Archive of SID

بررسی انواع جاذب‌های زیستی در جداسازی فلزات سنگین و مقایسه آنها

مهرنوش محمدی*[۱]، مهدی اسداله‌زاده[۲]، علیرضا همتی[۲]، سحر محمدزاده[۳]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ۲- دانشگاه علم و صنعت ایران، ۳- دانشکده داروسازی علوم پزشکی پردیس تهران
*m_mohammadi@azad.ac.ir

چکیده

جاذب‌های زیستی، برخلاف رزین‌ها که فقط با تبادل یون سر و کار دارند، در محیط‌های متفاوتی عمل می‌کند، از جمله در حضور بنیان‌های کربوکسیل، ایمیدازول، سولفیدریل، آمین، سولفات، فسفات، تیواتر، فنول، کربونیل، آمید و هیدروکسیل.
در این مقاله، براساس مطالب موجود در کتب علمی و نیز نتایج تحقیقات انجام شده، در مورد جاذب‌های زیستی استفاده شده در جداسازی فلزات سنگین بررسی به عمل آمده است جاذب‌های زیستی جایگزین ارزان‌تر و موثرتری برای جدا کردن فلزات و عناصر فلزی هستند، بخصوص در جداسازی فلزات سنگین از محلول‌های آبی.در این بررسی با توجه به ساختار سلولی جاذب‌های زیستی و انواع آنها به بررسی میزان جذب زیستی در جاذب‌های زیستی پرداخته شده است. از میان جاذب‌های زیستی سه گونه پرکاربرد آن، یعنی باکتری‌ها، قارچها و جلبک‌ها معرفی شده‌اند. به علت کاربرد زیاد قارچها در صنایع مختلف این گونه به صورت دقیق‌تر مورد مطالعه قرار گرفته‌شده است. در پایان معرفی هر گونه از جاذب‌های زیستی ، مقایسه‌ای از میزان جذب یون‌های فلزی انجام شده است و در انتها مقایسه‌ای بین روش‌های متداول جذب یون‌های فلزی با روش‌های زیستی ارائه شده است.
.

واژه‌های کلیدی: جاذب زیستی (بیوسوربنت)، جذب زیستی، یون‌های فلزات سنگین، باکتری، قارچ، جلبک، توده زیستی (بیومس).

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

جذب زیستی را می‌توان به عنوان جدا کردن و زدودن فلز و ترکیبات فلزی از یک محلول به کمک ماده‌ی بیولوژیک دانست (گد، ۱۹۹۳)[۱]. امروزه یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی، آلودگی با فلزات سنگین است. صنایع مختلفی، زباله‌های حاوی فلزات سنگین متنوع را تولید کرده و در محیط زیست رها می‌کنند (مثل حفر معدن و جداسازی سنگ از فلز، تولید انرژی و سوخت، صنعت ساخت کود و آفت کش‌ها، ریخته گری، کارخانه فولاد، آبکاری، الکترولیز، چرم‌کاری، عکاسی، تولید وسایل و لوازم برقی، هوافضا، انرژی اتمی و ...).به علاوه، فلزات به عنوان منابع روی زمین، دچار کمبود شده‌اند و نیز آلودگی‌های جدی به محیط زیست اضافه می‌کنند که سلامت انسان و محیط را به خطر می‌اندازد. ۳ نوع فلز برای مورد توجه هستند که شامل فلزات سمی (مثل جیوه، کروم، سرب، روی، مس، نیکل، کادمیوم، آرسنیک، کبالت، قلع و ...)، فلزات گرانبها (مثل پالادیوم، پلاتین، نقره، طلا، روتنیوم و ...) و فلزات پرتوزا (مثل اورانیوم، توریم، رادیوم، امرسیوم و ...) هستند. (وانگ و چن، ۲۰۰۶)[۲]

روش‌های متعارف و معمول نیز برای جداسازی یون‌های فلزی وجود دارد که شامل جداسازی شیمیایی، فیلتراسیون، تبادل یونی، رفتار الکتروشیمیایی، تکنولوژی مرتبط با غشا، جذب روی کربن فعال شده و تبخیر و ... می‌باشد.

در سال‌های اخیر، بکارگیری تکنولوژی‌های زیست شناختی در جداسازی فلزات، دارای اهمیت ویژه‌ای گشته است و به تدریج به یک موضوع مهم در زمینه‌ی کنترل آلودگی‌های ناشی از فلز، تبدیل شده است (به خاطر کاربردهای احتمالی این تکنولوژی).این جذب کننده‌ها از ویژگی دافعه‌ی فلزی برخوردارند و از آنها برای کاهش غلظت یون فلزات سنگین در محلول از PPM به ppb (یک جز در یک میلیارد جز) استفاده می‌شود.قابلیت جمع کردن عناصر فلزی توسط برخی ذرات ریز زنده، برای اولین بار در مطالعات سم شناسی دیده شده است (ولسکی، ۱۹۹۰)[۳]. اگر چه تحقیقات بعد از آن، نشان داده است که سوخت‌های گیاهی و جانوری (بویمس) غیرفعال نیز به آرامی، یون‌های فلزات را جمع کرده و به هم پیوند می‌دهند (توسط مکانیزم‌های شیمی- فیزیک).

مواد متعددی جزء جذب کننده‌ها محسوب می‌شوند که برای جدا کردن فلزات و مواد آلی در ابعاد گسترده بکار می‌روند. به صورت کلی، این مواد به انواع زیر دسته بندی می‌شوند: باکتری (مثل باسیل)، قارچ (مثل Rhizopus arrhizus)، مخمر (مثل Saccharomyces cerevisiae)، جلبک، زباله‌ها پسماندهای صنعتی (مثل سوخت‌های گیاهی مصرف شده در تخمیر و تولید غذا و صنایع غذایی)، زباله‌های کشاورزی (هسته ذرت) و سایر مواد پلی ساکاریدی (چندقندی). نقش بعضی از میکروارگانیسم‌ها به خوبی بررسی شده است، مثل باکتری، قارچ، مخمر و جلبک و ...

مواد جذب کننده‌ی در دسترس، به ۳ گروه تقسیم می‌شوند: جلبک، قارچ و باکتری که جلبک و قارچ، انتخاب‌های وسیع‌تری را پیش روی ما می‌گذارند.نخستین چالش بزرگ پیش رو در زمینه‌ی جذب زیستی، انتخاب بهترین نوع بیومس از بین انواع گوناگون مواد طبیعی در دسترس و ارزان است. اگر چه بسیاری از مواد زیست محیطی می‌توانند فلزات را جمع کنند، اما آنهایی مناسب‌اند که ظرفیت بالایی برای تجمع فلزات داشته باشند و نیز فلزات سنگین را برای تجمع، ترجیح دهند.تعداد کثیری از مواد بیومس در شرایط مختلف برای سنجش قابلیت تجمع فلزاتشان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ولسکی و هولان (۱۹۹۵)[۴]، لیست جامعی از میکروب‌ها و قابلیت جمع آوری فلز برای هرگونه را ارائه کرده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- ساختار سلولی: سلول‌های یوکاریوتی و پزوکاریوتی

در اینجا بخش به طور ساده و مختصر، ساختار بنیادی لازم برای دانستن مکانیزم‌های جذب زیستی معرفی می‌گردد. سلول‌های میکروبی، دو نوع سلول اصلی دارند: سلول‌های پروکاریوتی و یوکاریوتی. سلول‌های پروکاریوتی ساختار ساده‌تر و کوچک‌تری نسبت به یوکاریوتی‌ها دارند و نیز هسته‌ی دارای غشا و مرزبندی ندارند. در حالت کلی، پروکاریوتی‌ها به جای غشای پیچیده درونی، یک غشای پلاسمایی دارند. در عوض، سلول‌های یوکاریوتی، دارای هسته‌ی متمرکز همراه با غشا هستند و نیز اندامک‌های گوناگونی در خود دارند.این سلول‌ها از لحاظ ساختاری از پروکاریوتی‌ها پیچیده‌تر و بزرگ‌ترند. جلبک، قارچ، Protozoa، گیاهان و جانوران دارای سلول‌های یوکاریوتی‌اند.

۳- جاذب‌های زیستی

۳-۱-جاذب‌های باکتریایی

باکتری‌ها فراوان‌ترین و کاربردی‌ترین میکروارگانیسم‌ها هستند که مقدار زیادی از بیومس‌های موجود روی زمین را شامل می‌شوند (حدود $۱۰^{۱۸}$ گرم). در اوایل دهه ۸۰ میلادی، برخی میکروارگانیسم‌ها کشف شدند که می‌توانستند عناصر فلزی را با ظرفیت بالایی جذب و جمع آوری کنند. باکتری به عنوان جاذب زیستی استفاده می‌شود، چون اندازه کوچکی دارد، همه جا موجود است، می‌توان آن را در شرایط خاصی پرورش داد و نیز در شرایط گوناگون زیست محیطی می تواند خود را وفق دهد. گونه های باکتری مثل باسیل (Bacillus)، Pseudomonas (شبه مون‌ها)، استرپتومیس‌ها؛ اسکریچی، میکروکوکوس و ...، جهت سنجش میزان جذب مواد آلی و فلزات، تست شده‌اند.

در جدول ۱، نتایج مهمی از جذب فلز توسط بیومس‌های باکتریایی نشان داده شده است (با توجه به منابعی چون "گویال" و "آلووالیا" (۲۰۰۷)[۵] و "یون" و "ویجی ارغوان" (۲۰۰۸)[۶]).

جدول ۱-جاذب باکتریایی برای حذف یون‌های فلزات($mg.g^{-1}$)

Metal ions	Bacteria species	Biosorption capacity	References	Metal ions	Bacteria species	Biosorption capacity	References
Pb	Bacillus sp.	467	Tunali et al. (2006)	Cu	Bacillus sp.	16.3	Tunali et al. (2006)
Pb	Bacillus firmus	567.7	Salehizadeh and Shojaosadati (2003)	Cu	Bacillus subtilis	20.8	Nakajima et al. (2001)
Pb	Corynebacteriu	50.9	Choi and Yun (2004)	Cu	Enterobacter sp.	32.5	Lu et al. (2006)
Pb	Enterobacter	79.5	Lu et al. (2006)	Cu	Micrococcus luteus	33.5	Nakajima et al. (2001)
Pb	Pseudomonas	0.7	Chang et al. (1997)	Cu	Pseudomonas aeruginosa	23.1	Chang et al. (1997)
Pb	Pseudomonas	270.4	Lin and Lai(2006)	Cu	Pseudomonas cepacia	65.3	Savvaidis et al. (2003)
Pb	Pseudomonas	56.2	Uslu and Tanyol (2006)	Cu	Pseudomonas putida	6.6	Pardo et al.(2003)
Pb	Pseudomonas	135.0	Pardo et al.(2003)	Cu	Pseudomonas putida	96.9	Uslu and Tanyol [(2006)
Pb	Streptomyces	30	Selatnia et al.(2004c)	Cu	Pseudomonas putida	15.8	Chen et al.(2005)
Zn	Streptomyces	418	Salehizadeh and Shojaosadati (2003)	Cu	Pseudomonas stutzeri	22.9	Nakajima et al. (2001)
Zn	Bacillus firmus	133.0	Incharoensakdi	Cu	Sphaerotilus natans	60	Beolchini et al.

www.SID.ir

Archive of SID

			and Kitjaharn(2002)				(2006)
Zn	Aphanothece	6.9	Pardo et al. (2003)	Cu	Sphaerotilus natans	5.4	Beolchini et al. (2006)
Zn	Pseudomonas	17.7	Chen et al.(2005)	Cu	Streptomyces coelicolor	66.7	Ozturk et al. (2004)
Zn	Pseudomonas	30.0	Mameri et al(1999)	Cd	Thiobacillus ferrooxidans	39.8	Liu et al.(2004)
Zn	Streptomyces	80.0	Mameri et al.(1999)	Cd	Ochrobactrum anthropi	–	Ozdemir et al. (2003)
Zn	Streptomyces	21.3	Puranik and Paknikar (1997)	Cd	Sphingomonas paucimobilis	–	Tangaromsuk et al. (2002)
Zn	Streptov	82.6	Celaya et al (2000)	Cd	Aeromonas caviae	155.3	Loukidou et al. (2004)
Zn	Thiobacillus	172.4	Liu et al. (2004)	Cd	Enterobacter sp.	46.2	Lu et al. (2006)
Cu	Thiobacillus	381	Salehizadeh and Shojaosadati (2003)	Cd	Pseudomonas aeruginosa	42.4	Chang et al.(1997)
Cd	Staphylococcus xylosus	250.0	Ziagova et al. (2007)	U	Arthrobacter nicotianae	45.9	Nakajima and Tsuruta(2004)
Cd	Streptomyces pimprina	30.4	Puranik et al. (1995)	U	Arthrobacter nicotianae	37.8	Nakajima and Tsuruta(2004)
Cd	Streptomyces rimosus	64.9	Selatnia et al. (2004a)	U	Bacillus licheniformis	52.4	Nakajima and Tsuruta(2004)
Fe(III)	Streptomyces rimosus	122.0	Selatnia et al. (2004b)	U	Bacillus megaterium	21.4	Nakajima and Tsuruta(2004)
Cr(IV)	Bacillus coagulans	39.9	Srinath et al. (2002)	U	Bacillus subtilis	5.9	Nakajima and Tsuruta(2004)
Cr(IV)	Bacillus megaterium	30.7	Srinath et al. (2002)	U	Corynebacterium equi	45.9	Nakajima and Tsuruta(2004)
Cr(IV)	Zoogloea ramigera	2	Nourbakhsh et al. (1994)	U	Corynebacterium glutamicum	38.8	Nakajima and Tsuruta(2004)
Cr(IV)	Aeromonas caviae	284.4	Loukidou et al. (2004)	U	Nocardia erythropolis	51.2	Nakajima and Tsuruta(2004)
Cr(IV)	Bacillus coagulans	39.9	Srinath et al. (2002)	U	Zoogloea ramigera	49.7	Nakajima and Tsuruta (2004)
Cr(IV)	Bacillus licheniformis	69.4	Zhou et al. (2007)	Th	Arthrobacter nicotianae	75.9	Nakajima and Tsuruta(2004)
Cr(IV)	Bacillus megaterium	30.7	Srinath et al. (2002)	Th	Bacillus licheniformis	66.1	Nakajima and Tsuruta (2004)
Cr(IV)	Bacillus thuringiensis	83.3	Sahin and Ozturk (2005)	Th	Bacillus megaterium	74.0	Nakajima and Tsuruta(2004)
Cr(IV)	Pseudomonas sp.	95.0	Ziagova et al. (2007)	Th	Bacillus subtilis	71.9	Nakajima and Tsuruta (2004)
Cr(IV)	lococcus osus	143.0	Ziagova et al. (2007)	Th	Corynebacterium equi	46.9	Nakajima and Tsuruta (2004)
Fe	Bacillus sp.	-	Volesky and Holan (1995)	Th	Corynebacterium glutamicum	36.2	Nakajima and Tsuruta (2004)
Ni	Bacillus thuringiensi Streptomyces rimosus	45.9 32.6	Ozturk (2007) Selatnia et al. (2004d)	Th	Micrococcus luteus	77.0	Nakajima and Tsuruta (2004)
Pd	Desulfovibrio desulfuricans Desulfovibrio fructosivorans	128.2 119.8	de Vargas et al. (2004) de Vargas et al. (2004)	Th	Zoogloea ramigera	67.8	Nakajima and Tsuruta (2004)
Pt	Desulfovibrio desulfuricans	62.5	de Vargas et al. (2004)				

جدول ۱ همچنین نشان‌دهنده اطلاعات پایه‌ای برای ارزیابی امکان استفاده از بیومس‌های باکتریایی جهت جداسازی فلزات (یون‌های فلزی) است. باکتری می‌تواند ظرفیت جذب بسیاری از عناصر را داشته باشد (بسته به گونه‌ی باکتری،این ظرفیت نیز فرق می‌کند). به نظر می‌رسد که در آینده، با استفاده از تکنولوژی DNA های جدید و جهش یافته، میکروارگانیسم‌های فقط برای عنصری خاص و یا گروهی از عناصر مورد نظر استفاده گردند.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲- جاذب‌های قارچی

اگرچه قارچها، دسته بزرگ و گوناگونی از میکروارگانیس‌های یوکاریوتی هستند، اما ۳ گروه از قارچها در مطالعات تجربی مهم‌اند: کپک‌ها، مخمرها و قارچهای خوراکی (Mushroom).هم سلول‌های زنده و هم سلول‌های مرده‌ی قارچها می‌توانند در جذب فلزات سمی و گران بها به ما کمک کنند.در مبحث جذب زیستی، کپک‌ها و مخمرها بسیار حائز اهمیت‌اند. کپک‌ها، قارچهای رشته‌ای اند. قارچ و مخمر را به راحتی می‌توان پرورش داد و تغییرات ساختاری و ژنتیکی در آنها اعمال کرد و بدین ترتیب بیومس‌هایی با بازده بالا تولید نمود.ارگانیسم‌های قارچی در فرایندهای عظیم تجاری گوناگونی شرکت دارند. برای مثال، گونه‌هایی از Asperigillus در تولید آلیاژ آهن- کروم، کوژیک اسید، گالیک اسید، ایتاکونیک اسید، اسید سیتریک و آنزیم‌هایی مثل آمیلاز، گلووز ایزومراز، پیکتناز، لیپاز و گلوکوناز کاربرد دارند.

در این بخش، جداسازی فلزات سنگین و پرتوزا از محلول‌های آبی به کمک قارچهای رشته‌ای (پنی سیلیوم، آسپرژیلوس، موکور، ریزوپوس) و مخمرها (ساکارومیس) بررسی می‌شود.

۳-۱-۱- مخمر

مخمر به عنوان یک بیومس، با موفقیت توانسته نقره، طلا، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، اورانیوم، توریوم و روی را از محلول‌های آبی جدا کند. گونه‌های «ساکارومیس»، «کاندیدا» و «پیچ» در جذب یون‌های فلزات سنگین موثرند. S.cerevisia به عنوان جذب کننده از اهمیت به سزایی برخوردار است.

اهمیت و فواید این مخمر، انواع گوناگون آن در تحقیقات، ظرفیت جذب آن و جذب رقابتی و انتخابی آن به صورت جزئی توسط «وانگ و چن» (۲۰۰۶)[۲] بیان شده است. جدول ۲، ظرفیت‌های جذب کنندگی مخمرها را برای یون‌های فلزی گوناگون نشان می‌دهد:

جدول ۲- ظرفیت جذب‌کنندگی مخمرها برای یون‌های فلزی ($mg.g^{-1}$)

Metal ions	Source or form of biosorbents	Biosorption capacity	References
Pb	Free cells	79.2	Al-Sarajet al. (1999)
Pb	Immobilized cells in a sol–gel matrix	41.9	Al-Sarajet al. (1999)
Pb	Whiskey distillery spent wash, lyophilized	189	Bustard and McHale (1998)
Pb	Lab cultivated, then dried at 100 °C	270.3	Ozer and Ozer (2003)
Pb	Ethanol treated waste baker's yeast	17.5	Goksungur et al. (2005)
Cu	Adapted and growing cells	2.04–9.05	Donmez and Aksu, (1999)
Cu	Waste yeast from fermentation industry and then autoclaved at 120 °C	4.93	Bakkaloglu et al. (1998)
Cu	Free cells	6.4	Al-Sarajet al. (1999)
Cu	Whiskey distillery spent wash lyophilized	5.7	Bustard and McHale (1998)
Cu	immobilized cells on sepiolite	4.7	Bag et al. (1999a)
Cu	Waste yeast from brewery, formaldehyde cross-linked cells in column bioreactors	8.1	Zhao and Duncan (1997)
Zn	Waste yeast from fermentation industry and then autoclaved at 120 °C	3.45–1.95	Bakkaloglu et al. (1998)
Zn	Free cells	23.4	Al-Sarajet al. (1999)
Zn	Immobilized cells in a sol–gel matrix	35.3	Al-Sarajet al. (1999)
Zn	Whiskey distillery spent wash, lyophilized	16.9	Bustard and McHale (1998)
Zn	Immobilized cells on sepiolite	8.37	Bag et al. (1999a)
Zn	Formaldehyde cross-linked cells in column bioreactors	7.1	Zhao and Duncan (1997)
Cd	Deactivated protonated yeast from yeast co.	9.91–86.3	Vasudevan et al. (2003)
Cd	Free cell suspended in solution Lab culture	35.5–58.4	Park et al. (2003)

www.SID.ir

Archive of SID

Cd	Free cell suspended in solution Lab culture	14.3–20.0	Park et al. (2003)
Cd	Immobilized cells on sepiolite	10.9	Bag et al. (1999a)
Cd	Waste yeast from brewery, formaldehyde cross-linked cells in column bioreactors	14	Zhao and Duncan (1997)
Cd	Ethanol treated waste baker's yeast	15.6	Goksungur et al. (2005)
Cd	Non-living and resting cells from aerobic culture	70	Volesky et al. (1993)
Hg	Free cells	64.2	Al-Sarajet al. (1999)
Co	Free cells	9.9	Al-Sarajet al. (1999)
Ni	Waste yeast from fermentation industry and then autoclaved at 120 °C	1.47	Bakkaloglu et al. (1998)
Ni	Free cells	8	Al-Sarajet al. (1999)
Ni	Lab cultivated, then dried at 100 °C	46.3	Ozer and Ozer (2003)
Ni	Deactivated protonated yeast from yeast co. oven at 80 °C for 24 h	11.4	Padmavathy et al. (2003)
Cr(VI)	Lab cultivated, dehydrated at 30 °C, 15% of cell humidity; 80.5% of the viability	About 5.5	Rapoport and Muter (2003)
Cr(VI)	As a by-product from brewery, formaldehyde cross-linked cells in fixed-bed column	6.3	Zhao and Duncan (1998)
Cr(VI)	Lab cultivated, then dried at 100 °C	32.6	Ozer and Ozer (2003)
Cr(VI)	Waste yeast from fermentation industry and then autoclaved at 120 °C	16.8	Bustard and McHale (1998)
Fe	Whiskey distillery spent wash, lyophilized	40.6	Xie et al. (2003a)
Pd	Immobilized cells of waste yeast	44	Xie et al. (2003b)
Pt	Immobilized cells of waste yeast	59	Bustard and McHale (1998)
Ag	Whiskey distillery spent wash lyophilized	79.2	Al-Sarajet al. (1999)
U	Whiskey distillery spent wash lyophilized	180	Bustard and McHale (1999)

بطور همزمان، جذب فلزی (q)، باید در غلظت تعادلی از فلز محلول در آب، در روش‌های موجود در کتاب‌های مختلف با هم مقایسه شوند تا کارایی ماده زیستی را بسنجیم. به طور جزیی، هیچ روش استانداری برای محاسبه وزن بیومس خشک وجود ندارد. یعنی هیچ استانداردی از دمای خشک کردن و زمان خشک کردن بیومس وجود ندارد. پارک (۲۰۰۳)[۷]، وزن خشک سلول را با خشک کردن آنها در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد تا وقتی که وزن آنها ثابت گردد، محاسبه کرد. در روش دیگر، مخمر را در دمای ۱۰۰ به مدت ۲۴ ساعت حرارت دادند تا خشک شود. در شرایط مختلف خشک کردن سلول‌ها، روشن است که مقادیر عددی وزن سلولی متفاوت است. پس در هنگام مقایسه‌ی مقادیر عددی؛ باید به شرایط آزمایش نیز توجه داشت.

۳-۲-۲- قارچ‌های رشته رشته‌ای نازک

در این بخش، جداسازی یون‌های فلزات سنگین و پرتوزا از داخل محلول آبی توسط قارچ‌های رشته‌ای بررسی می‌شود. گونه‌های مختلف پنی سیلیوم در برخی شرایط خاص، و نیز آسپرژیلوس به عنوان جذب کننده‌های خوب یون‌های فلزی گزارش شده‌اند. گونه‌ی ریزوپوس مثل R.arrhizus و Rhizopus javanicus ویژگی‌های خوبی برای جداسازی از خود نشان می‌دهند. در جدول ۳، نتایج مهمی از جذب فلز توسط بیومس‌های قارچی ارائه شده است.

جدول ۳- ظرفیت جذب‌کنندگی قارچها برای یون‌های فلزی ($mg.g^{-1}$)

Species of fungi	**Metal ions**	**References**
Aspergillus niger, Mucor rouxii, Rhizopus arrhizus(living cells)	Au	Kapoor and Viraraghavan (1997a)
Penicillium, Aspergillus, Trichoderma, Rhizopus, Mucor, Saccharomyces, Fusarium (living cells)	Pb Cu Cd	Kapoor and Viraraghavan (1997a)

www.SID.ir

Archive of SID

	Zn	
Aspergillus, Penicillium, Rhizopus, Saccharomyces, Trichoderma, Mucor, Rhizopus (living cells)	Th U Sr Cs La	Kapoor and Viraraghavan (1997a)
Phanerochaete chryosporium (living cells)	Cd Pb Cu	Day et al. (2001)
Penicillium spp. (living cells)	Ag Cu Cd Pb	Kapoor and Viraraghavan (1997a)

در ادامه برخی از جاذب‌های پرکاربرد که در جدول ۳ به آن اشاره شد معرفی خواهند شد.

۳-۲-۲-۱- پنی سیلیوم

پنی سیلیوم می‌تواند انواع گوناگونی از یون‌های فلزی سنگین مثل مس، طلا، روی، کادمیوم، منگنز، اورانیوم و توریوم را از محلول‌های آبی جدا کند. در جدول۴، انواع مختلف پنی سیلیوم آمده است که می‌توانند انواع گوناگون فلزات را جذب کنند. مثلاً گونه‌ی Chrysogenum، می‌تواند طلا را از محلول سیانید استخراج کند. اگر چه ظرفیت جذب چندانی ندارد. گونه‌ی Spinulosum هم به عنوان جداکننده‌ی احتمالی مس، طلا، روی، کادمیوم و منگنز دانسته می‌شود. پنی سیلیوم chrysogenum، مورد بیشترین مطالعات قرار گرفته است و یک ماده‌ی متداول در تولید پنی سیلین است. پنی سیلیوم به دلیل تولید مواد آلی معروف است که اسیدهای آلی در پی آن ایجاد می‌شوند (مثل سیتریم اسید) Chrysogenum، تمایل به جذب مواد را با این ترتیب نشان می‌دهد: $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Cd^{2+} > Ni^{2+} > Co^{3+}$. برای گونه‌ی غیر زنده‌ی همین قارچ، ترتیب این گونه است: $Pb^{2+} > Cd^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > As^{2+}$.

جدول ۴- ظرفیت جذب‌کنندگی پنی‌سیلیوم برای یون‌های فلزی ($mg.g^{-1}$)

Species	**Metal ions**	**Biosorption capacity**	**References**	**Species**	**Metal ions**	**Biosorption capacity**	**References**
Penicillium canescens	Cd	102.7	Say et al. (2003b)	Penicillium digitatum	Cd Pb	3.5 5.5	Veglio and Beolchini (1997)
Penicillium canescens	Pb	213.2	Say et al. (2003b)	Penicillium griseofulvum (immobilized)	Cu	20.47	Shah et al. (1999)
Penicillium canescens	Hg	54.8	Say et al. (2003b)	Penicillium griseofulvum (free)	Cu	1.51 –	Shah et al. (1999)
Penicillium canescens	As (III)	26.4	Say et al. (2003b)	Penicillium italicum	Cu,Th, Zn	-	Ahluwalia and Goyal(2007)
Penicillium chrysogenum	Cd	11	Niu et al. (1993)	Penicillium italicum	Cu	0.4–2	Ahluwalia and Goyal (2007)
Penicillium chrysogenum	Cu	9	Niu et al. (1993)	Penicillium italicum	Zn	0.2	Ahluwalia and Goyal (2007)
Penicillium chrysogenum	Pb	116	Niu et al. (1993)	Penicillium notatum	Cu	80	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Cd	56	Holan and Volesky(1995)	Penicillium notatum	Zn	23	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Cd	39	Fourest et al.(1994)	Penicillium notatum	Cd	5.0	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Th	–	Gadd and White (1992)	Penicillium janthinellum	U	52.7	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Zn	6.5	Niu et al. (1993)	Penicillium	Cr	36.5	Say et al. (2004)

www.SID.ir

Archive of SID

				purpurogenum	(VI)		
Penicillium chrysogenum (surface imprinted)	Ni	82.5	Su et al. (2006)	Penicillium purpurogenum	Cd	110.4	Say et al. (2003a)
Penicillium chrysogenum (waste biomass)	Ni	56.2	Su et al. (2006)	Penicillium purpurogenum	Pb	70.4	Say et al. (2003a)
Penicillium chrysogenum	Cr (VI)	-	Park et al. (2005)	Penicillium purpurogenum	Hg	35.6	Say et al. (2003a)
Penicillium chrysogenum (modified)	Cd	210.2	Deng and Ting (2005b)	Penicillium purpurogenum	As	70.4	Say et al. (3003a)
Penicillium chrysogenum (modified)	Cu	108.3	Deng and Ting (2005b)	Penicillium simplicissimum	Pb Cu	298.01 207.68	Xu et al. (2008)
Penicillium chrysogenum (modified)	Cu	92	Deng and Ting (2005a)	Penicillium spinulosur (Non-growing)	Cd	1.5	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum (modified)	Pb	204	Deng and Ting (2005a)	Penicillium spinulosur (Growing, mid-linear phase)	Cd	0.4	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum (modified)	Ni	55	Deng and Ting (2005a)	Penicillium spinulosur (Non-growing)	Cu	2.4	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum (modified)	Ni	260	Tan et al. (2004)	Penicillium spinulosur	Cu	3.6	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum (raw)	Cr (III)	18.6	Tan and Cheng (2003)	Penicillium spinulosur (Non-growing)	Zn	1.3	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum (raw)	Ni	13.2	Tan and Cheng (2003)	Penicillium spinulosur (Growing, mid-linear phase)	Zn	0.2	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum (raw)	Zn	6.8	Tan and Cheng (2003)	Penicillium spinulosum	Cd	84.5	Gabriel et al. (1996)
Penicillium chrysogenum (Alkaline pretreatment)	Cr (III)	27.2	Tan and Cheng (2003)	Penicillium sp.	Al Sn Pb	50 60 5.0	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum (Alkaline pretreatment)	Ni	19.2	Tan and Cheng (2003)	Penicillium sp.	U	1.4	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum (Alkaline pretreatment)	Zn	25.5	Tan and Cheng (2003)	Penicillium spp.	Pb	6.0	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Cd	56	Holan and Volesky(1995)	Penicillium spp.	Cu	3	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Pb	96	Skowronski et al. (2001)	Penicillium spp.	Cd	3	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Cd	21.5	Skowronski et al. (2001)	Penicillium spp.	U	165	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Zn	13	Skowronski et al. (2001)	Penicillium spp.	Sr	75	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Cu	11.7	Skowronski et al. (2001)	Penicillium sp.	Nd	178	Palmieri et al. (2000)
Penicillium chrysogenum	Pb	116	Niu et al.(1993)	Penicillium chrysogenum	U	70	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Th	150	Veglio and Beolchini (1997)	Penicillium digitatium	Ni,Zn, Cd,Pb	-	Kapoor and Viraraghavan (1995)
Penicillium chrysogenum	Th	142	Kapoor and Viraraghavan (1995)	Penicillium chrysogenum	Pb	116	Kapoor and Viraraghavan (1995)

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲-۲-۲- آسپرژیلوس

آسپرژیلوس نیگر یک میکروارگانیسم مهم در کاربردهای بیوتکنولوژیم است. از آن در تولید آنزیم‌های فراسلولی مثل گلوکز آمیلاز، پکتیناز، لیپاز اسیدی، فرولوئیل استراز و زیلاناز و همچنین اسیدهای آلی مثل گلوکونیک اسید و سیتریک اسید استفاده می‌گردد. سیتریکاسید و آنزیم‌های تولید شده توسط A.niger از سوی اتحادیه‌ی غذایی و دارویی ایالات متحده، سالم شناخته شده است. بعلاوه، از A.niger در تبدیل زیست شناختی (بیوترنسفورم) فرولیک اسید، پروژسترون، دی پرپنوئید، ایزوستویول، ترپن، لینالو، گرنیول، نیرول و سیترال استفاده می‌شود.همچنین A.niger در فساد زیست محیطی مواد شیمیایی سمی مثل هگزادکان و نیز تبدیل پسماندهای فاضلاب‌ها و تغییرات خواص زباله‌های چغندر و زیتون کاربرد دارد. پسماندهای بیومس A.niger حاصل از تخمیر صنعتی، در جداسازی یون فلزات سنگین خطر آفرین استفاده می‌گردد (کادمیوم، سرب، کروم، مس). همان طور که اسیدهای آلی تولید می‌کند، کمک به صاف کردن و پالایش فلزات از معادن فلز می‌کند. جدول ۵ یون‌های متنوع فلزی را که A.niger آنها را جدا می‌کند، نشان می‌دهد.

جدول ۵- ظرفیت جذب‌کنندگی آسپرژیلوس برای یون‌های فلزی ($mg.g^{-1}$)

Species	Metal ions	Biosorption capacity (mg/g)	References
Aspergillus niger (pretreated with NaOH)	Cu	28.7	Dursun (2006)
Aspergillus niger (pretreated with NaOH)	Pb	32.6	Dursun (2006)
Aspergillus niger (pretreated with NaOH)	Cu	25.5	Dursun (2003)
Aspergillus niger (pretreated with NaOH)	Pb	28.9	Dursun (2003)
Aspergillus niger (growing)	Cu	15.6	Dursun et al. (2003a)
Aspergillus niger (growing)	Pb	34.4	Dursun et al. (2003a)
Aspergillus niger (spore)	241Am	7.2–142.4 MBq/g	Yang et al. (2004)
Aspergillus niger (hyphae)	241Am	5.2–106.5 MBq/g	Yang et al. (2004)
Aspergillus niger	Pb	93	Spanelova et al. (2003)
Aspergillus niger	Hg2+,CH3Hg+	–	Karunasagar et al. (2003)
Aspergillus niger	Cr(VI), Fe(III)		Goyal et al. [83] (2003)
Aspergillus niger	Cu(II)	9.53	Dursun et al. (2003b)
Aspergillus niger	Cd		Basumajumdar et al. (2003)
Aspergillus niger	Cd	–	Barros et al. (2003)
Aspergillus niger	Ni	–	Rajendran et al. (2002)
Aspergillus niger	Ni	–	Magyarosy et al. (2002)
Aspergillus niger	Ph, Cd, Ni, Cr	–	Bhattacharyya et al. (2002)
Aspergillus niger	Cu, Zn		Price et al. [90] (2001)
Aspergillus niger	Fe(II), Fe(III)		Bag et al. (2001)
Aspergillus niger	Cu, Zn, Fe, Ni, Cd		Bag et al. (1999b)
Aspergillus niger	Cu, Zn, Ni, Cr(VI)		Filipovic-Kovacevic et al. (2000)
Aspergillus niger	Free Cd and complexed Cd		Rosa et al. (1999)
Aspergillus niger	Ni, Ca, Fe, Cr		Natarajan et al. (1999)
Aspergillus niger	Tc, U, Am, Ce, Cs, Eu, Pa, Sb		Lyalikova-Medvedeva and Khijniak (1999)
Aspergillus niger (live)	Pb	2.25	Kapoor et al. (1999)
Aspergillus niger (live)	Cd	1.31	Kapoor et al. (1999)
Aspergillus niger (live)	Cu	0.75	Kapoor et al. (1999)
Aspergillus niger (live)	Ni	1.75	Kapoor et al. (1999)
Aspergillus niger (NaOH pretreated)	Pb	7.24	Kapoor et al. (1999)
Aspergillus niger (NaOH pretreated)	Cd	3.43	Kapoor et al. (1999)
Aspergillus niger (NaOH pretreated)	Cu	2.66	Kapoor et al. (1999)
Aspergillus niger (NaOH pretreated)	Ni	0.96	Kapoor et al. (1999)
Aspergillus niger	Cyano-metal complexes		Gomes et al. (1999)

www.SID.ir

Archive of SID

	(Au, Ag. Cu, Fe, Zn)		
Aspergillus niger	Pb, Cd, Cu		Kapoor and Viraraghavan (1997b)
Aspergillus niger (attached to wheat bran)	Cu, Zn		Modak et al. (1996)
Aspergillus niger	Cd, Cu, Zn, Ni, Co		Modak et al. (1995)
Aspergillus niger	Th		Gadd and White (1992)
Aspergillus carbonarius	Cu, Cr		Alasheh and Duvnjak (1997)
Aspergillus flavus	U, Th		Hafez et al. (1997)
Aspergillus flavus	Au, Ag, Cu		Gomes and Linardi (1996)
Aspergillus fumigatus	U		Bhainsa and D'Souza (1999)
Aspergillus fumigatus	Au, Ag, Cu		Gomes and Linardi (1996)
Aspergillus nidulans	Zn		Zhou (1999)
Aspergillus terreus (mycelial waste)	Cu	160-180	Gulati et al. (2002)
Aspergillus terreus	Cd		Massaccesi et al. (2002)
Aspergillus terreus (immobilized in polyurethane foam)	Fe	164.5	Dias et al. (2002)
Aspergillus terreus (immobilized in polyurethane foam)	Cr	96.5	Dias et al. (2002)
Aspergillus terreus (immobilized in polyurethane foam)	Ni	19.6	Dias et al. (2002)
Aspergillus terreus	Cu	224	Gulati et al. (1999)
Aspergillus awamori	Cu		Tsekova et al. (2000)
Aspergillus oryzae	Cu, Cd, Zn		Vianna et al. (2000)

همچنان که مشاهده می‌شود بیومس قارچی که حاوی پسماندهای دارای سلول‌های مرده‌ی A,niger می‌باشد، تاثیر زیادی در جدا کردن و پالایش فلزات سمی چون نیکل، کلسیم، آهن و کروم از یک محلول آبی دارد. ظرفیت جذب یون‌های فلزات مختلف می‌تواند به صورت $Ca > Cr^{3+} > Ni > Fe > Cr^{6+}$ باشد.

۳-۲-۳- مقایسه قارچ و مخمر با سایر جاذب‌ها

جدول ۶ نشان دهنده‌ی نتایج مقایسه‌ی بین ظرفیت جذب فلز توسط مخمر S.cerevisia و دیگر بیوسوربنت‌هاست. باکالولگو (۱۹۹۸)[۸]، انواع بیومس‌های شامل باکتری (S.rimosus)، مخمر (S.cerevisia)، قارچ (P.chrysogenum)، پساب‌های فعال شده مثل جلبک دریایی را برای جدا کردن روی، مس و نیکل، با هم مقایسه کرده است.مخصوصاً کارایی جداسازی آنها، رسوب گذاری و جذب آنها را مهم پنداشته است و روی آنها بحث کرده است. نتایج نشان می‌دهد که مخمر S.cerevisia بازدهی معمولی در جذب فلزات دارد. وقتی که ماکزیمم(ظرفیت جذب فلزات)، در ۷ نوع بیومس توسط رابطه‌ی لانگمیر مقایسه می‌شود، اگر به عنوان مثال سرب را در نظر بگیریم، ظرفیت جذب Pb توسط این مخمر در میان جدول ۶ قرار گرفته است.

جدول ۶- مقایسه بین انواع جاذب‌های زیستی

Metal ions	**Biosorptive capacity (mg metal/g dry weight biomass)**	**References**
Zn	A.nodosum (25.6) > P. chrysogenum > (19.2) > F. Vesiculosus (17.3) > Activated sludge (9.7) > S.rimosus(6.63) >Saccharomyces cerevisiae (3.45)	Bakkaloglu et al. (1998)
Cu	S. rimosus(9.07) > P. chrysogenum(8.62) > F. vesiculosus (7.37) > Activated sluge(5.54) > Saccharomyces cerevisiae (4.93) > A.nodosum(4.89)	Bakkaloglu et al. (1998)
Ni	F. vesiculosus(2.85) > S. rimosus(1.63) > Saccharomyces cerevisiae(1.47) > A. nodosum(1.11)	Bakkaloglu et al. (1998)
Pb	Phanerochaete chrysosporium(419.4) > R. nigricans(403.2) > M. purpurea(279.5) > S. cerevisiae(211.2) >	Kogej and Pavko

www.SID.ir

Archive of SID

	A. terreus(201.1) > M. inyoensis(159.2) > Streptomyces clavulgerus(140.2)	(2001)
Cd, Cu	Protonated biomass: Bacillus lentus (≈30) > Aspergillus oryzae > S. cerevisiae (< 5)	Vianna et al. (2000)
Cu	Growing cells: S. cerevisiae (7.11) > K. Marxianus (6.44) > Candida sp. (4.80) > S. pombe (1.27).	Donmez and Aksu (1999)

قابلیت جذب سطحی مس، کادمیوم و روی توسط ۳ نوع پسماند بیومس، یعنی Bacillus Lentus، Aspergillus Oryzae و S,cerevisia مقایسه شده است. نتایج حاکی از آن است که B.Lentus بیشترین قابلیت جذب را داشته است (برای مس و مادمیوم).

دونمز و آلسکو (۱۹۹۹)[۹]، تجمع یون‌های مس را توسط یلول‌های در حال رشد S.cerevisia، S.pombe، K.marxianus و Candida مقایسه کرده‌اند. ترتیب کاهش میزان جذب زیستی Cu^{23+} این گونه است:

$S.cerevisia > K.marxianus > Candida > S.pombe$ اگرچه دو تای وسطی در جذب تجمع Cu^{2+} موثرترند.

۳-۳- جاذب‌های جلبکی

جلبک‌ها دارای اهمیت ویژه‌ای‌اند و در توسعه و تحقیقات درباره‌ی جذب کننده‌های جدید، به خاطر ظرفیت جذب بالا و قابلیت دسترسی زیاد در همه‌ی دریاها و اقیانوس‌ها، حائز اهمیت‌اند. براساس آمار و ارقام، حدوداً ۱۵/۳۱ درصد بیومس‌ها از جلبک‌اند و ۸۴/۶۹ درصد به باکتری و قارچ اختصاص دارند. براساس تحقیقات منتشر شده، جلبک قهوه‌ای از میان ۳ نوع جلبک معرفی شده دارای بیشترین اهمیت است. چون ظرفیت جذب بیشتری نسبت به جلبک‌های قرمز و سبز دارد.

گستره وسیعی از مقادیر q در میان گونه‌های مختلف جلبک و بین آن ۴ نوع فلز دیده می‌شود که نتایج آن در جدول ۷ مشاهده می‌گردد.

جدول ۷- بیشینه میزان جذب برای ۳۰ گونه جاذب زیستی جلبک ($mg.g^{-1}$) [۱۰]

Biomass	Pb (0.4)[a]	Cd (0.1)[a]	Ni (0.1)[a]	Zn (0.1)[a]
S. hofmani	0.85	0.33	0.17	0.37
L. taylorii	0.84	0.32	0.43	0.37
A. ensues	0.8	0.24	0.26	0.23
K. spiculiformis	0.71	0.34	0.28	0.42
V. dichotoma	0.7	0.28	0.37	0.42
C. kessleri	0.55	0.24	0.12	0.14
M. species	0.54	0.25	0.2	0.24
N. parmeloides	0.5	0.23	0.22	0.24
S. maxima	0.49	0.27	0.12	0.23
C. vulgaris	0.46	0.29	0.31	0.18
G. longicauda	0.44	0.27	0.2	0.28
R. spiculiforme	0.4	0.25	0.26	0.25
A. hantzschii	0.39	0.27	0.25	0.11
S. platensis	0.38	0.29	0.4	0.27
P. tricornutum	0.36	0.23	0.19	0.37
M. aeroginosa	0.35	0.23	0.21	0.23
P. purpureum	0.33	0.18	0.2	0.25
T. species	0.3	0.13	0.26	0.19
G. verrucosa	0.24	0.15	0.13	0.24
C. species	0.23	0.2	0.17	0.16
A. cylindrica	0.22	0.14	0.14	0.1
S. laxissima	0.22	0.22	0.13	0.11
G. planctonica	0.21	0.06	0.11	0.18
S. species	0.19	0.24	0.09	0.07
P. species	0.19	0.17	0.18	0.36
A. africanum	0.18	0.17	0.15	0.11
E. magnus	0.16	0.09	0.12	0.17
D. salina	0.1	0.07	0.06	0.06

www.SID.ir

Archive of SID

A. inaequealis	0.1	0.08	0.12	0.1
D. bioculata	0.02	0.05	0.05	0.04

محققان، جلبک قهوه‌ای را به روش‌های مختلف آزمایش کرده‌اند تا ظرفیت جذب کنندگی آن را افزایش دهند. ولسکی و همکارانش[۳]، تحقیقات زیادی روی خصوصیات جذب کنندگی جلبک قهوه‌ای انجام داده‌اند. جلبک قهوه‌ای به عنوان جذب کننده‌های بسیار خوی برای فلزات سنگین تلقی می‌شود. بهترین نشان دهنده جذب زیستی توسط جلبک قهوه‌ای، سرب می-باشد. حداکثر ظرفیت جذب جلبک نزدیک به ۱ میلی مول بر گرم براس مس و سرب می‌باشد و برای فلزات دیگر، از این مقدار کمتر است. کارایی جذب فلز برای نیکل و روی کمتر است. جلبک تمایل زیادی برای جذب سرب، کادمیوم، مس، نیکل و روی که مقادیر مساوی دارند، از خود نشان می‌دهند.

۳-۳-۱- جبلک دریایی به عنوان جذب کننده

دیده شده است که میانگین ظرفیت جذب توسط جلبک قرمز، کمتر از ۲ نوع جلبک دیگر است. جدول ۸، میانگین حداکثر مقادیر جذب را در سیستم‌های تک فلزی ثبت کرده است که توسط جلبک‌ها رخ داده است. هنگام محاسبه‌ی میانگین این مقادیر، اعداد غیرمعمولی باید حذف شوند. در غیر این صورت، این روش نمی‌تواند نشان دهنده نوع جلبک خاص باشد.تفاوت‌های موجود در مقادیر بدست آمده ممکن است بخاطر شرایط مختلف آزمایش و نیز ساختار گوناگون دیواره‌ی سلول‌ها باشد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که Sargassum Vulgare با حداکثر ظرفیت جذب معادل $33\frac{mg}{g}$، برای جذب کروم (VI) مناسب می‌باشد.

جدول ۸- مقدار متوسط حداکثر جذب یون‌های فلزی برای انواع جاذب زیستی جلبکی ($mg.g^{-1}$) [۱۱]

Metal ions	Brown alga	Red alga	Green alga	Average value
Cd	0.930	0.260	0.598	0.812
Ni	0.865	0.272	0.515	0.734
Zn	0.676		0.370	0.213
Cu	1.017		0.504	0.909
Pb	1.239	0.651	0.813	1.127

درباره جلبک‌های بزرگ دریایی مثل Ulva، و قدرت جذب زیستی آنها در مورد مس (II)، می‌توان گفت که توانایی فوق-العاده‌ای در جمع کردن یون‌های مس (II) (۰/۳۲۶ میلی مول در هر گرم) دارند. شاید به خاطر محتوای زیاد اورونیک اسیدشان. در آزمایشی توسط "لی" (۲۰۰۰)[۱۲]، ۴۸ مدل جلبک دریایی از هر سه مدل قهوه‌ای، قرمز و سبز برای سنجش میزان جذب کروم ۶ ظرفیتی امتحان شدند که در این بین، جلبک قرمز با ظرفیت جذب ۲۲۵ میلی گرم در هر گرم، به عنوان جذب کننده قوی کروم شناخته شد. ولی تمایل آن برای جذب یون‌هایی چون کادمیوم و منگنز خیلی کم است. "رینکون" (۲۰۰۵)[۱۳]، جذب زیستی فلزات سنگین را توسط جلبک F.Vesiculosus که از لحاظ شیمیایی فعال می‌باشد، مورد بررسی قرار داده و جلبک‌های قهوه‌ای و سایر بیوسوربنت‌ها را مورد استفاده قرار داده که نتایج آن در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹- بیشینه مقدار جذب یون‌های فلزی برای جاذب‌های گوناگون[۱۳]

Sorbents	Cu	Pb	Cr	Ni
Natural zeolite	–	0.18	–	–
Activated charcoal powder	–	0.10	–	–
Pseudomonas aeruginosa	0.29	0.33	–	–

www.SID.ir

Archive of SID

Rhizopus arrhizus (fungus)	0.25	0.50	0.27	–
Activated charcoal granular	0.03	0.15	0..07	–
Ion exchange resin	–	1.37	0.59	–
Fucus vesiculosus	0.97	1.04	1.12	0.08

۴- متوقف سازی جذب کننده‌ها در راکتورهای زیستی و احیای جاذب‌های زیستی

با این که جذب زیستی با چالش‌ها و مشکلات گوناگونی روبروست، اما دو روش برای توسعه فرایند جذب و جداسازی فلزات وجود دارد. یک روش، استفاده از تکنولوژی هیبریدی (ترکیبی) برای جدا کردن و تصفیه‌ی آلاینده‌هاست، به خصوص به کمک سلول‌های زنده. روش دیگر، توسعه‌ی بیوسوربنت‌های تجاری با استفادهاز تکنولوژی متوقف سازی است و همچنین افزایش کارایی فرایند جذب زیستی با بازسازی و استفاده مجدد از مواد زیستی، که در این روش، بیوسوربنت‌ها مثل تبادل یونی رزین-هاعمل می‌کنند. این روش از لحاظ اقتصادی، بسیار به صرفه است.

تکنیک متوقف سازی یکی از روش‌های بنیادی و اصلی در کاربردهای تجربی فرایند جذب زیستی به شمار می‌رود. سلول‌های مخمر که با عملیات فیزیکی و شیمیایی کشته می‌شوند، در میزان تجمع فلزات، خواص متفاوتی نسبت به مخمرهای زنده از خود نشان می‌دهند. اکنون، روش های بسیاری برای تغییر سلول S.cerevisiae گزارش شده است، مانند روش‌های فیزیکی چون خشک کردن همراه با انجماد، جوشاندن یا حرارت دادن، برهم خوردن مکانیکی و روش‌های شیمیایی همچون تغییر رفتار به کمک ترکیبات آلی و معدنی (اسید سودسوزآور، متانول، فرمالدهید و ...). مواد مناسب برای متوقف کردن بیومس‌ها شامل آلژینات، پلی اکریل آمید، پلی وینیل الکل، پلی سولفون، ژل سیلیکا، سلولز و گلوتار آلدهید است.

برای کاربردهای صنعتی بیومس‌ها، مهم است که از تنکیک متوقف سازی مناسب استفاده شود تا جاذب‌های زیستی تجاری تولید گردد که می‌تواند قابلیت جذب فلزات را در یک فرایند تغییر خواص بیومس، ثابت نگه دارد. مخصوصاً برای بیومس‌های مرده. انواع گوناگونی از S.Cerevisiae همراه با مواد مختلفی که در حضور آنها جذب را انجام می‌دهد، توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است.

سلول‌های آزاد میکروبی بخاطر چگالی کم، اندازه کوچک، مقاومت مکانیکی ضعیف، و صلب نبودن (درصد بسیار می صلبیت دارند)، می‌توانند در فرایندهای جدایش جامد از مایع، ورم بیومس و تولید اختلاف فشار زیاد در ستون آزمایش تأثیر زیادی داشته باشند (مشکل ایجاد می‌کنند). فشار زیاد می‌تواند بیومس‌های آزاد را متلاطم کند و این تلاطم را می‌توان با متوقف کردن بیومس‌ها رفع نمود. چون در این حالت، با ایجاد مقاومت مکانیکی، صلبیت، تخلخل و اندازه مناسب برای سلول، سلول‌ها برای فرایندهای تجربی آماده می‌گردند. این موادی که از حرکت ایستاده‌اند، در حالتی شبیه به تبادل یونی رزین‌ها، و کربن‌های فعال که در آنها فرایند جذب- دفع (یک چرخه صنعتی) رخ می‌دهد، قرار می گیرند. در فرایند جذب- دفع، بازیافت فلز جذب شده انجام می‌شود، سپس بیومس دوباره فعال شده و مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد.

مواد مهمی که در متوقف سازی جاذب‌ها به کار می‌روند، شامل سدیم آلژینات، کلسیم آلژینات، پلی سولفون، پلی اکریل آمید، پلی اوراتان و سیلیکا و ... است. ماده پلیمری انتخاب شده برای متوقف کردن سلول‌ها، میزان مقاومت مکانیکی و شیمیایی نهایی ذره‌ی جذب کننده‌ای که در چرخه‌ی جذب- دفع استفاده می‌شود را تحت تاثیر قرار می‌دهد، پس انتخاب ماده متوقف کننده مناسب بسیار مهم است.

این مسئله مهم است که هزینه‌های متوقف سازی، بازیافت و استفاده مجدد از جاذب‌های زیستی را در نظر بگیریم. اگرچه فرایندهای پیوسته‌ای برای جداسازی فلزات توسط سلول‌های از حرکت افتاده در ابعاد آزمایشگاهی انجام می شود، اما هنوز راه طولانی برای تجاری کردن این فرایندها در پیش است. انتخاب مواد مناسب و ارزان برای متوقف سازی سلولها، ارتقای روش-

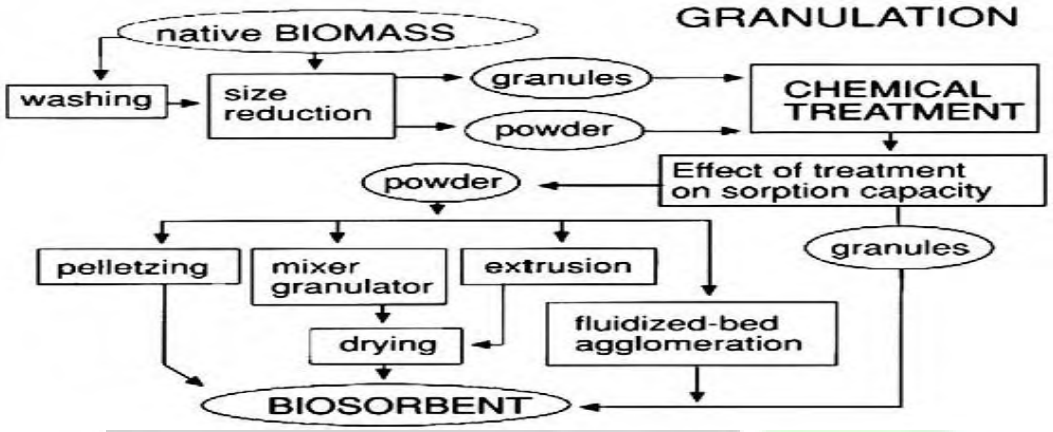
www.SID.ir

Archive of SID

های بازیافت و بهبود ویژگی‌های جذب کننده‌ها (میزان حفره‌ها، مقاومت مکانیکی و پایداری شیمیایی) در کاربرد این روش‌ها تأثیر دارند.

اگر چه توقف جاذب‌های زیستی دو مشکل را حداقل بوجود می آورد: محدودیت انتقال جرم و هزینه‌های اضافی. هزینه-های مربوط به جذب توسط سلول‌های مرده، مناسب است ولی تولید این جذب کننده‌ها از پسماندهای بیومس با استفاده از روش‌های متوقف سازی بسیار هزینه بر می‌باشد. مسئله دیگر، حضور چندین یون فلزی در یک زمان در محلول است که این مسئله، باید در برآورده کردن هزینه ها به حساب بیاید.

یک شکل ساده از مراحل تبدیل بیومس‌های میکروبی به مواد جذب کننده مفید در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱- مراحل تبدیل بیومس‌های میکروبی به مواد جاذب مفید [۱۴]

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق انواع جاذب‌های زیستی بررسی شد. در این میان جلبک‌ها، باکتری‌ها و قارچها به دلیل در دسترس بودن معرفی شدند. قدرت جذب هر کدام از این جاذب‌ها برای یون‌های مختلف فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در جدول ۹ روش‌های حذف فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که روش‌های حذف زیستی(با استفاده از جاذب زیستی جلبکی) نسبت به روش‌های سنتی از جمله تبادل یونی توسط رزین‌ها برتری دارد. همچنین به منظور تجاری سازی جاذب‌های زیستی تکنیک متوقف سازی مورد بررسی قرار گرفت و در پایان شمایی ساده (شکل ۱) از مراحل تبدیل بیومس-های میکروبی به مواد جذب کننده مفید ارائه گردید.

مراجع

[1] Gadd GM. Interactions of fungi with toxic metals. Phytologist 1993;124:25–60.
[2] Wang JL, Chen C. Biosorption of heavy metals by Saccharomyces cerevisiae: a review. Biotechnol Adv 2006;24:427–51.
[3] Volesky B. Biosorption by fungal biomass. In: Volesky B, editor. Biosorption of heavymetals. Florida: CRC press; 1990a. p. 139–71.
[4] Volesky B, Holan ZR. Biosorption of heavy metals. Biotechnol Prog 1995;11:235–50.
[5] Ahluwalia SS, Goyal D. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metal from wastewater. Bioresour Technol 2007;98:2243–57.

www.SID.ir

Archive of SID

[6] Vijayaraghavan K, Yun YS. Bacterial biosorbents and biosorption. Biotechnol Adv 2008;26:266–91.
[7] Park JK, Lee JW, Jung JY. Cadmium uptake capacity of two strains of Saccharomyces cerevisiae cells. Enzyme Microb Technol 2003;33:371–8.
[8] Bakkaloglu I, Butter TJ, Evison LM, Holland FS, Hancock IC. Screening of various types biomass for removal and recovery of heavy metals (Zn, Cu, Ni) by biosorption, sedimentation and desorption. Water Sci Technol 1998;38:269–77.
[9] Donmez G, Aksu Z. The effect of copper(II) ions on the growth and bioaccumulation properties of some yeasts. Process Biochem 1999;35:135–42.
[10] Klimmek S, Stan HJ,Wilke A, Bunke G, Buchholz R. Comparative analysis of the biosorption of cadmium, lead, nickel, and zinc by algae. Environ Sci Technol 2001;35:4283–8.
[11] Romera E, Gonzalez F, Ballester A, Blazquez ML, Munoz JA. Biosorption with algae: a statistical review. Crit Rev Biotechnol 2006;26:223–35.
[12] Lee DC, Park CJ, Yang JE, Jeong YH, Rhee HI. Screening of hexavalent chromium biosorbent from marine algae. Appl Microbiol Biotechnol 2000;54:597–600.
[13] Rincon J, Gonzalez F, Ballester A, Blazquez ML, Munoz JA. Biosorption of heavy metals by chemically-activated alga Fucus vesiculosus. J Chem Technol Biotechnol 2005;80:1403–7.
[14] Vieira RHSF, Volesky B. Biosorption: a solution to pollution? Int Microbiol 2000;3: 17–24

www.SID.ir