

## İğdır/Tuzluca Kaya Yataklarından İzole Edilen Halofilik *Sagenomella* sp' nin Metal Biyosorpsiyonu.

Mine AYDIN<sup>1</sup>, Alaattin GUVEN<sup>2</sup>, Semra MALKOC<sup>3</sup>, Kıymet GUVEN<sup>4</sup> ve Elif KORCAN<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>Namık Kemal Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji ABD, Tekirdağ.

<sup>2</sup>Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Eskişehir.

<sup>3</sup>Anadolu Üniversitesi, Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Eskişehir.

<sup>4</sup>Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Eskişehir.

<sup>5</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Afyonkarahisar.

mineaydin1986@gmail.com, aguvenc@anadolu.edu.tr, satik@anadolu.edu.tr, kguvenc@anadolu.edu.tr, ekorcan@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:29.04.2013; Kabul Tarihi:13.07.2013

### Özet

#### Anahtar kelimeler

Halofilik funguslar;  
Metal  
biyosorpsiyonu; ICP-  
OES; FT-IR; FAME

İğdır/Tuzluca Kaya Tuzu Yatağı izolatu halofilik *Sagenomella* sp'nin Pb, Ni, Cr, Zn, Cd, Cu ve Co metalleri için ağır metal toleransı belirlenmiştir. Ağır metal toleransı sonucu, metal biyosorpsiyonunda Cd ve Zn için *Sagenomella* sp. izolatlari ile çalışılmıştır. Biyosorpsiyon deneylerinde, 95, 226, 310, 486 mg/lit Cd (pH 5) and 61.9, 132.6 mg/lit Zn (pH 6) kullanılmıştır. Element analizleri için indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) kullanılmıştır. Maksimum biyosorpsiyon; *Sagenomella* sp. 95 mg/lit Cd için %78.63 (96. saat) ve 61,9 mg/lit Zn için %54.1 (96. saat) olarak belirlenmiştir. Biyosorpsiyon datalarının, Freundlich izotermine uygun olduğu gözlemlenmiştir. Hücre ile metal iyonlarının etkileşimi fourier transform infrared spektrometre (FT-IR) ile değerlendirilmiştir. FT-IR analizi; kadmiyum ve çinko biyosorpsiyonunda hücredeki aktif fonksiyonel grubun amid (1595-1700 cm<sup>-1</sup>) olduğunu göstermiştir.

## Metal Biosorption by a Halophile *Sagenomella* sp. Isolated from İğdır/Tuzluca Rock Salt Bed in Turkey

### Abstract

#### Key words

Halophilic fungi;  
Metal biosorption;  
ICP-OES; FT-IR; FAME.

Halophilic fungi *Sagenomella* sp'isolat gained from İğdır/Tuzluca Rock Salt Bed. The heavy metal tolerance for Pb, Ni, Cr, Zn, Cd, Cu and Co were determined. As a result of heavy metal tolerance; halophilic *Sagenomella* sp. isolate Cd and Zn was found active for using heavy metal biosorption. Biosorption experiments were carried out with concentrations of the heavy metal; 95, 226, 310, 486 mg/lit Cd (pH 5) and 61.9, 132.6 mg/lit Zn (pH 6). Elemental analyses were carried out by using coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES). The maximum biosorption were determined at *Sagenomella* sp. %78.63 (96. hour) of 95 mg/lit Cd and %54.1 (96. hour) of 61.9 mg/lit Zn. The biosorption data fungi were fitted Freundlich isotherm. The possible cell-metal ions interactions was evaluated by fourier transform infrared spectrometer (FT-IR). FT-IR analysis showed that amide (1595-1700 cm<sup>-1</sup>) was the active compound in the cells to biosorb lead, cadmium, zinc.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Ağır metal giderimin de kullanılacak olan mikroorganizmanın iyi bir biyosorbent olmasının yanı sıra ekonomik olarak üretilebilmesi de önemlidir. Günümüzde metal içeren atık suların arıtılması, deşarj edildikleri alıcı ortamlarda meydana getirdikleri kirlilik nedeniyle dikkatle değerlendirilmesi gereken bir konu olarak gündeme gelmektedir. Çünkü metal içeren bazı atık suların

arıtılmasında çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Söz konusu problemler özellikle kompleks olarak bağlı metal içeren atık suların arıtımında kendini göstermektedir. Bu tip atık sular, bünyelerinde organik ligandların bulunduğu atık sular olarak tanımlanmakta ve "kompleks olarak bağlı metal içeren atıksular" olarak isimlendirilmektedir (USEPA 1990).

Halofilik mikroorganizmalar diğer ekstremofilik mikroorganizmalarla karşılaştırıldıklarında basit besiyerlerinde kolay üretilibilmelerinden dolayı biyoteknolojik olarak büyük bir potansiyele sahiptirler. Buna rağmen ekstremofilik mikroorganizmalarla ilgili alınan patent uygulamalarının sadece %20'si halofilik mikroorganizmalara aittir (Horiskoshi and Grant 1998). Bu uygulamalardan bazıları bakteriyodopsin, halorodopsin, biyopolimerlerdir. Bunların dışında biyosülfektanlar petrol kontamine toprak ve suların temizlenmesinde kullanılmaktadır (Margejin and Schinner 2001).

Pek çok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan funguslar ekonomik olarak üretilibilmeleri, kolay elde edilebilir olmaları, çevresel değişimlere karşı hassas olmamaları gibi nedenlerle ağır metal giderim amacıyla kullanılabilir önemli bir kaynaktır. Ancak tuzcul fungusların ağır metal gideriminin de etkin olarak kullanılabilmesi konusunda yapılmış çok fazla çalışma yoktur.

Bu nedenle, çalışmamızda İğdir/Tuzluca bölgelerinden izole edilmiş *Sagenomella sp.* (M8) izolatının ağır metal direnci ve biyoremediasyon çalışmalarında kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek amaçlanmıştır.

## **Materyal ve Metot**

### **Ağır Metal Toleransının Belirlenmesi**

İzolatın Malt Ekstrakt Agar (MEA)'a ekimi yapılarak yaklaşık 7 gün inkübasyondan sonra, gelişen fungusların üzerine %1' lik Tween 80 çözeltisinden 1 ml konularak spor süspansiyonu hazırlanmıştır. Thoma lamında, spor süspansiyonunun dilüsyonlarında spor sayımı yapılmıştır. Spor miktarının  $10^6$  adet/ml olduğu dilüsyon ağır metal çalışmalarında kullanılmıştır. Ağır metal miktarı 0,05-10 mg/ml olacak şekilde Sabouraud Dextrose Agar (SDA) besiyeri hazırlanmıştır. Fungusun  $Pb(NO_3)_2$ ,  $NiCl_2$ ,  $K_2CrO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $Cd(NO_3)_2$ ,  $Cu(NO_3)_2$  ve  $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 'a toleransı belirlenmiştir. SDA besiyerlerine fungusun spot ekimler yapıldıktan sonra (Zafar et al. 2007)  $26 \pm 2$  °C'de için 10 gün inkübasyona bırakılmıştır. Fungusun gelişmediği en

son metal konsantrasyonu metal toleransı olarak saptanmıştır. Bütün ekimler 2 paralel halinde yapılmıştır.

### **Ağır Metal Biyosorpsiyonu**

Biyosorpsiyon çalışması için kullanılacak bütün cam malzemeler %5' lik nitrik asitde en az 5 saat bekletilmiştir. Yıkama distile suda ile bir gece boyunca bekletildikten sonra cam malzemenin etüvde kurutulmasıyla gerçekleştirilmiştir (Moore 2007). İzolatlar biyosorpsiyon çalışmasında kullanılmadan önce 100 ml YMS (Yeast Ekstrakt 10 g, Malt Ekstrakt 10 g, Sükroz 10 g, Distile Su 1 lt) besiyeri içeren 250 ml'lik erlenlere ekimleri yapılmış ve gelişmeleri için 25 °C' de 3 gün 125 rpm' de çalkalamalı etüvde inkübe edilmişlerdir. Biyomasın elde edilmesi 150 µm' lik steril filtre kağıtlarından vakumla süzülerek gerçekleştirilmiştir. Süzülen biyomas steril distile suyla besiyeri kalıntısı olmaması için yıkanmıştır. Cd' un; 95, 226, 310 ve 486 mg/Lt' lik çözeltileri pH 5 olacak şekilde, Zn' nun ise; 61,9 ve 132,6 mg/Lt' deki çözeltileri pH'ı 6 olacak hazırlanmıştır. Bütün ağır metallerin stok solüsyonu hazırlanarak steril edilip, steril erlenlere 50 ml konulmuştur. Vakumla süzülen biyomaslar 2,5 g tartılarak erlenlere konulmuştur. Biyomas ve belirli konsantrasyonda ağır metal bulunan erlenler 25 °C' de 125 rpm' de çalkalamalı etüvde biyosorpsiyon için bırakılmışlardır. Belirli zaman aralıkların da (1, 2, 4, 8, 24, 28, 32, 48, 52, 56, 72, 96 ve 120 saat) analiz için ağır metal solüsyonları alınmıştır. Metal solüsyonunun biyomastan ayrılması için 50 ml falkonlara erlenler boşaltılıp 8000 rpm' de 30 dakika santrifüj edilmişlerdir. Ayrılan ağır metal kısmı (sıvı kısım) falkonlara konularak ICP-OES cihazında analiz edilmişlerdir. Ayrılan biyomaslar sıvı azotla parçalanarak biyosorpsiyonun yapıldığı fonksiyonel grupları öğrenmek için FT-IR cihazı kullanılmıştır.

### **İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES)**

Ağır metal biyosorpsiyon çalışmasında çözeltideki ağır metal miktarının analizi, Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi' de

ICP-OES (VARIAN 720 ES) cihazı kullanılarak Yrd. Doç. Dr. Semra MALKOÇ tarafından yapılmıştır.

### **Fourier Transform Infrared Spektrometre (FT-IR)**

Biyosorpsiyon çalışmasında, biyomasın sorpsiyonu gerçekleştiren fonksiyonel gruplarının belirlenmesi, Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü' de FT-IR (Perkin Elmer Spektrum 100) cihazı kullanılarak Prof. Dr. Alaettin GÜVEN tarafından yapılmıştır.

### **Verilerin Değerlendirilmesi**

Ağır metal konsantrasyon verilerine göre (ICP analizi sonuçları) yüzde (%) olarak biyosorpsiyon hesaplanmıştır. Formülü;

$$R = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100$$

R = Yüzde (%) biyosorpsiyon

$A_0$  = Metal iyonları başlangıç konsantrasyonu (mg/l)

$A_t$  = Metal iyonlarının kalan konsantrasyonu (mg/l) (Amini et al. 2008)

Langmuir İzoterm Denklemi; aynı enerjiye sahip, biyosorban yüzey üzerinde bulunabilen sabit sayıda alanın biyosorpsiyonla tersinir olduğu varsayımına dayanır. Ağır metal konsantrasyonları göre denklemdeki veriler hesaplanmıştır. Denklemi;

$$C_e / q_e = 1 / Q_b + C_e / Q$$

Q = Biyosorpsiyon kapasitesi (mg/g)

b = Yüzey bağlanma enerjisiyle ilgili sabit (lt/ mg) (Küçükgül ve Kutlu 2006)

Freundlich İzoterm Denklemi; sınırlı bir konsantrasyon aralığında adsorplanmış madde miktarı ile konsantrasyon arasındaki ilişkiyi ifade eden bir adsorpsiyon izotermidir. Denklemi;

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad \log q_e = \log K_f + 1/n \log C_e$$

n = Yüzey bağlanma enerjisiyle ilgili sabit

$K_f$  = Biyosorpsiyon kapasitesi (mg/l)

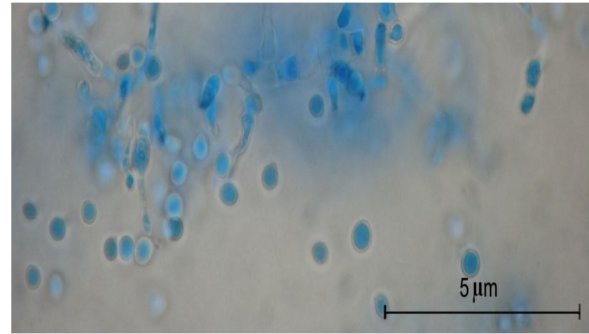
$q_e$  = Birim biyosorban ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$C_e$  = Biyosorpsiyondan sonra çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/l)

(Küçükgül ve Kutlu 2006)

## **2. Bulgular**

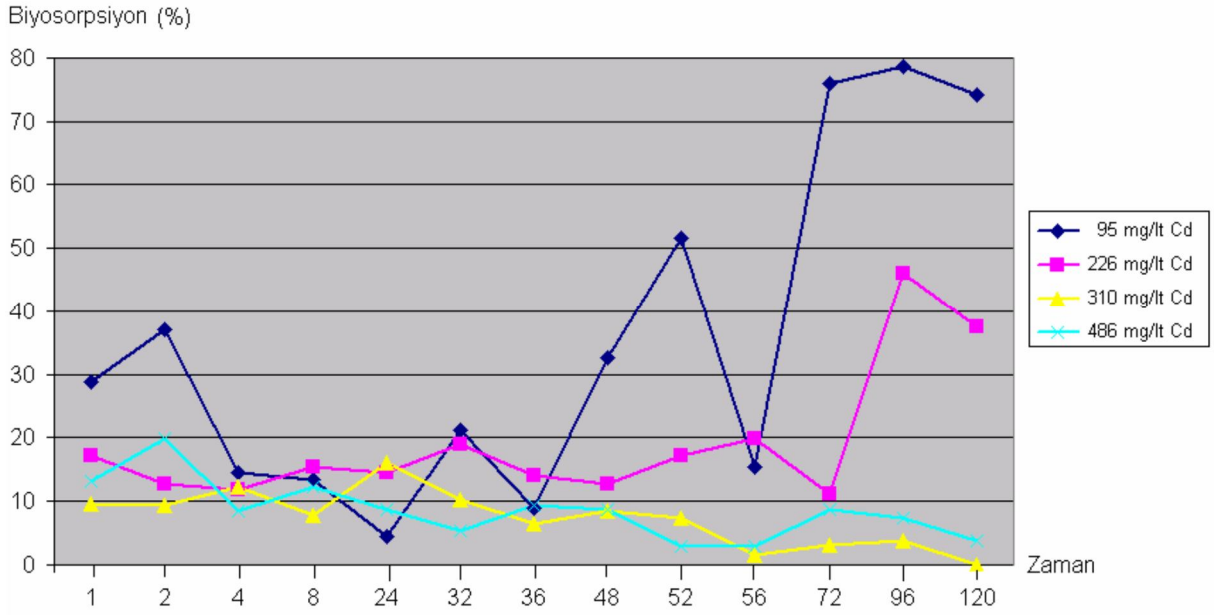
Daha önce İğdır/ Tuzluca izole edilerek geleneksel ve moleküler metotlarla identifikasyonu yapılmış olan izolat *Sagenomella* sp. (M8) Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünden temin edilmiştir (Şekil 1). *Sagenomella* sp. (M8) izolatında en yüksek metal toleransı kadmiyumda 3000 µl ve çinkoda 2600 µl olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle M8 izolatu çinko ve kadmiyumumu biyoremediasyon çalışmalarında kullanılmıştır.



**Şekil 1.** *Sagenomella* sp.' nin mikroskopik görüntüsü (konidia ve konidiyojen yapılar ) (100X)

**Tablo 1.** *Sagenomella* sp.'nin ağır metal toleransı

Ağır metal	Metal toleransı (µl)
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	700
CdCl <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	3000
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	40
CuSO <sub>4</sub>	40
NiCl <sub>2</sub>	40
ZnCl <sub>2</sub>	2600
CoCl <sub>2</sub> .6 H <sub>2</sub> O	30



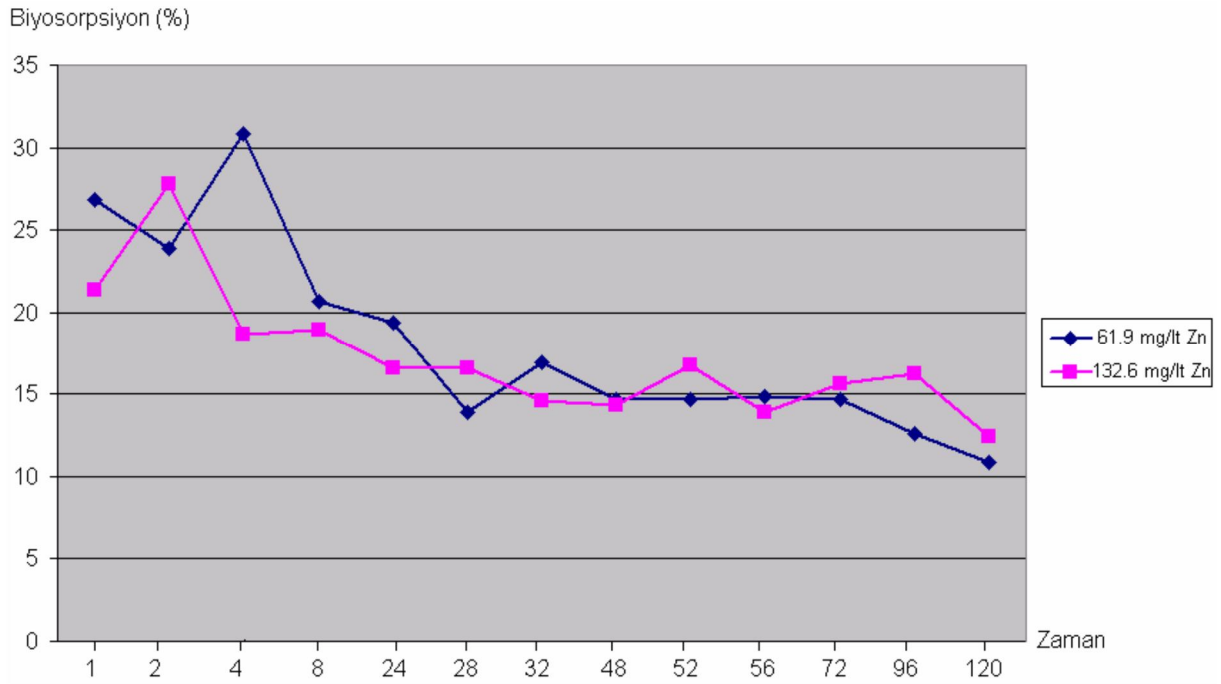
Şekil. 2 *Sagenomella sp.*'nin Cd' un farklı konsantrasyonlarındaki yüzde (%) biyosorpsiyon grafiği

Tablo 2. Kadmiyum konsantrasyonlarının ICP sonuçları ve % biyosorpsiyonları

Zaman (saat)	95 mg/ lt Cd		226 mg/lt Cd		310 mg/ lt Cd		486 mg/lt Cd	
	ICP	%biyosorpsion	ICP	%biyosorpsion	ICP	%biyosorpsion	ICP	%biyosorpsion
1	67,7	28,73	187	17,25	280	9,67	422	13,16
2	59,7	37,15	197	12,83	281	9,35	389	19,95
4	81,2	14,52	199	11,94	272	12,25	445	8,43
8	82,2	13,47	191	15,48	286	7,74	426	12,34
24	90,8	4,42	193	14,60	260	16,12	444	8,64
28	74,9	21,15	183	19,02	278	10,32	460	5,34
32	86,6	8,84	194	14,15	290	6,45	440	9,46
48	64	32,63	197	12,83	284	8,83	444	8,64
52	46	51,57	187	17,25	287	7,41	472	2,88
56	80,7	15,50	181	19,91	305	1,61	472	2,88
72	22,8	76	201	11,06	300	3,22	444	8,64
96	20,3	78,63	122	46,01	298	3,87	450	7,40
120	24,6	74,10	141	37,61	310	0	468	3,70

**Tablo 3.** Çinko konsantrasyonlarının ICP sonuçları ve % biyosorpsiyonları

Zaman (saat)	61.9 mg/ lt Zn		132.6 mg/lt Zn	
	ICP	%biyosorpsion	ICP	%biyosorpsion
1	45,3	26,81	104,25	21,38
2	47,1	23,90	95,70	27,82
4	42,8	30,85	107,85	18,66
8	49,1	20,67	107,55	18,89
24	40,9	19,38	110,55	16,62
28	53,3	13,89	110,70	16,55
32	51,4	16,96	113,25	14,59
48	52,8	14,70	113,55	14,36
52	52,8	14,70	110,40	16,74
56	52,7	14,86	114,15	13,91
72	52,8	14,70	111,90	15,61
96	54,1	12,60	111	16,28
120	55,2	10,82	116,10	12,44



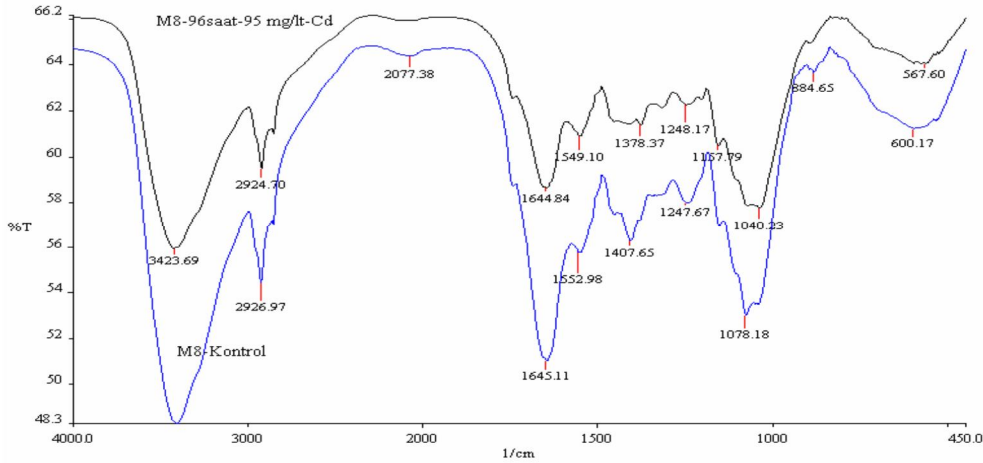
**Şekil 3.** *Sagenomella sp.*'nin Zn'nun farklı konsantrasyonlarındaki yüzde (%) biyosorpsiyon grafiği

**Tablo 4.** Kadmiyumun Freundlich ve Langmuir biyosorpsiyon izoterm sabitleri

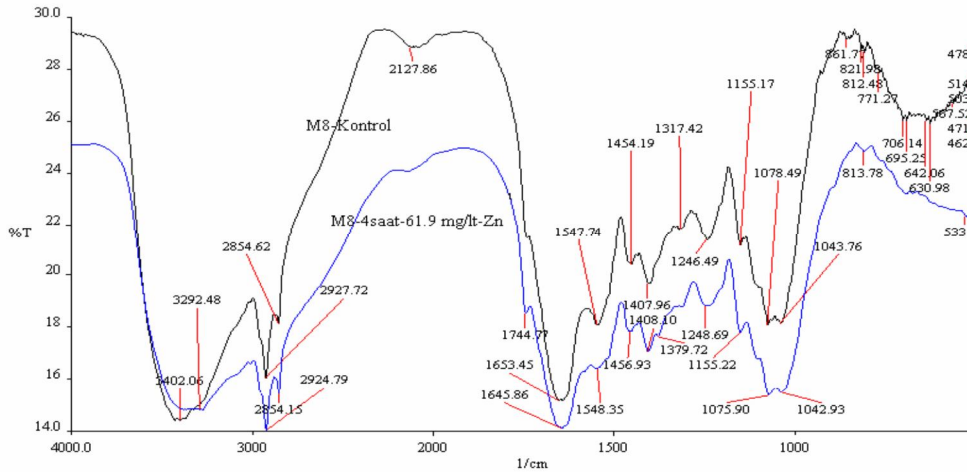
Ağır metal	Freundlich İzotermi			Langmuir İzotermi		
	n	K <sub>f</sub>	R <sup>2</sup>	Q	b	R <sup>2</sup>
95 mg/lt	-0,8634	1,175.357	0,854	8,6602	-0,0619	0,680
226 mg/lt	-0,3589	30,647,849.05	0,941	2,0644	-6,18x10 <sup>-3</sup>	0,959
310 mg/lt	-0,0907	2,57 x10 <sup>28</sup>	0,910	1,5288	-4,12x10 <sup>-3</sup>	0,914
486 mg/lt	-0,0717	1,15 x10 <sup>38</sup>	0,939	2,4965	-2,67x10 <sup>-3</sup>	0,745

**Tablo 5.** Çinkonun Freundlich ve Langmuir biyosorpsiyon izoterm sabitleri Freundlich İzotermi

Ağır metal	Freundlich İzotermi			Langmuir İzotermi		
	n	K <sub>f</sub>	R <sup>2</sup>	Q	b	R <sup>2</sup>
61,9 mg/lt	-0,2484	30,935,703.74	0,966	0,9234	-0,0255	0,865
132,6 mg/lt	-0,2432	2,169,751	0,970	1,9417	-0,0117	0,744



**Şekil 4.** *Sagenomella sp.*' nin Cd biyosorpsiyonu FT-IR spektrometresi



**Şekil 5.** *Sagenomella sp.*' nin Zn biyosorpsiyonu FT-IR spektrometresi

## Tartışma ve Sonuç

Akuatik çevrelerde ağır metallerin uzaklaştırılmasında biyosorpsiyon kullanımı son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir. Funguslar kobalt, nikel, altın vb. gibi metallerin ve ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan potansiyel organizmaların başında yer alır. Fungusların ağır metal biyoakümüülasyonu fiziksel (pH, tuz konsantrasyonu vb.) şartlara bağlı olarak değişir. Bazı funguslar metale karşı direnç gösterebilirler (Moore et al. 2007). Biyoremediasyon çalışmalarında ağır metal direnci gösteren funguslar *Neurospora*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus* ve *Pleurotus* bu amaç için kullanılmaktadır (Sağlam ve Cihangir 1995).

Zafar ve arkadaşlarının yaptıkları metal toleransı ve biosorpsiyon çalışmasında (2007); metalle kontamine olmuş tarım toprağından izole ettikleri *Aspergillus*, *Penicillium*, *Geotrichum*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Monilia* ve *Trichoderma* genuslarına ait funguslara Cd, Ni, Cr, Cu ve Co metalleri kullanılarak minimum inhibe konsantrasyon testi uygulanmıştır. Bu testte yüksek direnç gösteren *Rhizopus sp.*, *Aspergillus spp.* Türleri CdCl<sub>2</sub> ve K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> metallerinin 2, 4, 6, 8 mM' lık sulu çözeltileri ilk pH'ı 5 olacak şekilde 25°C' de 4 saat çalkalamalı etüvde muamele edilmiştir. Ağır metal konsantrasyonları atomik absorpsiyon spektrofotometre cihazı ile analiz edilerek SPSS istatistik testi uygulanarak karşılaştırma yapılmıştır. Cd ve Cr' un biyosorpsiyon için *Rhizopus sp.* ve *Aspergillus spp.* türlerinin kullanılabilceğini göstermişlerdir.

Çalışmamızda da; *Sagenomella sp.* (M8) izolatında kadmiyumun 3000 µl ve çinkonun 2600 µl olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle M1 izolatu kurşunun, M8 izolatu çinko ve kadmiyumun biyoremediasyon çalışmalarında kullanılmıştır.

Alkali ile muamele edilmiş *A. niger'* in Cd<sup>+2</sup>, Cu<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup>, Ni<sup>+2</sup> ve Co<sup>+2</sup> metallerinin ayrı ayrı uygulanarak yapılan biosorpsiyon çalışmasında; biyomas ağırlığının metal bağlamada %10 kadar etkili

olduğunu ve metal bağlama kapasitesi açısından *Neurospora*, *Fusarium* ve *Penicillium* türleri ile karşılaştırılması ortaya koyulmuştur (Akthar et al. 1996). Tunalı ve Akar (2006)'ın yaptıkları biyosorpsiyon çalışmasında ölü *Botrytis cinerea* biyoması ile Zn (II) ağır metalini kullanmışlardır. Zn (II)' nun pH 5-6' da başlangıçta 100 mg/ lt bulunan iyon konsantrasyonunda %98' lik bir iyileşme gerçekleştiğini saptamışlardır. FT-IR spektrometresini kullanarak yaptıkları analizde hücre-metal etkileşimlerinin azot (N) içeren biyoligandlarda olduğunu belirlemişlerdir. Bizde çalışmamızda; *Sagenomella sp.* (M8) ile çinko (pH 6) biyosorpsiyon çalışmasında, 62 mg/lt ve 133 mg/lt' lik Zn kullanılmıştır. 62 mg/lt' de en fazla sorpsiyonun 4. saatte (%30,85), 133 mg/lt' de ise 2. saatte (%27,82) olduğu gözlemlenmiştir. Diğer biyosorpsiyon çalışmalarına göre en az sorpsiyonun Zn' de ve ilk saatlerde gerçekleştiği saptanmıştır.

Rostami ve Joodaki (2002) yaptığı *Aspergillus niger* ve *Penicillium austurianum* funguslarıyla kadmiyum ağır metalini kullandıkları adsorpsiyon çalışmasında pH 4 ve 5' te 22° C' de aktif fungusların ağır metal giderimi için uygun olduğunu ileri sürmüşlerdir. Çalışmamızda; 95 mg/lt Cd (pH 5) ortamında maruz bırakılan *Sagenomella sp.* (M8)' nın 52. saatte %51,57 oranında sorpsiyon gerçekleştirdiği saptanmıştır. 96. Saatte maksimum biyosorpsiyonun %78,63 olduğu gözlemlenmiştir. 95 mg/lt Cd' la yapılan çalışmada sorpsiyon %80' den az olduğu belirlenmiştir. *Sagenomella sp.* (M8)' nın 226 mg/ml Cd' la yapılan çalışmada maksimum biyosorpsiyonun 96. saatte olduğu ve %46,01 oranında gerçekleştiği saptanmıştır. 310 mg/lt Cd ortamında maruz bırakılan *Sagenomella sp.* (M8)' nın 24. (%16,12) saatte yaptığı sorpsiyonun en fazla olduğu belirlenmiştir. *Sagenomella sp.* (M8)' nın 486 mg/ml Cd ile en fazla sorpsiyonun 2. saatte %19,95 olduğu saptanmıştır. Kadmiyum ile yapılan ağır metal biyosorpsiyon çalışmasında metal miktarı arttıkça sorpsiyonun azaldığı gözlenmiş olup bu oranın %20' nin altına düştüğü saptanmıştır. Sanyal ve arkadaşlarının (2005) yaptıkları çalışmada; patojenik bir fungus olan *Fusarium oxysporium'* u kurşun ve kadmiyum ağır

metalleriyle muamele ettikten sonra FT-IR ölçümlerine göre ağır metal kristallerinin spesifik proteinlerle etkileşime girdiğini, bununda amin (I ve II bantları) grubunda gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Bu spesifik proteinler ekstraselüler proteinler olup biyoremediasyon çalışmasında bu organizmanın kullanılabilceğini ileri sürmüşlerdir.

Bayramoğlu ve arkadaşları (2006) *Lentinus sajörcaju* fungusuyla yaptıkları uranyum (VI) akümüasyonu çalışmasında FT-IR spektrometresi ile uranyumu hücre duvarındaki kitin ve kitosanın akümülediği fonksiyon grupları olduğu belirlenmiştir. Liu ve arkadaşlarının (2007) bir fungus türü olan *Mucor racemosus* ile Cr (VI) ağır metal giderimini çalışmışlardır. FT-IR spektrometresi ile dönüşümsüz ağır metal bağlayıcı grupların amido grubu olduğunu ileri sürmüşlerdir. Rostami ve Joodaki (2002) *Aspergillus niger* ve *Penicillium austrianum* fungusları ile kadmiyum adsorpsiyonu çalışmalarında; Langmuir ve Freundlich izoterminin korelasyon katsayıları karşılaştırıldığında, Langmuir izoterminin ( $R^2$ : 0,99) uygunluğunun daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Tunalı ve Akar' ın *Botrytis cinera* biyoması ile çinko biyosorpsiyonu çalışmalarında (2006); Langmuir ve Freundlich izotermlerini kullanmışlardır. Langmuir izoterminin korelasyon katsayısı ( $R^2$ : 0,948) daha yüksek olduğundan, bu izotermin çalışmalarında daha uygun olduğunu gözlemişlerdir. İleri (2006)' nin bakır iyonlarının sıvı ortamdan biyosorpsiyonla giderimi çalışmasında; BET, Langmuir ve Freundlich izotermlerinin determinasyon sayılarını karşılaştırdığında, Freundlich izoterm ( $R^2$ : 0,970) modelinin kullanılmasının daha uygun olduğunu görmüşlerdir. Çalışmamızda; ağır metal biyosorpsiyonda FT-IR spektrometresi sonuçlarına göre, fungusların hücre yüzeyinde ağır metal tutma bölgelerinin büyük olasılıkla amid (1595- 1700  $cm^{-1}$ ) grupları olduğu saptanmıştır. Alınan piklere göre fonksiyonel amid gruplarının; N-imonosubstituted amide (1650-1700  $cm^{-1}$ ), N,N-disubstituted amide (1640-1680  $cm^{-1}$ ), N-unsubstituted amide (1650-1700  $cm^{-1}$ ), N-alkyl

aromatic amide (1595-1670  $cm^{-1}$ ) ve N-unsubstituted aromatic amide (1595-1670  $cm^{-1}$ ) olabileceği düşünülmektedir.

Ekstrem koşullarda yaşayan mikroorganizmaların remediasyon çalışmalarında kullanılmaları son yıllarda dikkat çeken konuların başında gelmektedir. Özellikle kirleticiler ile kontamine olmuş ortamlarda, remediasyon çalışmalarında kullanılan birçok organizmanın bu koşullarda yaşama şansı bulamamakta ve biyoremediasyon çalışmaları başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. bu nedenle kirleticilerin bulunduğu ve ekstrem koşulların olduğu ortamlarda dayanıklı organizmaların kullanımı daha etkin olacaktır. Bildiğimiz kadarıyla, bu çalışma *Sagenomella sp.* ile yapılan ilk ağır metal giderimi çalışmasıdır. Bu türün ağır metal gideriminde kadmiyum (%78,63) ve çinko (%55,2) metallerini biyosorbe ettiği göz önüne alındığında remediasyon çalışmalarında kullanılabilceği görülmektedir.

Ağır metal biyosorpsiyon çalışmasına ait Freundlich ve Langmuir biyosorpsiyon izotermleri çizilmiştir. İzotermlerin korelasyon katsayılarının karşılaştırılmasıyla Freundlich izoterminin bu çalışma için daha uygun olduğu gözlemlenmiştir. FT-IR spektrometre analizi ile biyosorpsiyon çalışmasında kullanılan biyomasların ağır metali büyük olasılıkla hücre yüzeyinde bulunan fonksiyonel amid grupları tarafından gerçekleştiği düşünülmektedir. Sonuç olarak, endüstrileşmeye paralel kirliliğin gittikçe arttığı dünyamızda bu çalışmada tuzcul ortamlardan izole ettiğimiz funguslar ağır metal giderimi çalışmalarında kullanılabilir. Farklı fiziksel ve besinsel koşullardan izole edilen bu funguslar diğer biyoremediasyon çalışmalarında da denenebilir. Ancak, optimum deneysel şartların belirlenmesi ve iyileştirme mekanizmalarının açığa çıkarılması da faydalı olacaktır.



## Kaynaklar

- Amini M., Younesi H., Bahramifar N., Lorestani A.A.Z., Ghorbani F., Daneshi A., Sharifzadeh M., 2008, "Application of Response Surface Methodology for Optimization of Lead Biosorption in An Aqueous Solution by *Aspergillus niger*. *Journal of Hazardous Materials*. **154**, 694-702.
- Akthar M., Sastry K., Mohan P. 1996. Mechanism of Metal Ion Biosorption By Fungal Biomass. *Biometals*. **9**, 21-28.
- Bayramoğlu, G., Çelik, G., and Arica, M.Y. 2006. Studies on Accumulation of Uranium by Fungus *Lentinus sajor-caj*. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. **136**, 345-353.
- Horikoshi, K. and Grant, W.D. 1998. *Extremophiles*, 93-133.
- İleri R. 2006. Bakır İyonlarının (Cu<sup>2+</sup>) Sıvı Ortamdan Biyosorpsiyonla Gideriminin İzoterm Sabitlerinin Matlab Programı ile Belirlenmesi. *Ekoloji Dergisi*. **15**, 8- 17.
- Küçükgül, E.Y. ve Kutlu, S. 2006. Çinko ve Bakırın Sulu Çözeltide Aktif Karbonla Tekli Adsorpsiyonu. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*. **2**, 21-30.
- Liu, T., Li, H., Li, Z., Xiao, X., Chen, L., Deng, L. 2007. Removal of Hexavalent Chromium by Fungal Biomass of *Mucor racemosus*: Influencing Factors and Removal Mechanism. *World J Microbiol Biotechnol*. **23**, 1685-1693.
- Margejin, R. and Schinner, F. 2001. Potential of Halotolerant and Halophilic Microorganisms for Biotechnology, *Extremophiles*, **5**, 73-80.
- Moore B.A., Duncan J.R., Burgess J.E. 2007. Fungal Bioaccumulation of Copper, Nickel, Gold and Platinum. *Minerals Engineering*. 1-6.
- Rostami K.H. and Joodaki M.R. 2002. Some Studies of Cadmium Adsorption Using *Aspergillus niger*, *Penicillium austrianum*, Employing An Airlift Fermenter. *Chemical Engineering Journal*. **89**, 239-252.
- Sanyal, A., Rautaray, D., Bansal, V., Ahmad, A. and Sastry, M. 2005. Heavy-Metal Remediation by a Fungus as a Means of Production of Lead and Cadmium Carbonate Crystals *Langmuir*. **21**, 7220-7224.
- Sağlam N. and Cihangir N. 1995. Sağlam, N. and Cihangir, N., 1995. Ağır Metallerin Biyolojik Süreçlerle Biyosorpsiyonu Çalışmaları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*. **11**, 157-161.
- Tunali S. and Akar T. 2006. Zn(II) Biosorption Properties of *Botrytis cinerea* Biomass. *Journal Of Hazardous Materials*. **131**, 137-145.
- USEPA. 1990. Guides to Pollution Prevention, The Fabricated Metal Products Industry, Epa/625/7-90/006.
- Zafar S., Aqil F., Ahmad L. 2007. Metal Tolerance and Biosorption Potential of Filamentous Fungi Isolated from Metal Contaminated Agricultural Soil. *Bioresource Technology*. **98**, 2557-2561.