جذب زیستی یون‌های کادمیم از محلولهای آبی با استفاده از بیومس *ساکارومایسس سرویسیه*

فرشید قربانی[1] حبیب‌اله یونسی[2]

(دریافت ۸۶/۱۲/۲۶ پذیرش ۸۷/۸/۲۰)

چکیده

در این مطالعه، جذب زیستی یون‌های کادمیم از پسابهای صنعتی توسط مخمر *ساکارومایسس سرویسیه* مورد بررسی قرار گرفت. برای افزایش میزان جذب در این مطالعه یک آماده‌سازی اولیه توسط محلول اتانول ۷۰ درصد بر روی سلول‌های مخمر انجام شد که موجب افزایش میزان جذب توسط این سلول‌ها گردید. مقادیر ۵، ۳۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۰/۱ گرم بر لیتر برای pH، غلظت اولیه کادمیم و غلظت بیومس، به عنوان شرایط بهینه در میزان جذب تعیین شدند. از معادله فرندلیچ برای محاسبه میزان جذب توسط بیومس استفاده گردید. بیشترین میزان جذب یون‌های کادمیم (q_{max}) ۲۵ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: جذب زیستی، *ساکارومایسس سرویسیه*، کادمیم، پساب صنعتی.

Biosorption of Cadmium(II) Ions by *Saccharomyces cerevisiae* Biomass from Aqueous Solutions

Farshid Ghorbani [1] *Habibollah Younesi* [2]

(Received Mar. 16, 2008 Accepted Oct. 28, 2008)

Abstract

The biosorption of cadmium(II) ions onto *Saccharomyces cerevisiae* biomass from aqueous solutions was investigated. The cells were treated with 70% ethanol solution in order to increase the biosorption capacity of S. cerevisiae. The effect of solution pH, initial metal concentration and biomass dosage on biosorption by ethanol treated yeast was studied. Optima conditions of initial solution pH, Cd(II) ion concentration and biomass dosage were at 5, 37.5 mgL^{-1} and 0.1 gL^{-1}, respectively. The Freundlich equation was applied to the experimental data. The maximum metal uptake value (q_{max}) was found as 25 mgg^{-1}.

Keywords: Biosorption, *Saccharomyces cerevisiae,* Cadmium, Industrial Wastewater.

۱- دانشجوی دکترای محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
۲- استادیار بیوتکنولوژی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور،
(نویسنده مسئول) ۶۲۵۳۱۰۱ (۰۱۲۲) hunesi@modares.ac.ir

1. Ph.D Student of Environmental, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares Uni., Noor
2. Assis. Prof. of Environmental Biotechnology, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares Uni., Noor, (Corresponding Author) (+98 122) 6253101 hunesi@modares.ac.ir

۱- مقدمه

توسعه صنایع مختلف در سالهای اخیر باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط زیست خصوصاً در اکوسیستم‌های آبی شده است [۱]. دلایل اهمیت جلوگیری از ورود فلزات سنگین عبارت‌اند از : ماندگاری طولانی مدت در طبیعت؛ سمّی‌تر شدن برخی فلزات سنگین در طبیعت نظیر جیوه؛ در معرض خطر قرار گرفتن زندگی انسان به واسطه تجمع زیستی[1] فلزات سنگین در زنجیره غذایی و به تبع آن، تهدید فعالیت فیزیولوژیکی نرمال میکروارگانیسم‌ها. به علاوه، تجزیه فلزات سنگین توسط روشهای تصفیه زیستی غیر ممکن است و حداکثر کاری که می‌توان انجام داد، تغییر نوع و ظرفیت آنهاست. در نهایت اینکه فلزات سنگین حتی در غلظتهای پایین، یعنی حدود ۱ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز سمّی هستند، بعضی از فلزات سنگین مثل جیوه و کادمیم حتی در غلظتهای خیلی کمتر، حدود ۰/۰۰۱ تا ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر نیز سمّی هستند [۲ و ۳]. میزان مجاز کادمیم در آب آشامیدنی، ۰/۰۰۰۵ میلی‌گرم بر لیتر است [۴]. همچنین میزان مجاز کادمیم در رسوب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها ۰/۲ تا۰/۹ میلی‌گرم بر لیتر و در آبهای شیرین کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر است، بنابراین مقادیر بیشتر، به عنوان آلایندهٔ پسابها و زهابهای کشاورزی به شمار می‌آیند [۵].

روشهای معمول برای حذف یون‌های فلزی از اکوسیستم‌های آبی توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این روشها شامل ته‌نشست شیمیایی، تبادل یونی، تصفیه الکتروشیمیایی، فنّاوری‌های غشایی، جذب سطحی روی کربن فعال و غیره می‌باشند. روشهای ته‌نشست شیمیایی و تصفیه الکتروشیمیایی زمانی که غلظت فلز خیلی پایین و حدود ۱ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است، مؤثر نیستند. همچنین این روش موجب تولید مقادیر زیادی لجن می‌گردد که دفع آنها مشکلات زیادی را در پی دارد. روشهای تبادل یونی، فنّاوری غشایی و پروسه جذب سطحی روی کربن فعال، بسیار پر هزینه هستند، خصوصاً زمانی که از این روشها در تصفیه حجم زیادی از فاضلاب با غلظتهای پایین فلزات سنگین استفاده شود. بنابراین روشهای مذکور نمی‌توانند در مقیاس وسیع به کار روند. روش جدید پیشنهادی، جذب زیستی[2] است که در آن مواد مختلف زیستی شامل باکتری، قارچها، مخمرها، جلبکها و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد زیستی می‌توانند غلظت فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی را از ppt به ppb کاهش دهند. بنابراین جذب زیستی، یک گزینه ایدئال برای تصفیه حجم زیاد فاضلاب همراه با غلظت کم یون‌های فلزی محسوب می‌شود [۶].

[1] Bioaccumulation
[2] Biosorption

در این تحقیق از مخمر *ساکاروما یسس سرویسیه*[3] به عنوان جاذب در فرایند جذب زیستی فلزات استفاده شد. این مخمر نسبت به مواد دیگر دارای مزایای زیر است: *ساکاروما یسس سرویسیه* به راحتی در مقیاس وسیع کشت می‌شود، این مخمر می‌تواند به آسانی از فرایند تخمیر در محیط کشت ارزان به دست آید و به علاوه محصول بیومس[4] آن قابل توجه است [۷]. این میکروارگانیسم می‌تواند از صنایع مختلف غذایی و تخمیر به عنوان یک پسماند به دست آید که تهیه آن در مقایسه با دیگر انواع پسماندهای میکربی آسان‌تر است. این مخمر یک میکروارگانیسم بی‌خطر محسوب می‌گردد، بنابراین جذب زیستی توسط آن به سهولت انجام می‌گیرد و بالاخره این مخمر یک موجود زندهٔ ایدئال برای تشخیص مکانیسم جذب زیستی خصوصاً برای بررسی اثر متقابل فلز و میکرب در سطح مولکولی به شمار می‌رود. هدف از این مطالعه بررسی شرایط جذب فلز کادمیم با استفاده از سلول‌های مردهٔ مخمر *ساکاروما یسس سرویسیه* و تعیین ظرفیت جذب این مخمر بود. این مخمر با اتانول ۷۰ درصد آماده‌سازی شد و ویژگی‌های سلولی، توسط آنالیز ساختار آن و همچنین توسط تصاویر میکروسکوپ الکترونی مشخص گردید.

۲- مواد و روشها

۲-۱- بیومس

در این تحقیق از مخمر *ساکاروما یسس سرویسیه* گونهٔ ۵۰۱۰ استفاده شد. این مخمر از مرکز کلکسیون قارچها و باکتری‌های صنعتی و عفونی ایران- وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، سازمان پژوهشی و علمی و صنعتی ایران-[5] به صورت یخ خشک[6]، تهیه شد و سپس در محیط کشت استریل، کشت گردید. ساختار محیط کشت رشد[7] به صورت زیر است: گلوکز ۱۵ گرم بر لیتر، $(NH_4)_2SO_4$ ۹ گرم بر لیتر، $MgSO_4$ ۲/۵ گرم بر لیتر، عصاره مخمر[8] ۱ گرم بر لیتر، pH برابر ۴/۵ و دمای محیط حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. محیط کشت تهیه شده قبل از استفاده، در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو گردید. سلول‌های مخمر به مدت ۱۶ ساعت تا پایان فاز رشد نمایی کشت داده شدند و سپس با فیلتر ۰/۴۵ میکرون فیلتر گردیدند.

[3] Saccharomyces cerevisiae
[4] Biomass
[5] PTCC
[6] Freeze Dry
[7] Growth Medium
[8] Yeast Extract

۲-۲- آماده‌سازی بیومس برای جذب

بیومس با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون غیر فعال شد [۸]. سپس مخمر خشک شده، خرد و توسط الک با مش ۱۰۰ الک گردید. تصفیه اولیه سلول‌های غیر زنده، در اتانول ۷۰۰ گرم بر لیتر به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق انجام گرفت. در ادامه محلول حاصل با rpm ۳۶۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ و سلول‌ها جدا شد. سپس سلول‌ها چند مرتبه با آب مقطر شسته و دوباره سانتریفیوژ گردید تا اتانول اضافی از آن خارج شود. پس از آن سلول‌های به‌دست آمده، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت خشک گردید [۹]. سلول‌های خشک شده مجدداً خرد و الک گردید و تا زمان استفاده برای جذب، نگهداری شد.

۲-۳- روشهای آنالیز

برای تعیین پروتئین و نیتروژن کل سلول‌های بیومس خشک *ساکارومایسس سرویسیه* از دستگاه کجلدال[1] استفاده شد. همچنین میزان رطوبت و خاکستر آن توسط روشهای استاندارد تعیین گردید [۱۰]. خصوصیات بیومس *ساکارومایسس سرویسیه* غیر فعال شده در جدول ۱ نشان داده شده است. شکلهای ۱ و ۲، تصاویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی از ساختار مخمر خشک شده، قبل و بعد از آماده‌سازی را به نمایش می‌گذارد. غلظت کادمیم باقی‌مانده در مایع زلال فیلتر شده پس از جذب، توسط دستگاه جذب اتمی ساخت شرکت فیلیپس آمریکا مدل PU 9400 تعیین گردید. هر آزمایش سه مرتبه تکرار شد و میانگین آن گزارش گردید. انحراف استاندارد آن کمتر از ۵ درصد بود.

جدول ۱- ویژگی‌های ساختاری مخمر *ساکارومایسس سرویسیه*

خصوصیات	*بیومس ساکارومایسس سرویسیه* (٪)
رطوبت	۷۳/۵۷
ماده خشک	۲۶/۴۳
خاکستر	۱۱/۳۷
نیتروژن کل	۹/۳۶
پروتئین	۵۸/۵۲

۲-۴- مواد شیمیایی

برای تهیه محلول کادمیم از سولفات کادمیم ($CdSO_4.8/3H_2O$) محصول شرکت ریدل دیهان[2] آلمان استفاده گردید. محلول اصلی کادمیم با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با حل کردن ۱۹۶/۶ گرم از سولفات کادمیم در یک لیتر آب دیونیزه شده، آماده گردید. سایر غلظتهای مورد نیاز از این محلول اصلی تهیه شد. pH محلول توسط محلولهای ۲ نرمال HCL و NaOH تنظیم گردید.

۲-۵- جذب کادمیم

آزمایش‌های جذب کادمیم در سیستم ناپیوسته[3] و در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد)، برای مطالعه اثر pH، غلظت اولیه کادمیم و میزان بیومس انجام شد. هر آزمایش در ارلن به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر با همزن با دور rpm ۱۲۰ برای مدت زمان ۲۴ ساعت انجام شد. نمونه‌گیری در زمان‌های مشخص ۲، ۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ دقیقه انجام پذیرفت و توسط فیلتر با پور سایز[4] ۰/۲۵ میکرون، فیلتر گردید. نمونه‌های فیلتر شده برای تعیین غلظت یون کادمیم باقی‌مانده آنالیز گردیدند. میزان جذب یون‌های کادمیم توسط سلول‌های مخمر *ساکارومایسس سرویسیه* با رابطه ۱ (معادله فرندلیچ[5]) محاسبه شد.

$$q = \frac{V \times (C_i - C_e)}{S} \qquad (۱)$$

که در این رابطه

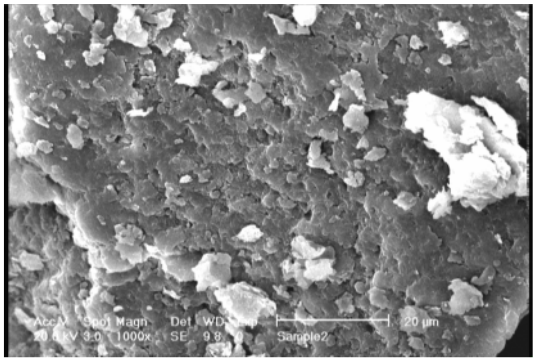
q مقدار یون‌های فلزی جذب شده بر جاذب یا مخمر برحسب میلی‌گرم بر گرم، V حجم محلول حاوی یون‌های کادمیم برحسب لیتر، C_i و C_e به ترتیب غلظت اولیه و باقی‌مانده یا ثانویه یون‌های کادمیم در محلول برحسب میلی‌گرم بر لیتر و S مقدار بیومس اضافه شده به محلول برحسب گرم وزن خشک می‌باشد [۱۱].

۲-۶- طراحی آزمایش‌ها

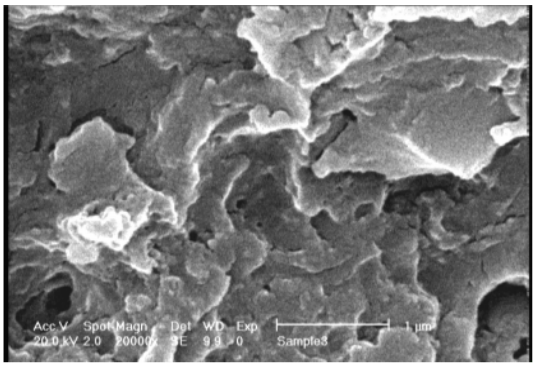
در این تحقیق برای تعیین شرایط مطلوب حذف فلزات سنگین از فاضلاب کارخانه‌ها، در رابطه با هر یک از متغیرهای pH، غلظت اولیه کادمیم و غلظت بیومس، چندین آزمایش انجام شد. این آزمایش‌ها عبارت بودند از : سه آزمایش با pH متغیر ۱/۳، ۵ و ۸/۷؛ سه آزمایش با غلظتهای اولیهٔ مختلف کادمیم در محلول ۰/۵، ۱۹ و ۳۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر و سه آزمایش با مقدار بیومس متفاوت ۰/۰۱، ۰/۳۸ و ۰/۷۵ گرم بر لیتر.

در هر یک از این آزمایش‌ها، غیر از فاکتور متغیر، دو فاکتور دیگر ثابت در نظر گرفته شدند. قابل ذکر است که همه آزمایش‌ها در سه نوبت تکرار شدند و میانگین آنها به عنوان نتیجه نهایی گزارش گردید. مقادیر در نظر گرفته شده برای هر فاکتور شامل سه عدد در برگیرندهٔ حد بالا، حد پایین و حد متوسط یا مرکزی بود. شرایط بهینه، با توجه به میزان ظرفیت جذب یون‌های کادمیم از

[1] Kjeldahl (Kjettect Analyzer Unit, Foss Tacactor 2300, Sweden)
[2] Ridel-dehaen
[3] Batch
[4] Pore Size
[5] Freundlich



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار بیومس جاذب قبل از آماده‌سازی



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار بیومس جاذب پس از آماده‌سازی

محلول، تعیین شد تا بتوان از شرایط مذکور برای حذف کادمیم از پساب کارخانه‌ها استفاده کرد.

۳- نتایج و بحث

میزان جذب سلول‌های مخمر *ساکارومایسس سرویسیه* در مراحل مختلف رشد یکسان نیست و در پایان فاز رشد نمایی، بیشترین میزان جذب را از خود نشان می‌دهد [۱۱]. برای این کار از ملاس نیشکر با غلظت ۵ درصد به عنوان منبع کربن استفاده گردید. فاز رشد نمایی پس از حدود ۴ ساعت شروع شد و در طی ۱۶ ساعت سلول‌ها به حداکثر رشد خود رسیدند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای به دست آوردن حجم بالا و قابلیت جذب بیشتر لازم است سلول‌ها را پس از ۱۶ ساعت جداسازی نمود.

استفاده از سلول‌های غیر زنده نسبت به سلول‌های زنده از برخی مزایا برخوردار است، از جمله اینکه سلول‌های مرده می‌توانند مدت زمان طولانی در دمای اتاق ذخیره شوند، آنها تحت تأثیر سمیّت فلزات و مواد مختلف دیگر قرار نمی‌گیرند و همچنین نیاز به مواد غذایی برای رشد ندارند. به علاوه، تصفیه اولیه و کشتن سلول‌ها به روشهای فیزیکی و شیمیایی باعث افزایش ظرفیت جذب آنها نسبت به سلول‌های زنده می‌شود [۱۲، ۱۳ و ۱۴]. همچنین نشان داده شده است که پروتئین‌های دیواره سلولی که با یون‌های فلزی تشکیل کمپلکس می‌دهند پس از تصفیه اولیه توسط اتانول و گرما، ثابت باقی می‌مانند و به علت حذف مواد غذایی از دیواره سلولی، میزان جذب یون‌های فلزی افزایش می‌یابد [۱۵].

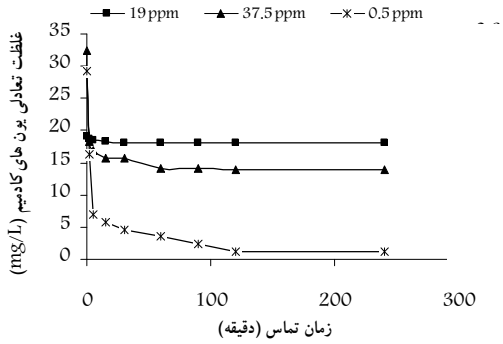
نتایج آنالیز ساختار سلول‌های مخمر *ساکارومایسس سرویسیه* در جدول ۱ نشان داده شده است. با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی که قبل از آماده‌سازی (شکل ۱) و بعد از آماده سازی (شکل ۲) گرفته شده است، می‌توان تفاوت ساختار بیومس را مشاهده نمود. تصاویر مزبور حاکی از آن هستند که لایه‌های سطحی *ساکارومایسس سرویسیه* شامل خلل و فرج‌های ریز است. پیش درمان با استفاده از استریفیکاسیون اتانول با گروه کربوکسیل (COOH—) موجب ایجاد خلل و فرج اضافی نمی گردد، اما سطحی با ریز ساختاری تمیز، قابل تشخیص می‌باشد. بنابراین ذرات *ساکارومایسس سرویسیه* با سطح تمیز و خلل و فرج بالا ممکن است عمل جذب زیستی را افزایش دهد. استفاده از روشهای خاص آماده‌سازی، مانند آماده‌سازی بیومس با اتانول ۷۰ درصد به مقدار قابل توجهی میزان جذب سطحی را افزایش می‌دهد.

افزایش میزان جذب بیومس پس از آماده‌سازی را می‌توان ناشی از سه مورد دانست. الف: ایجاد یک‌سری ساختار ریز خلل و فرج‌دار در لایه‌های سطحی مخمر بعد از آماده‌سازی. ب: قابل رؤیت شدن مکان‌های قرارگیری فلزات سنگین مانند گروههای کربوکسیل، سولفید، سولفور، فسفات، آمینو و هیدروکسیل در دیواره سلولی. ج: امکان جذب بیولوژیک با سرعت بالاتر در مکان‌های فعال روی لایه سطحی مخمر غیر زنده *ساکارومایسس سرویسیه*.

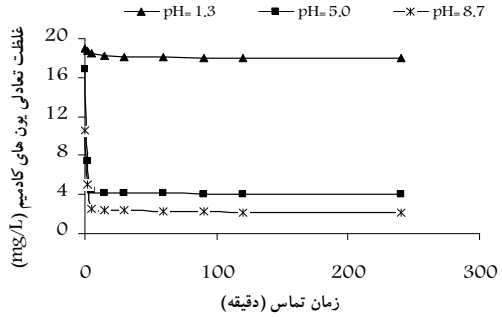
۳-۱- روند تغییرات در یون‌های کادمیم در زمان‌های مختلف جذب

بهینه کردن جذب زیستی نیازمند تشخیص صحیح مدت زمان جذب توسط مخمر *ساکارومایسس سرویسیه* است. برای این منظور نمونه‌گیری از محلول در زمان‌های مختلف ۲، ۵، ۱۵،۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ دقیقه از جذب انجام شد. این زمان‌بندی در نمونه‌گیری از تمام آزمایش‌هایی که به منظور بررسی اثر سه فاکتور pH، غلظت کادمیم و غلظت بیومس انجام شدند، رعایت گردید. همان‌گونه که در شکلهای ۳، ۴ و ۵ دیده می‌شود در تمامی آزمایش‌ها بیشترین میزان جذب از زمان صفر تا ۳۰ دقیقه اول صورت گرفته است و پس از آن میزان جذب تقریباً با یک روند ثابت کاهش پیدا می‌کند. این مسئله می‌تواند بیانگر غیر فعال یا سطحی بودن جذب توسط بیومس باشد. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود با افزایش

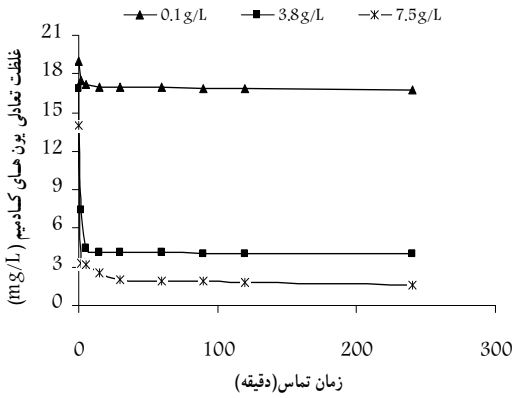
زمان تماس، میزان جذب کاهش می‌یابد. این مسئله می‌تواند به خاطر وجود ساختار ریز خلل و فرج‌دار بر روی سطح جاذب باشد. در مطالعه‌ای که برای جذب یون‌های مس توسط مخمر *ساکاروما یسس سرویسیه* انجام شده است، نتایج مشابهی به دست آمد و بیشترین میزان جذب در دقایق نخست، خصوصاً ۵ دقیقه ابتدایی گزارش گردید [۱۶]. کارایی مناسب در جذب فلزات سنگین در غلظتهای مختلف و سرعت جذب زیاد، از جمله نکات مثبتی است که در نمودارهای جذب قابل ملاحظه است. شکل ۳ نشان می‌دهد که میزان جذب یون‌های فلز کادمیم محلول در آب، با بیشتر شدن غلظت بیومس *ساکاروما یسس سرویسیه*، افزایش می‌یابد. ازدیاد جذب با افزایش غلظت بیومس می‌تواند مربوط به افزایش موقعیتهای فعال روی دیواره سلولی باشد. شکل ۴ نشان می‌دهد که صرف‌نظر از مقادیر متفاوت جذب تقریباً در همه pH ها جذب صورت گرفته و یون‌های فلزی از محلول حذف می‌شوند. این مسئله می‌تواند بیانگر کاربرد روشهای بیولوژیک حذف فلزات سنگین در pH های مختلف پسابهای صنعتی باشد. همچنین در شکل ۵ دیده می‌شود که یون‌های محلول در غلظتهای متفاوت کادمیم طی روند جذب کاهش می‌یابند و این مسئله می‌تواند بیانگر قابل استفاده بودن این روش برای حذف غلظتهای مختلف این فلز سنگین از پسابهای صنعتی باشد.



شکل ۳- میزان جذب یون‌های کادمیم برحسب زمان تماس با غلظتهای مختلف یون‌های کادمیم، pH برابر ۵ و غلظت ثابت بیومس $۳/۸\ mg/L^{-1}$



شکل ۴- میزان جذب یون‌های کادمیم برحسب زمان تماس با pHهای مختلف با غلظت ثابت کادمیم $۱۹\ gL^{-1}$ و غلظت ثابت بیومس $۳/۸mgL^{-1}$



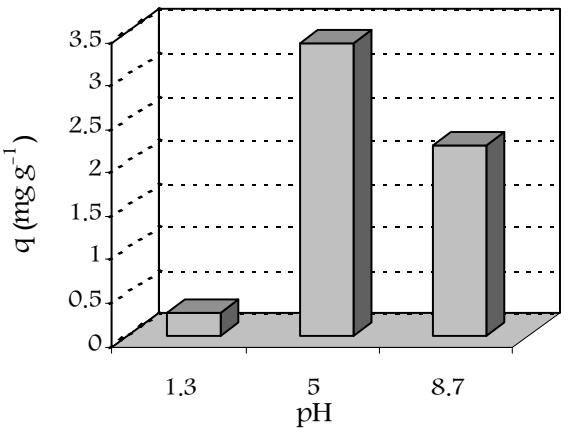
شکل۵- میزان جذب یون‌های کادمیم برحسب زمان تماس با غلظتهای مختلف بیومس، pH=۵ و غلظت ثابت کادمیم $۱۹\ mgL^{-1}$

۳-۲- اثر pH محلول بر روی میزان جذب یون‌های کادمیم توسط قارچ

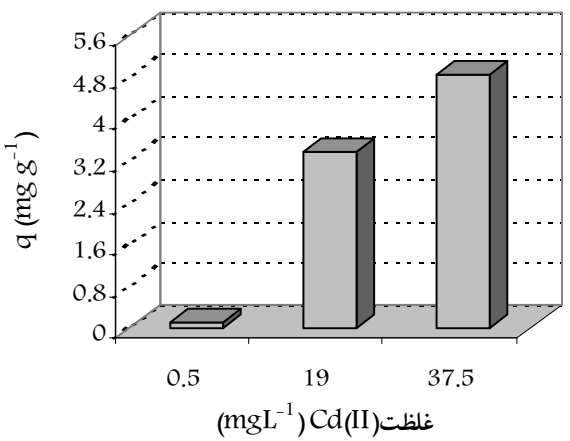
همان گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود اثر سه pH مختلف ۱/۳، ۵ و ۸/۷ بر روی میزان جذب یون‌های کادمیم توسط مخمر مورد بررسی قرار گرفته است. در pH برابر ۱/۳ میزان جذب کم بوده و با افزایش pH به ۵، میزان جذب نیز افزایش پیدا می‌کند. همچنین میزان جذب در pH=۷/۸ کمتر از pH برابر ۵ است. بنابراین pH=۵ که یک مقدار متوسط است بهترین pH در بین آزمایش‌های انجام شده برای جذب کادمیم، توسط سلول‌های مخمر *ساکاروما یسس سرویسیه* می‌باشد. تحقیقی در سال ۲۰۰۳ نشان داد که ظرفیت جذب مخمر *ساکاروما یسس سرویسیه* با فلز کادمیم همراه با افزایش pH، بیشتر می‌شود [۱۷]. مقدار ماکسیمم ظرفیت جذب در pH معادل ۶/۵ گزارش شده بود. با این حال افزایش بیشتر pH محلول باعث کاهش ظرفیت جذب بود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در تحقیقی دیگر تأثیر سه pH مختلف ۲، ۴ و ۶ بر جذب مس توسط مخمر *ساکاروما یسس سرویسیهٔ* آماده‌سازی شده توسط سود، بررسی گردید و pH=۶ به عنوان pH بهینه گزارش شد [۱۶].

۳-۳- اثر غلظت اولیه یون‌های کادمیم محلول بر روی میزان جذب

همان گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود میزان جذب یون‌های کادمیم توسط مخمر *ساکاروما یسس سرویسیه* با افزایش غلظت اولیه کادمیم بیشتر می‌شود، به طوری که میزان جذب در غلظت ۳۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر از غلظتهای ۰/۵ و ۱۹ میلی‌گرم بر لیتر است. اما با افزایش غلظت کادمیم میزان غلظت کادمیم باقی‌مانده در محلول پس از جذب، افزایش می‌یابد و این می‌تواند

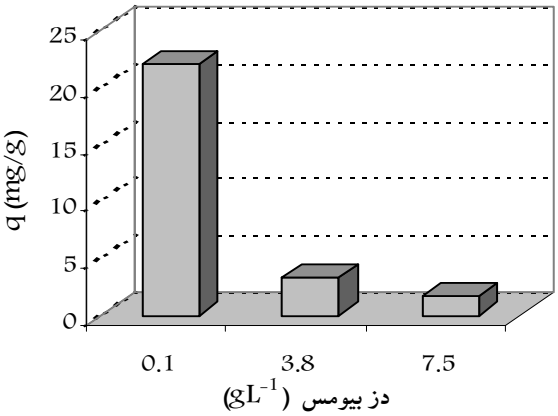


شکل ۶- تغییرات ظرفیت جذب بیومس (q,mg Cd^{2+}/g) ، اثر pH



شکل ۷- تغییرات ظرفیت جذب بیومس (q,mg Cd^{2+}/g)، اثر غلظت یون‌های کادمیم

به دلیل اشباع شدن ساختارهای سطحی مخمر باشد. همچنین در شکل ۵ می‌توان مشاهده کرد که جذب یون‌های فلزی در غلظت ۰/۵میلی‌گرم بر لیتر، پس از حدود ۲ دقیقه، در غلظت ۱۹ میلی‌گرم بر لیتر، پس از حدود ۵ دقیقه و در غلظت ۳۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز پس از حدود ۱۵ دقیقه ثابت می‌شود. نتایج مشابه با تحقیق حاضر حاکی از آن است که جذب با غلظتهای ۱۰ تا ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در ۵ دقیقه و از غلظت ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در ۳۰ تا ۶۰ دقیقه رخ داده است [۱۶].



شکل۸- تغییرات ظرفیت جذب بیومس(q, mg Cd^{2+}/g)، اثر غلظت بیومس *ساکاروما یسس سرویسیه*

۳-۴- اثر غلظت بیومس روی میزان جذب کادمیم

همان‌گونه که در شکل ۸ دیده می‌شود با افزایش میزان بیومس در شرایط یکسان از میزان جذب یون‌های کادمیم کاسته می‌شود و در واقع کمترین میزان بیومس یعنی ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر دارای بیشترین میزان جذب به‌ازای میلی‌گرم یون‌های کادمیم به گرم بیومس (میلی‌گرم فلز به گرم بیومس[1]) می‌باشد. علی‌رغم اینکه افزایش میزان بیومس باعث افزایش مکانهای جذب برای یون‌های فلزی می‌گردد، زمانی که غلظت بیومس در محلول پایین است علاوه بر جذب سطحی، یون‌های فلزی می‌توانند به داخل سلول‌ها نیز نفوذ کرده و در نتیجه میزان جذب به ازای هر گرم بیومس را افزایش دهند، در حالی که بالا بودن غلظت بیومس مانع از انجام چنین فرایندی می‌شود. توجیه دیگر این است که تراکم و تجمع فراوان اجزای سلول در غلظتهای زیاد بیومس اتفاق می‌افتد که باعث کاهش مکان‌های فعال برای جذب مناسب فلزات سنگین می‌گردد [۱۷]. در مطالعات دیگران نیز نتایج مشابهی گزارش شده است [۱۸ و ۱۹].

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه از مخمر *ساکاروما یسس سرویسیه* برای حذف کادمیم استفاده شد که جزء فلزات سمی و آلایندهٔ محیط زیست به شمار می‌رود و توانایی این مخمر در حذف فلز کادمیم از محلولهای آبی ارزیابی و شرایط مطلوب برای حذف کادمیم تعیین گردیده است. شرایط بهینه برای جذب فلز سنگین کادمیم با سلول‌های مرده مخمر که با اتانول ۷۰ درصد آماده‌سازی شده بود، برای pH، غلظت کادمیم و غلظت بیومس به ترتیب برابر با ۵، ۳۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۰/۱ گرم بر لیتر به‌دست آمد. بیشترین میزان جذب حاصله در این آزمایش‌ها برابر با ۲۵ میلی‌گرم بر گرم تعیین گردید. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که روش حذف یون‌های فلز کادمیم (حذف بیولوژیکی) از نظر تکنولوژیکی مورد تأیید و نسبت به روشهای متداول دارای صرفه اقتصادی است.

[1] Uptake Capacity (q)

۵- قدردانی

انجام تحقیق حاضر با استفاده از پشتیبانی مالی و علمی دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، صورت گرفته است. نویسندگان این مقاله بر خود واجب می‌دانند که مراتب تشکر و قدردانی را از خانم حقدوست، تکنیسین آزمایشگاه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ابراز دارند. همچنین از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به دلیل حمایتهای مالی و علمی انجام شده، قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

1- Marques, P. A. S. S., Rosa, M. F., and Pinheiro, H. M. (2000). "pH effects on the removal of Cu^{2+}, Cd^{2+} and Pb^{2+} from aqueous solution by waste brewery waste." *Bioprocess Eng.,* 23, 135-141.

2- Alkorta, I., Hernández-Allica Becerril, J. M., Amezaga, I., Albizu, I., and Garbisu, C. (2004). "Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic." *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.,* 3, 71-90.

3- Volesky, B. (1990). *Biosorption and biosorbents,* In: B. Volesky, ed., *Biosorption of heavy metals*, CRC press, Florida.

4- USEPA. (1985). *Drinking water criteria document on cadmium,* Office of Drinking Water, Washington, D.C.

5- USEPA. (1991). *Guidance for water quality-based decisions: The TMDL process,* Office of Water, Washington, D.C.

6- Veglio, F., and Beolchini, F. (1997)."Removal of metals by biosorption: a review." *Hydrometallurgy*, 44, 301-316.

7- Kapoor, A., and Viraraghavan, T. (1995). "Fungi biosorption an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: a review." *Bioresour. Technol.,* 53 (3), 195-206.

8- Schiewer, S., and Volesky, B. (1995). "Modeling of the proton-metal ion exchange in biosorption." *Environ. Sci. Technol.,* 29 (2), 3049-3058.

9- Goksungur, Y., Uren, S., and Guvenc, U. (2005). "Biosorption of cadmium and lead ions by ethanol treated waste bakers yeast biomass." *Bioresource Technology*, 96 (1), 103-109.

10- Eaton, A. D., Clesceri, L., and Greenbery, A. E., eds. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Ed., APHA, AWWA, WEF, Wshington, D.C.

11- Adamis, P. D. B., Panek, A. D., Leite, S. G. F., and Eleutherio, E. C. A. (2003). "Factors involved with cadmium absorption by a wild-type strain of saccharomyces cerevisiae." *Brazilian J. of Microbiology*, 34 (1), 55-60.

12- Zouboulis, A. I., Rousou, E. G., Matis, K. A., and Hancock, I. C. (1999). "Removal of toxic metals from aqueous mixtures, and Part 1: Biosorption." *J.Chem. Technol. Biotechnol.,* 74 (5), 429-436.

13- Brady, D., Stoll, A., and Duncan, J. R. (1994). "Biosorption of heavy metal cations by non-viable yeast biomass." *Environmental Tech.*, 15, 429-438.

14- Leusch, A., Holan, Z. R., and Volesky, B. (1995). "Biosorption of heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) by chemically-reinforced biomass of marine algae." *J. Chem. Technol. Biotechnol.,* 62 (3), 279-288.

15- Huang, C. P., Huang, C. P., and Morehart, A. (1990). "The removal of Cu (II) from dilute aqueous solutions by *Saccharomyces cerevisiae*." *Wat. Res.*, 24(4), 433-439.

16- Goksungur, Y., Uren, S., and Guvenc, U. (2003). "Biosorption of copper ions by caustic treated waste bakeros yeast biomass." *Turk. J. Biol.,* 27, 23-29.

17- Vasudevan, P., Padmavathy, V., and Dhingra, S. C. (2003). "Kinetics of biosorption of cadmium on bakers yeast." *Bioresource Technology,* 89 (3), 281-287.

18- Selatnia, A., Bakhti, M., Madani, A., Kertous, L., and Mansouri, Y. (2004). "Biosorption of Cd^{2+} from aqueous solution by a NaOH-treated bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass." *Hydrometallurgy,* 75 (1-4), 11-24.

19- Wang, J. L. (2002). "Biosorption of copper (II) by chemically modified biomass of *Saccharomyces cerevisiae*." *Process Biochem.,* 37 (8), 847-850.