

جذب زیستی یون‌های سرب از محلول آبی با استفاده از زیست‌توده موکور ایندیکوس مخمری شکل

وحید جوان‌بخت، حمید زیلوئی*، کیخسرو کریمی

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی شیمی

پیام نگار: hzilouei@cc.iut.ac.ir

چکیده

فلز سرب به عنوان فلزی سنگین و راهبردی است و آلودگی قابل توجه آن در محیط زیست، اهمیت زیادی در صنایع دارد. جذب زیستی یون‌های این فلز از محلول آبی توسط ریخت‌شناسی مخمری قارچ موکور ایندیکوس مورد بررسی قرار گرفت. برای افزایش میزان جذب، یک پیش‌فراوری اولیه توسط محلول هیدروکسید سدیم ۰/۲ مولار بر روی سلول‌های زیست‌توده انجام شد. pH بهینه به عنوان مهمترین پارامتر مؤثر در جذب زیستی سرب، ۵/۵ به دست آمد و در این pH حداکثر ظرفیت جذب سرب توسط مخمر $12/121 \pm 0/002$ (mg/g) تعیین شد. از معادله هو برای نشان دادن سینتیک جذب و از معادله لانگمویر برای بررسی همدمای جذب استفاده گردید.

کلمات کلیدی: جذب زیستی، موکور ایندیکوس، سرب، پساب صنعتی، زیست‌توده

۱- مقدمه

رسوبات شیمیایی، و در راستای آن، مشکل بازیافت فلزات از لجن حاصل وجود دارد. از سوی دیگر کاربرد روش‌های تبادل یون، جذب توسط کربن فعال و فرایندهای جداسازی غشایی در غلظت‌های پایین می‌توانند به صرف هزینه‌های زیادی بینجامند. علاوه بر آن، رزین‌های تبادل یونی همواره انتخابگری کافی را برای حذف مؤثر فلز حاضر در پساب ندارند. روش‌های زیست‌شناختی جداسازی فلز تحت عنوان زیست‌جذب^۱ در مورد محلول‌های با غلظت کم فلز، در مقایسه با سایر روش‌ها دارای هزینه پایین‌تر و بهره‌وری بالاتری هستند. علاوه بر آن، قابلیت بازیابی فلز، احیای جاذب، عدم نیاز به مواد مغذی اضافی و قابلیت عملیاتی در شرایط محیطی، از دیگر مزایای این روش‌ها است [۷-۴]. سرب به عنوان فلزی سنگین و راهبردی به طور وسیعی در کاربردهای صنعتی بسیار مهم مورد استفاده قرار

بر اثر پیشرفت‌های صنعتی مقادیر فراوانی از مواد زائد صنایع به عنوان پساب وارد محیط زیست می‌شوند که در این میان، فلزات سنگین جایگاه مهمی دارند. افزایش استفاده از فلزات و مواد شیمیایی در فرایندهای صنعتی و نیز پایداری و تخریب‌ناپذیری این مواد، سبب تجمع آنها در محیط زیست می‌گردد. لذا استفاده از روش‌های مناسب جهت جداسازی و حذف این مواد و در نتیجه کاهش خطرات ناشی از آنها ضروری است. روش‌های شیمیایی و فیزیکی به‌طور کلی در حذف توده فلزات از محلول‌های با غلظت بالا یا متوسط، مؤثر می‌باشند [۳-۱]. در مواردی که پساب با غلظت پایینی از یون‌های فلزی داشته باشیم، این فرایندها به‌صرفه یا مؤثر نیستند، ضمن اینکه مشکلاتی از قبیل تولید لجن‌های سمی ناشی از

1. Biosorption

ایندیکوس، رازیوپوس / اوریزا^۷ و آسپرژیلوس نایجر^۸ انجام دادند. طبق بررسی آن‌ها، فراوری دیواره سلولی توسط هیدروکسیدسیدیم به مقدار قابل ملاحظه‌ای جذب فلزات یادشده را افزایش می‌بخشد [۳]. آنها در بررسی دیگری زیست‌جذب یون‌های سرب، کادمیم، نیکل و روی را توسط موکور / ایندیکوس فراوری شده به‌وسیله هیدروکسیدسیدیم و محصورشده در یک ماتریس پلی‌سولفونی مورد مطالعه قرار دادند. این ماتریس کروی در یک ستون جذب به‌عنوان آکنه به‌کار رفت [۴]. توردی و همکارانش^۹ قارچ موکور / ایندیکوس کشت شده در غلظت‌های بالا و پایین مس را جهت تعیین پتانسیل جذب Cu(II) به‌کار بردند [۵]. سالگادو و همکارانش^{۱۰} جذب زیستی مس توسط دوگونه جهش یافته از موکور / ایندیکوس مقاوم درمقابل مس و گونه‌ای حساس به مس را مورد بررسی قرار دادند [۶].

قارچ موکور / ایندیکوس قابلیت جذب بالایی جهت جداسازی سرب از محلول آبی و همچنین، انتخاب‌گری مناسبی برای سرب از میان فلزاتی مانند روی، نیکل و مس از خود نشان می‌دهد [۱ و ۲]. با توجه به اهمیت فلز سرب در صنایع و آلودگی قابل توجه آن در محیط زیست، در پژوهش حاضر سعی بر این شد که بر جداسازی این فلز از محلول آبی تمرکز شود. جذب زیستی سرب به‌وسیله ریخت‌شناسی ریشه ای قارچ موکور / ایندیکوس توسط یان و ویراراقوان [۱] مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این‌که در زمینه جذب زیستی سرب توسط ریخت‌شناسی مخمری شکل قارچ موکور / ایندیکوس پژوهش مشخصی انجام نپذیرفته است، اثر این ریخت‌شناسی بر جذب زیستی سرب بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ زیست‌توده

قارچ موکور / ایندیکوس با شماره ۲۲۴۲۴ از کلکسیون دانشگاه گوتنبرگ توسط دانشگاه چالمرز سوئد تهیه و بر روی محیط جامدی حاوی گلوکوز (۴۰ گرم برلیتر)، پپتون (۱۰ گرم برلیتر)، و آگار (۱۵ گرم برلیتر)، نگهداری شد. جزء عملی مورد استفاده، گلوکوزمونوهیدرات (۳۰ گرم برلیتر) بوده و جهت رشد بهتر قارچ موکور ترکیبات جدول

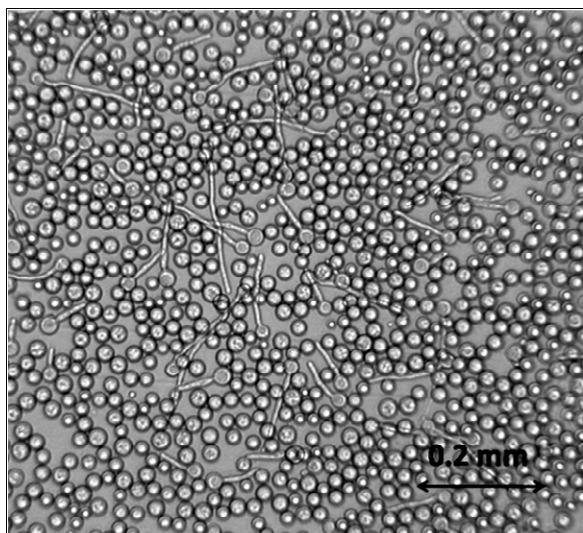
7. *Rhizopus oryzae*
8. *Aspergillus niger*
9. Torresdey et al.
10. Salgado et al.

می‌گیرد. آلودگی اصلی سرب ناشی از اتومبیل‌ها، کارخانجات باتری‌سازی، صنایع نساجی، رنگ، شیشه، چاپ و علل دیگر است. حد مجاز این فلز در آب آشامیدنی ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر است و مقادیر بالاتر آن مضرات مختلفی را به‌همراه دارد، بنابراین لازم است که پیش از تخلیه پساب‌های صنعتی حاوی سرب به فاضلاب شهری یا دفع آن در محیط زیست، نسبت به جداسازی این فلز از آنها اقدام گردد [۸ و ۹]. زیست‌توده‌های متنوعی برای جداسازی سرب مورد توجه قرار گرفته‌اند که از میان آنها بر زیست‌توده‌های قارچی از لحاظ اقتصادی تأکید بیشتری شده است. با توجه به اهمیت و کارایی زیست‌جذب، تحقیقات متنوعی در این زمینه انجام گرفته است. قارهای متعلق به رده زیگومیسیت‌ها^۱ از جمله موکور / ایندیکوس، به‌دلیل وجود بسپارهایی چون کیتین، کیتوزان و گلوکان در دیواره سلولی خود، دارای پتانسیل ویژه‌ای در زمینه جذب زیستی بوده و به‌عنوان جاذب‌های مؤثر فلزی شناخته می‌شوند. این قارچ‌ها یون‌های فلزی را توسط فعالیت لیگاندها یا گروه‌های عاملی واقع بر سطح خارجی سلول جذب و جمع‌آوری می‌کنند [۶-۱].

از جمله میکروارگانیسم‌های استفاده شده برای جذب زیستی، قارچ دی‌مورف^۲ (دوریکتی) موکور / ایندیکوس^۳ (موکور رکسی) است. این قارچ با توجه به شرایط محیط کشت، در دو شکل مخمری و ریشه ای تکثیر و رشد می‌کند. یان و ویراراقوان^۴ زیست‌جذب فلزاتی چون سرب، کادمیم، نیکل و روی را توسط زیست‌توده موکور / ایندیکوس زنده و نیز غیرزنده فراوری شده توسط هیدروکسیدسیدیم مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که این زیست‌توده قابلیت جذب بالایی جهت جداسازی این یون‌ها از محلول آبی دارد. هم‌چنین آن‌ها دریافتند که نقش pH در زیست‌جذب توسط موکور / ایندیکوس بسیار مهم و مؤثر است [۱]. لو و همکارانش^۵ قارچ‌ها و مخمرهای مختلفی از جمله فرم ریشه‌ای موکور / ایندیکوس را، جهت زیست‌جذب سرب از محلول آبی انتخاب کردند. آن‌ها تبادل یون را به‌عنوان مکانیزم غالب جذب زیستی سرب برای این قارچ معرفی کردند [۲]. بیک و همکارانش^۶ جذب زیستی فلزات سنگین از جمله مس، کادمیم، نیکل و روی را با استفاده از زیست‌توده‌های موکور

1. *Zygomycetes*
2. *Dimorph*
3. *Mucor indicus or rouxii*
4. Yan and Viraraghavan
5. Lo et al.
6. Baik et al.

اتوکلاو شده درون آن قرار داده شد و در دمای (۶۵-۵۵) درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. زیست توده کوبیده و خرد گردید و در نهایت پس از عبور از غربال با مش ۱۰۰ پودری با اندازه ذرات حداکثر ۱۵۰ میکرومتر حاصل شد.



شکل ۱- ریخت شناسی مخمری شکل موکوروبیندیکوس (تصویر توسط میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۸۰ برابر)

۲-۳ روش آنالیز

محلول های مایع نمونه برداری شده از فرایند جذب، به روش طیف سنجی و توسط دستگاه جذب اتمی^۲ ساخت شرکت باک^۳ (انگلیسی) آنالیز شد.

۲-۴ فرایند جذب سرب

محلول سرب مورد نظر با غلظت ۱۰ ppm از انحلال ۱۶ میلی گرم نمک نیترات سرب در ۱۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر بدون یون^۴ آماده شد. در مرحله بعد به کمک اسیدنیتریک ۰/۱ مولار و نیز هیدروکسیدسدیم ۰/۱ مولار pH محلول درمیزان موردنظر تنظیم و تثبیت شد. در انتهای کار درون ارلن های ۲۵۰ میلی لیتری مقدار ۷۵ میلی لیتر از محلول فلزی ریخته و درون تکاننده اینکوباتور با دمای ثابت ۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و پس از افزودن مقدار مشخص زیست توده به محلول، فرایند جذب سرب از محلول توسط

(۱) به محلول محیط کشت افزوده شد و pH آن به کمک محلول های اسیدسولفوریک و هیدروکسیدسدیم ۰/۱ مولار در حدود ۵/۵ تنظیم گردید [۱۰]. محلول حاصل به مدت ۲۰ دقیقه درون اتوکلاو و با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس ضد عفونی شد و سپس به کمک جریان گاز نیتروژن محیط کشت بی هوازی تهیه گردید.

جدول ۱- ترکیبات محیط کشت مایع [۱۰]

غلظت (g/Lit)	ترکیبات
۵	عصاره مخمر
۳/۵	فسفات دی هیدروژن پتاسیم
۱	کلرید کلسیم
۷/۵	سولفات آمونیوم
۰/۷۵	سولفات منیزیم

جهت دستیابی به ریخت شناسی مخمری شکل (شکل (۱)) از تلقیح $10^6 \times (6 \pm 3)$ اسپور اولیه استفاده گردید. جهت انجام فرایند تخمیر بی هوازی، بعد از مرحله تلقیح، ارلن ها به مدت ۷۲ ساعت درون تکاننده اینکوباتور با دمای ۳۲ درجه سلسیوس و دور rpm ۱۵۰ قرار گرفتند. در پایان این مدت، تعلیق حاوی زیست توده از یک صافی معمولی عبور داده شد و زیست توده جدا گردید. سپس زیست توده برجای مانده با آب مقطر کافی شستشو داده شد تا از محیط کشت باقی مانده عاری گردید. در مرحله بعد مایع عبور کرده از صافی که حاوی مقادیری از زیست توده است، توسط دستگاه سانتریفوژ (سانتریفوژ ۴ شاخه ساخت شرکت بهداد ایران)، به مدت (۱۵-۱۰) دقیقه و با دور rpm ۳۵۰۰ سانتریفوژ گردید و محیط کشت باقی مانده سرریز شد و زیست توده برجای مانده با آب مقطر شستشو و به زیست توده قبلی افزوده گردید.

۲-۲ روش پیش فراوری^۱ زیست توده

زیست توده حاصل از محیط کشت مایع پس از شستشو به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ۰/۲ مولار هیدروکسیدسدیم قرار داده شد و پس از آن، تعلیق برجای مانده صاف گردید و با مقدار کافی آب مقطر شستشو داده شد. سپس زیست توده حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو به دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس استریل شد. نهایتاً زیست توده

1. Pretreatment

2. Atomic Adsorbption Spectrometer
3. Buck
4. Deionized

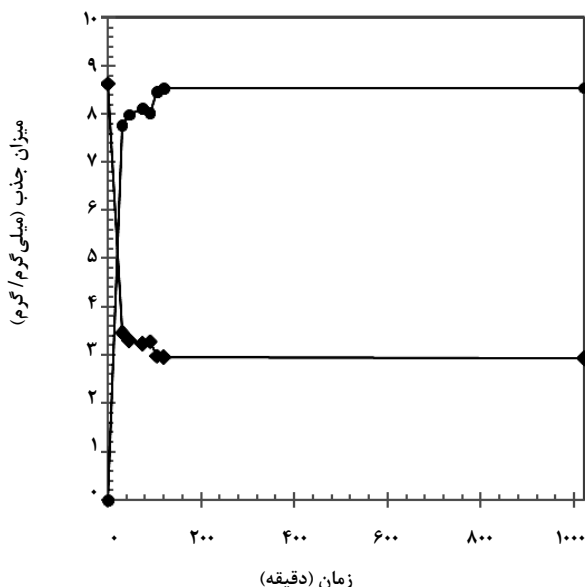
۳- نتایج و بحث

۳-۱ بررسی سینتیک و تکدمای جذب

در بررسی سینتیک انجام شده، مشاهده شد که فرایند جذب زیستی سرب، در دو فاز سریع اولیه و فاز آهسته ثانویه رخ می‌دهد. در فاز نخست زیست‌جذب سریعی رخ داده و در طی حدود ۲۰ دقیقه اکثر یون‌های فلزی محلول جذب زیست‌توده شدند و به دنبال آن فاز کند آغاز شده و حتی تا ۱۷ ساعت هم ادامه یافت (شکل (۲)). از سوی دیگر مقایسه مقادیر جذب تعادلی حاصل از تطبیق مدل هو [۱] با داده‌های آزمایشگاهی با مقدار تجربی، نشان‌دهنده انحراف بسیار کم نتایج از مدل بکار رفته و قابلیت اطمینان مناسب نتایج است (جدول (۲)).

جدول ۲- نتایج تطبیق داده‌های سینتیک جذب سرب توسط موکور ایندیکوس مخمری شکل با مدل هو

R^2 حاصل از تطبیق مدل	K (پارامتر مدل هو)	q_e حاصل از مدل هو (mg/g)	q_e تجربی (mg/g)
۱	۰/۰۱۹	۸/۵۶۲	۸/۵۳۵±۰/۰۰۲



شکل ۲- نتایج سینتیک جذب سرب توسط موکور ایندیکوس

مخمری شکل (●) سرب جذب شده به ازای هر گرم از زیست‌توده- (♦) غلظت سرب باقی‌مانده (mg/L)

زیست‌توده، با سرعت چرخش ۱۲۵rpm و در مدت معین انجام گرفت. لازم به ذکر است که آزمون‌ها به صورت دوتایی^۱ انجام شدند و توسط نمونه شاهد^۲ تحت کنترل قرار گرفتند. نمونه‌گیری در زمان‌های مختلف ۱۲۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۱۲۰۰ دقیقه انجام و نمونه‌ها در ۷۸۰۰rpm به مدت ۶ دقیقه سانتریفوژ، و برای تعیین غلظت سرب باقی‌مانده آنالیز شدند. میزان جذب یون‌های سرب توسط زیست‌توده با رابطه (۱) تعیین گردید [۱۲].

$$q_e = (C_0 - C_e) \times \frac{V}{m} \quad (1)$$

q_e میزان ماده جذب شده به ازای هر گرم از زیست‌توده (mg/g) در حال تعادل، C_0 و C_e به ترتیب غلظت اولیه و غلظت سرب در تعادل (انتهای جذب) (حجم/جرم)، V حجم محلول و m جرم ماده جذب (زیست‌توده) می‌باشند. برای توصیف سینتیک جذب از معادله هو^۳ (رابطه ۲) استفاده شد.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{2Kq_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2)$$

که q_t میزان یون‌های جذب شده (mg/g) در زمان داده شده t (h) و K ثابت سرعت واکنش جذب (g/mg.h) است [۱۵-۱۳].

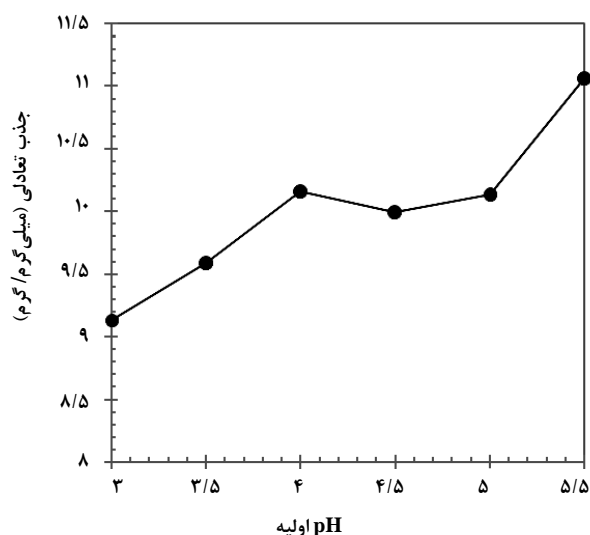
پس از تعیین زمان رسیدن به تعادل جذب، برای بررسی تکدمای جذب، تأثیر pH محلول، غلظت زیست‌توده و نیز غلظت اولیه فلز بر فرایند جذب زیستی، فرایند جذب برای مدت تعادل و در شرایط مختلف از لحاظ pH، غلظت فلز و زیست‌توده، انجام گردید. برای بیان تعادل جذب، از تکدمای لانگمویر استفاده گردید که معادله آن با رابطه (۳) نشان داده می‌شود. در این رابطه K ثابت مربوط به آنتالپی خالص جذب (Lit/mg) و q_{max} حداکثر ظرفیت جذب می‌باشد [۱۷].

$$q_e = \frac{q_{max} K C_e}{1 + K C_e} \quad (3)$$

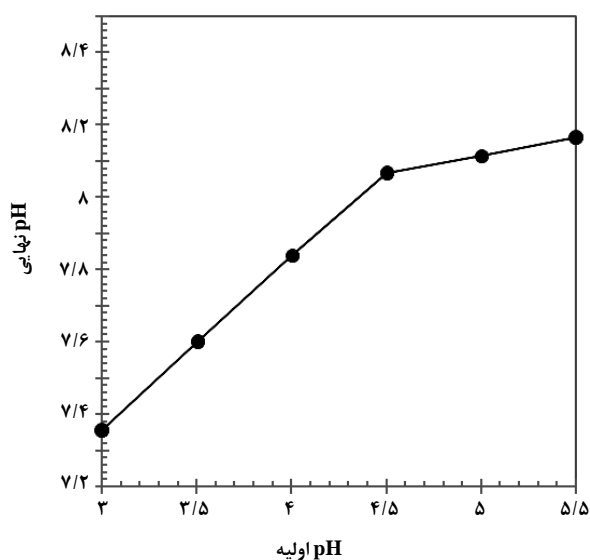
1. Duplicate
2. Blank
3. Ho

مقادیر بالاتر از $\text{pH}=6$ ، روش‌های رسوبی برای جداسازی فلز سنگین از محلول مفید می‌باشند.

در بخشی دیگر نحوه تغییرات pH محلول فلزی بررسی شد (شکل (۵)). با افزایش pH محلول اولیه فلزی، pH نهایی محلول پس از انجام فرایند جذب بالا می‌رود. میزان افزایش مشاهده شده در pH نهایی مخلوط واکنش می‌تواند به دلیل جذب یون‌های هیدروژن از محلول آبی توسط قارچ و یا خنثی شدن H^+ به وسیله OH^- آزاد شده از زیست‌توده باشد [۱].

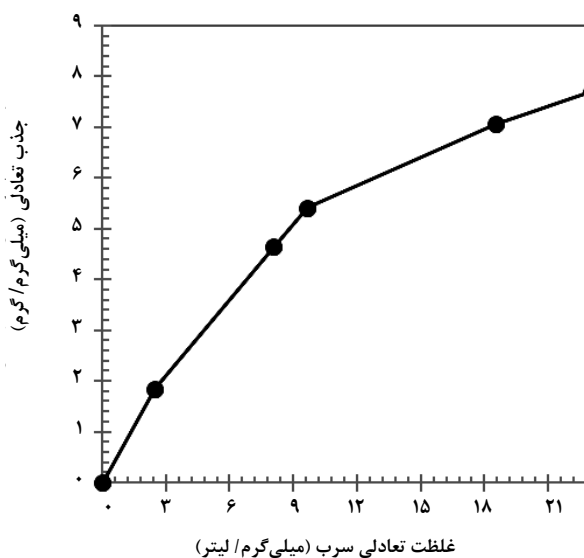


شکل ۴- تأثیر pH اولیه محلول بر میزان جذب زیستی سرب



شکل ۵- تغییرات pH محلول فلزی در اثر فرایند جذب زیستی سرب

مدل لانگمویر از جمله مناسبترین مدل‌های تک‌دامی جذب تعادلی برای سیستم‌های با یک ماده حل‌شونده می‌باشد [۱] که با تطبیق انجام شده داده‌های جذب با این مدل، نتایج قابل قبول با انحراف اندکی از مدل به دست آمد. حداکثر ظرفیت جذب q_{max} به دست آمده از تطبیق مدل لانگمویر برای جذب سری توسط مخمر مورد نظر، $12/121 \pm 0/02$ (mg/g) بود.

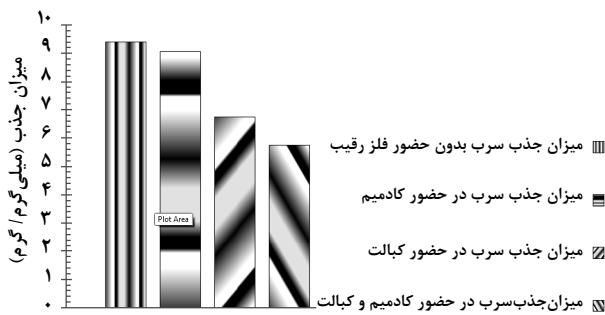


شکل ۳- تک‌دامی جذب ریخت‌شناسی مخمری موکور ایندیکوس خالص در دمای 20°C

۲-۲ بررسی اثر pH بر جذب زیستی سرب

pH به‌عنوان مهمترین پارامتر در زیست‌جذب مطرح است. نتایج شکل (۴) نشان داد که با افزایش pH اولیه محلول فلزی، ظرفیت جذب نیز افزایش می‌یابد. سایت‌های سطحی جذب فلز واقع بر زیست‌توده و نیز ویژگی‌های شیمیایی محلول آبی، در تأثیر pH بر جذب سرب دخیل هستند. در pH پایین، لیگاند‌های دیواره سلولی زیست‌توده با یون‌های هیدرونیوم (H_3O^+) پیوند برقرار کرده و در اثر نیروهای دافعه ایجاد شده، اجازه نزدیکی یون‌های مثبت فلزی به زیست‌توده را نمی‌دهند [۱ و ۲]. در این پروژه، در $\text{pH}=5/5$ بیشترین میزان جذب مشاهده شد و لذا این pH به‌عنوان میزان بهینه برای فرایند جذب انتخاب شد. در pH ‌های بسیار بالا به دلیل رسوب کردن سرب و یا از بین رفتن زیست‌توده، جذب زیستی فلز رخ نمی‌دهد که در $\text{pH}=6$ این پدیده اتفاق افتاد. در این صورت به نظر می‌آید که در

محلول، بر جذب یون توسط موکور اثر گذاشته و باعث کاهش جذب نسبت به حالتی که تنها یک یون در محلول حضور داشته باشد، می‌گردد و این نشان‌دهنده وجود پیوندهای رقیب با سطح سلول است که در جذب بر سطح جاذب با یون فلزی مورد نظر یعنی سرب رقابت می‌کنند، هرچند در مقایسه با سیستم تک‌یونی، ظرفیت زیست‌جذب کلی افزایش می‌یابد [۱۷].



شکل ۷- تأثیر حضور یون‌های رقیب بر فرایند جذب

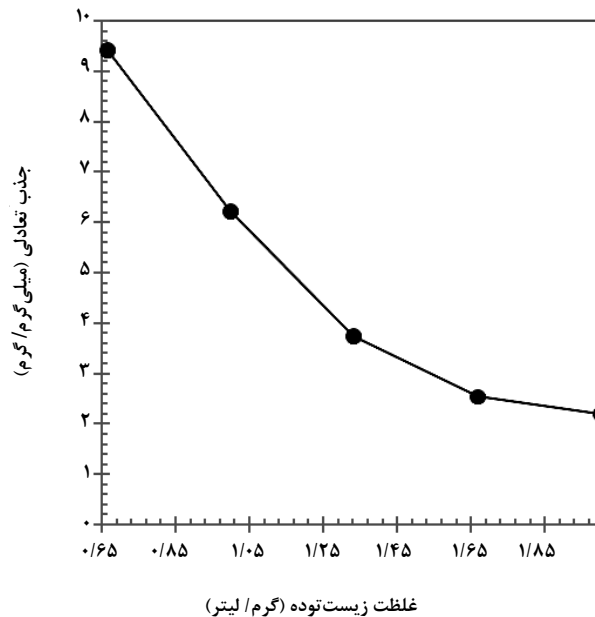
۳-۵ بررسی اثر غلظت اولیه محلول فلزی بر جذب زیستی سرب

برای مقادیر بیشتر غلظت اولیه محلول، همانگونه که شکل (۸) نشان می‌دهد، درصد جذب فلز کاهش می‌یابد که این می‌تواند به دلیل کمبود سطح کافی برای جذب فلز بیشتر باشد که در محلول با غلظت بالاتر در دسترس است. در غلظت‌های پایین‌تر، یون‌های فلزی قادرند با سایت‌های جذب موجود بر سطح جاذب برهم‌کنش داشته باشند و لذا درصد جذب بیشتری هم انجام می‌شود. در غلظت‌های بالاتر به دلیل اشباع شدن سایت‌های جذب، درصد جذب هم کاهش می‌یابد [۱۱]. در نتیجه می‌توان گفت بازدهی جداسازی فلز سنگین با کاهش غلظت محلول فلزی، افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه از موکور/بندیکوس مخمری شکل برای حذف سرب از محلول آبی استفاده شد که جزء فلزات سمی و آلاینده محیط زیست به‌شمار می‌رود. pH بهینه به عنوان مهمترین پارامتر مؤثر در جذب زیستی، برای حذف سرب از محلول آبی توسط مخمر مرده فرآوری شده با هیدروکسید سدیم ۰/۲ مولار، ۵/۵ به‌دست‌آمد و در این pH حداکثر ظرفیت جذب سرب توسط مخمر

۳-۳ بررسی اثر میزان زیست‌توده بر جذب زیستی سرب
 غلظت زیست‌توده در محلول، میزان جذب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همان‌طور که از نتایج بررسی انجام شده در شکل (۶) مشخص است، برای مقادیر کمتر غلظت زیست‌توده، میزان جذب مخصوص افزایش یافت. این نتیجه در مورد همه ریخت‌شناسی‌ها مشابهت زیادی نشان داد. بیشترین میزان ظرفیت جذب را در حالتی مشاهده کردیم که کمترین مقدار زیست‌توده مورد استفاده قرار گرفت یعنی ۰/۰۵ گرم از زیست‌توده در ۷۵ میلی‌لیتر محلول فلزی یا همان غلظت ۰/۶۶۷ گرم بر لیتر. افزایش غلظت زیست‌توده منجر به تداخل سایت‌های پیوندی می‌شود و با کاهش امکان پیوند یون فلزی با دیوارهٔ قارچ، سبب کاهش میزان ظرفیت جذب می‌گردد [۷].



شکل ۶- تأثیر میزان زیست‌توده بر ظرفیت جذب زیستی سرب

۳-۴ بررسی اثر حضور یون‌های فلزی رقیب بر جذب زیستی سرب

حضور سایر یون‌های فلزی در محلول فلزی، از دیگر عوامل مؤثر بر جذب یون سرب از محلول است. جذب رخ داده شده در حالتی که فلز سرب به‌تنهایی در محلول موجود است قابل توجه می‌باشد. بر اساس نتایج شکل (۷)، این میزان در حضور یون‌های کادمیم و نیز کوبالت کاهش یافت و در حضور هم‌زمان، دو یون کادمیم و کوبالت بیشترین کاهش را نشان دادند. حضور یون‌های فلزی رقیب در

- [4] Yan G., Viraraghavan T., "Heavy metal removal in a biosorption column by immobilized *M. rouxii* biomass", *Bioresource Technology* 78, 243-249, (2001).
- [5] Torresdey J.L.G., Aguilera I.C., Tiemann K.J., Webb R., and Corona F.G., "Copper binding by inactivated cells of *Mucor indicus*", *Proceedings of the 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research*, Chemistry Department, University of Texas at El Paso, (1995).
- [6] Salgado P.R., Aguilar S.C., Herrera A.O., Luna L.S., Lopez F.A., Diaz G.M., Corona F.G., "Copper Resistance and Accumulation in the Zygomycete *Mucor rouxii*", *Current Microbiology* 33, 163-166, (1996).
- [7] Ahalya N., Ramachandra T.V., Kanamadi R.D., "Biosorption of Heavy Metals", *Research Journal of Chemistry and Environment* 7, 71-79, (2003).

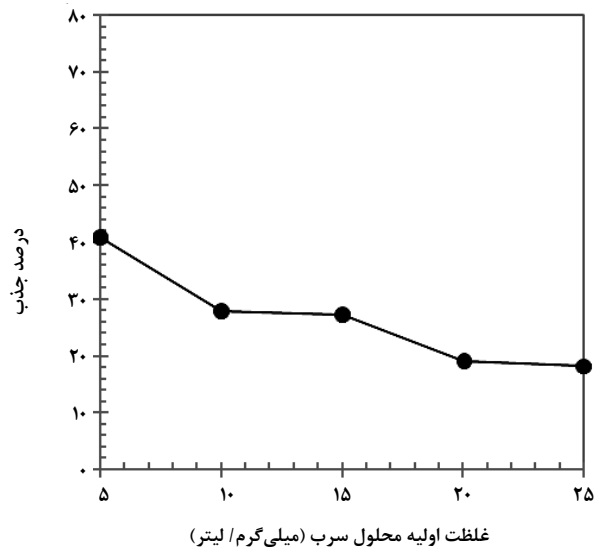
[۸] اسماعیلی ساری، ع، "آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست"، نقش مهر، تهران، چاپ اول، ۱۵۵-۱۱۶، ۱۳۸۱.

[۹] دبیری، م، "آلودگی محیط زیست: هوا-آب-خاک-صوت"، نشراتحاد، تهران، چاپ اول، ۱۲۳-۸۵، ۱۳۷۹.

[10] Sharifia M., Karimi K., Taherzadeh M.J., "Production of ethanol by filamentous and yeast-like forms of *Mucor indicus* from fructose, glucose, sucrose, and molasses", *J Ind Microbiol Biotechnol*, 35, 1253-1259, (2008).

[۱۱] ترکیان، الف- احمدی، م، بیوتکنولوژی زیست محیطی: مبانی و کاربردها، چاپ اول، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف تهران، چاپ اول، ۴۹-۲۳، ۱۳۸۵.

- [12] Kumar Y.P., King P., Prasad V.S.R.K., "Zinc biosorption on *Tectona grandis* L.f. leaves biomass: Equilibrium and kinetic studies", *Chemical Engineering Journal* 124, 63-70, (2006).
- [13] Li Q., Chai L., Yang Z., Wang Q., "Kinetics and thermodynamics of Pb(II) adsorption onto modified spent grain from aqueous solutions", *Applied Surface Science* 255, 4298-4303, (2009).
- [14] Li X., Liao D., Xu X., Yang Q., Zeng G., Zheng W., Guo L., "Kinetic studies for the biosorption of lead and copper ions by *Penicillium simplicissimum* immobilized within loofa sponge", *Journal of Hazardous Materials* 159, 610-615, (2008).
- [15] Nadeem R., Hanif M.A., Shaheen F., Perveen S., Zafar M.N., Iqbal T., "Physical and chemical modification of distillery sludge for Pb(II) biosorption", *Journal of Hazardous Materials* 150, 335-342, (2008).



شکل ۸- تأثیر غلظت اولیه محلول بر درصد جذب سرب

($12/121 \pm 0/002$) (mg/g) تعیین گردید. از طرف دیگر میزان جذب با افزایش pH محلول تا سقف ۵/۵، کاهش غلظت اولیه فلز در محلول، کاهش غلظت زیست‌توده مصرفی برای جذب و عدم حضور یون‌های جذب‌شونده رقیب در محلول، افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که حذف سرب از محلول آبی به روش جذب زیستی روشی مؤثر است و توانایی جذب زیستی سرب توسط ریخت‌شناسی مخمری موکور/یندیکوس با ریخت‌شناسی ریشه‌ای ($25/22$ (mg/g) [۱] و پایین‌تر از آن قابل مقایسه است.

مراجع

- [1] Yan G., Viraraghavan T., "Heavy-metal removal from aqueous solution by fungus *Mucor rouxii*", *Water Research* 37, 4486-4496, (2003).
- [2] Lo W., Chua H., Lam K.H., Bi S.P., "A comparative investigation on the biosorption of lead by filamentous fungal biomass", *Chemosphere* 39, 2723-2736, (1999).
- [3] Baik W.Y., Bae J.H., Cho K.M., Hartmeier W., "Biosorption of heavy metals using whole mold mycelia and parts thereof", *Bioresource Technology* 81, 167-170, (2002).