miselleriyle Gram Kuru Hücre Tarafından Adsorplanan Kurşun (II) Miktarının Zamanla Değişimi ($C_0 = 100$ mg/l).



Şekil 2. Yaş Fungus Miselleriyle Gram Kuru Hücre Tarafından Adsorplanan Kurşun (II) Miktarının Zamanla Değişimi ($C_0 = 100$ mg/l).



Şekil 3. En İyi Biyosorpsiyon Yeteneğine Sahip Fungal Biyokütleler İle Kurşun Biyosorpsiyonu İçin Freundlich İzotermi.

KAYNAKÇA

- Aksu, Z., Çalik, 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.
- Anonim, (1991). *Türkiye'nin Çevre Sorunları*. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Önder Matbaası, 75-80.
- Fogarty, R.V. ve Tobin, J.M. (1996). Fungal melanins and their interactions with metals. *Enzyme and Microbial Technology* 19, 311-317.
- Fourest, E. ve Roux, J.C. (1992). Heavy metal biosorption by fungal mycelial by-products: mechanisms and influence of pH. *Applied Microbiology and Biotechnology* 37, 399-403.
- Gadd, G.M. (1988). Special Microbial Processes. *Biotechnology*, Vol. 6b., Ed: H.J.Rehm, ss 401-433, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- Gadd, G.M. (1990). Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms. *Experientia* 46, 834-840.
- Gadd, G.M. (1993). Interactions of fungi with toxic metals. *New Phytol.* 124, 25-60.
- Kapoor, A. ve Viraraghavan, T. (1997). Heavy metal biosorption sites in *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology* 61, 221-227.
- Kapoor, A. ve Viraraghavan, T. (1998). Biosorption of heavy metals on *Aspergillus niger*: Effect of pre-treatment. *Bioresource Technology* 63, 109-113.
- Kapoor, A., Viraraghavan, T. ve Cullimore D.R. (1999). Removal of heavy metals using fungus *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology* 70, 95-104.
- Kılıçarslan S. (1999). Ağır Metal İyonlarını İçeren Besin Ortamlarında Üretilen Mikroorganizmalarla Kesikli Sistemde Cr⁶⁺, Pb²⁺ ve Cu²⁺ İyonlarının Adsorpsiyonu. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, ss. 5-25.
- Lo, W., Chua, H., Lam, K. ve Bi, S. (1999). A comparative investigation on the biosorption of lead by filamentous fungal biomass. *Chemosphere* 39(15), 2723-2736.
- McLean, R.J.C., Fortin, D. ve Brown, D.A. (1996). Microbial metal-binding mechanisms and their relation to nuclear waste disposal. *Canadian Journal of Microbiology* 42, 392-400.
- Marques, P.A.S.S., Rosa, M.F. ve Pinheiro, H.M. (2000). pH effects on the removal of Cu²⁺, Cd²⁺ and Pb²⁺ from aqueous solution by waste brewery biomass. *Bioprocess Engineering* 23, 135-141.

Matheickal, J.T. ve Yu, Q. (1997). Biosorption of lead(II) from aqueous solutions by *Phellinus badius*. *Minerals Engineering* 10(9), 947-957.

Nourbakhsh, M. (1991). *Serbest ve Alginat Jelinde Tutulanmış Saccharomyces cerevisiae Mayası ile Atıksulardaki Ağır Metal İyonlarının Adsorbsiyonunun İncelenmesi*. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara.

Nourbakhsh, M., Sağ, Y., Özer, D., Aksu, Z., Kutsal, T. ve Çağlar, A. (1994). A comparative study of various biosorbents for removal of chromium (VI) ions from industrial wastewaters, *Process Biochemistry* 29, 1-5.

Puranik, P.R. ve Paknikar, K.M. (1997). Biosorption of lead and zinc from solution using *Streptovercillium cinnamoneum* waste biomass. *Journal of Biotechnology* 55, 113-124.

Samsunlu, A. (1999). *Çevre Mühendisliği Kimyası*. Sam-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları 4. Baskı, 371-380.

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

Smith, J.M. (1981). *Chemical Engineering Kinetics*. International Edition, McGraw Hill.

Tobin, J.M., Cooper, D.G. ve Neufeld, R.J. (1990). Investigation of the mechanism of metal uptake by denaturated *Rhizopus arrhizus* biomass. *Enzyme Microb. Technol.* 12, 591-595.

Uslu, O. ve Türkman, A. (1987). *Su Kirliliği ve Kontrolü*. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi 1, Ankara, 1-18.

Volesky, B. (1990). Removal and recovery of heavy metals by biosorption. *Biosorption of Heavy Metals*. Ed: B. Volesky, ss. 7-43. CRC Press, Boca Raton, FL.

Zhou, J.L. (1999). Zn biosorption by *Rhizopus arrhizus* and other fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology* 51, 686-693.



Semra İlhan, 1959 yılında Çanakkale'de doğdu. Lisans derecesini 1980 yılında Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'nden, Yüksek Lisans derecesini 1983 yılında "Fermentasyon Yolu ile Penisilin Üretimi" başlıklı çalışma ile ve Doktora derecesini 1996 yılında "İmmobilize Hücrelerle Penisilin Üretiminde Taşıyıcı Olarak Pomza Partiküllerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması" başlıklı çalışma ile Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Temel ve Endüstriyel Mikrobiyoloji Bilim Dalı'ndan aldı. 1994 yılında Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. 1997 yılından bu yana Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır.



Cansu Filik, 1978 yılında Sivas'da doğdu. Lisans derecesini 1998 yılında Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nden, Yüksek Lisans derecesini 2001 yılında "Atıksulardan Yağların Biyolojik Olarak Giderimi" başlıklı çalışma ile Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Genel Biyoloji Bilim Dalı'ndan aldı. 2001 yılında Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Genel Biyoloji Bilim Dalı'nda Doktora eğitimine başladı. 29 Kasım 2000 tarihinden bu yana Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



Ahmet Çabuk, 1977 yılında Ankara'da doğdu. Lisans derecesini 1999 yılında Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nden, Yüksek Lisans derecesini 2001 yılında "Sıkıştırılmış Yatak Biyoreaktörde İmmobilize Bakteriyel Biyokütle Kullanılarak Atıksulardan Ağır Metal Giderimi" başlıklı çalışma ile Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Genel Biyoloji Bilim Dalı'ndan aldı. 2001 yılında Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Genel Biyoloji Bilim Dalı'nda Doktora eğitimine başladı. 10 Ağustos 1999 tarihinden bu yana Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.