

مکانیسم جذب زیستی فلز نیکل از پسابهای آلوده به وسیله باکتری *Bacillus sp. Strain MGL-75*

سلمان احمدی اسب چین^۱

ناصر جعفری^۲

احمدعلی پوربابایی^۳

(دریافت ۹۰/۵/۱ پذیرش ۹۱/۳/۱)

چکیده

در این مقاله باکتری باسیلوس *Bacillus sp. Strain MGL-75* از کارخانه آب فلز کاری تهران جدا شد و به عنوان جاذب بیولوژیک برای جذب زیستی فلز نیکل در راکتور بیج مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌های اولیه، سینتیک و ایزوترم جذب نیکل در اسیدیتته حدود ۶/۵ انجام شد. ایزوترم جذب به وسیله معادله لانگمیر و فروندلیچ صورت گرفت. زمان تعادل در حدود ۵ دقیقه بود که بیشینه میزان جذب فلز نیکل به وسیله باکتری مذکور ۰/۵۲ میلی مول بر گرم وزن خشک سلول است. نقطه دارای بار صفر پروتون (PZNPC) در pH برابر ۵/۷ به دست آمد. با استفاده از روش برون‌زایی گروه‌های pka داخلی مقادیر $pka_1=4.4$ ، $pka_2=6.9$ و $pka_3=11.2$ حاصل گردید. مکانیسم جذب از نوع تبادل یونی بود. میزان ۸۰ درصد جذب، غیر وابسته به متابولیسم و حدود ۲۰ درصد وابسته به متابولیسم است. اثر اتوکلاو، ۲ و ۴-دی نیترو-فنل، سدیم آزید بر روی جذب، مورد مطالعه قرار گرفت. اثر عوامل رهاساز مانند اسیداستیک و اسیدکلریدریک بر رهاسازی یون نیکل بررسی شد. سپس اثر اسیدیتته بر روی جذب فلز نیکل مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج نشان می‌دهد، باسیلوس مورد مطالعه کاندیدای مناسبی برای حذف فلز نیکل از محلولهای آلوده در راکتور است.

واژه‌های کلیدی: نیکل، جذب زیستی، باسیلوس، پساب، جداسازی بیولوژیک

Mechanism of Biosorption of Nickel Ions from Polluted Effluent by *Bacillus sp. Strain MGL-75*

Salman Ahmady Asbchin¹

Naser Jafari²

Ahmad Ali Pourbabae³

(Received July. 22, 2011 Accepted May. 21, 2012)

Abstract

The aim of this work was to investigate *Bacillus sp. strain MGL-75* as biosorbent, for the fixation of Ni ion in batch reactor. Pollution of the environment by toxic metals is a major environmental concern. In a first step, biosorption kinetics and isotherms have been performed at pH 7. The equilibrium time was about 5 min and the adsorption equilibrium data were well described by the Langmuir's equation. The point of zero net proton charge (PZNPC) was found close to pH 5.7. Using the single extrapolation method, three kinds of acidic functional groups with three intrinsic pK_a were determined at 4.4, 6.9 and 11.2. The maximum capacity has been extrapolated to 0/52 mmol/g. Finally the effect of autoclave, 2, 4 Dinitrophenol (DNF) and Na-Azid (NaN_3), and the effect of pH values, were studied. These results indicated that the *Bacillus sp. strain MGL-75* is an excellent candidate for use in reactor to remove Nickel ions from polluted aqueous effluents.

Keywords: Nickel, Biosorption, *Bacillus*, Wastewater, Biologic Separation.

1. Assist. Prof. of Biology, Faculty of Sciences, Ilam University, Ilam (Corresponding Author) (+98 841) 2234860 sahmadyas@yahoo.com
2. Assist. Prof. of Biology, Faculty of Sciences, Mazandaran University, Babolsar
3. Assist. Prof. of Biotechnology and Soil Sciences, Karaj Pardis of Agriculture, Tehran University, Karaj

۱- استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ایلام (نویسنده مسئول) sahmaadyas@yahoo.com (۰۸۴۱) ۲۲۳۴۸۶۰

۲- استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه مازندران، بابلسر

۳- استادیار گروه بیوتکنولوژی و علوم خاک، پردیس کشاورزی کرج، دانشگاه تهران، کرج

غلظتهای مجاز یون‌های فلزات سنگین بر طبق نظر آژانس حفاظت از محیط زیست^۲ کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر است [۷، ۸ و ۹]. از مهم‌ترین مکان‌های اتصال فلز در باکتری‌ها، کپسول و لایه چسبناک است که به‌عنوان یک بافر بین باکتری و محیط بیرون عمل می‌کند و جنس اکثر آنها پلی‌ساکاریدی است و واجد گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیل، آمین و غیره هستند که در اتصال به فلز نقش دارند. وولسکی^۳ نقش این ترکیبات را در جذب بیولوژیکی میکربی اثبات کرد [۱۰، ۱۱ و ۱۲].

ته‌نشینی، اکسیداسیون و احیای شیمیایی، تعویض یونی، اسمز معکوس، جداکننده‌های غشایی، واکنش الکتروشیمیایی و تبخیر از روشهای رایج برای جداسازی فلزاتی نظیر نیکل، سرب، مس و کادمیمی است که از طریق فاضلابهای صنعتی وارد آب و خاک می‌گردند که هر کدام واجد محدودیتهایی هستند [۱۳]. از مزایای استفاده از باکتری‌ها، کارایی خوب آنها و قابل بازیافت بودن فلزات است. تهیه محیط کشت نسبتاً گران قیمت نیز از معایب آن است.

هدف از این تحقیق استفاده از باکتری باسیلوس^۴ برای جذب زیستی فلز نیکل در راکتور بچ^۵ بود. مطالعه سینتیک و ایزوترم جذب نیکل به‌وسیله باکتری انجام گرفت. مکانیسم جذب و بررسی نوع جذب باکتری از روش غیر وابسته به متابولیسم وابسته به متابولیسم صورت گرفت. اثر، اتوکلاو، ۴،۲ دی نیترو فنل و سدیم آزید روی جذب مطالعه شد. اثر عوامل رهاساز مانند اسید استیک و اسید کلریدریک بر رهاسازی یون نیکل بررسی شد. آنگاه اثر اسیدیته روی جذب فلز نیکل بررسی گردید.

۲- مواد و روشها

۲-۱- ماده جاذب

در انجام این تحقیق از باکتری میله‌ای شکل، گرم مثبت، اسپوردار باسیلوس جدا شده از پساب کارخانه ذوب فلزات جنوب شهر تهران به‌عنوان جاذب استفاده شد و برای کشت باکتری مورد نظر از محیط کشت نمک معدنی^۶ استفاده شد. برای بررسی مکانیسم جذب، پارامترهای سینتیک ایزوترم انتخاب شدند. بهینه‌سازی اسیدیته برای استفاده از آن در ادامه آزمایش‌ها بود. بررسی نوع جذب فعال و غیر فعال نشان می‌دهد استفاده از بیومس در حالت غیر فعال و مرده، مقرون به‌صرفه‌تر است زیرا در صورت جذب در حالت غیر فعال نیاز به تهیه محیط کشت مغذی برای زنده بودن باکتری در راکتور بچ نیست.

یکی از نگرانی‌های امروزی محققان و صاحبان صنایع، حفظ محیط زیست از آلودگی‌هایی است که به‌وسیله صنایع و فناوری‌های مدرن ایجاد می‌شود. از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست، می‌توان به نیکل اشاره کرد. حضور این فلز و ترکیبات آن حتی در مقادیر بسیار کم در صنایع خطرناک است و باید تا حد امکان حذف شود اما آنجایی که روشهای جداسازی شیمیایی و فیزیکی نیکل محدودیت دارند، جذب بیولوژیکی به‌عنوان روش مناسبی برای حذف مقادیر کم فلزات سنگین از فاضلابهای صنعتی مطرح می‌گردد. پایداری فلزات سنگین و تمایل آنها به تجمع در موجودات زنده آنها را از دیگر آلاینده‌های سمی متمایز می‌کند. بنابراین حذف فلزات سنگین از فاضلابها موضوع مهمی در بهداشت عمومی جامعه محسوب می‌شود. طبق بررسی‌های سازمان بهداشت جهانی^۱ مشخص شد که تعداد زیادی از مردم به شیوه‌های مختلف در معرض خطرات بهداشتی ناشی از فلزات سنگین قرار دارند. عموماً جداسازی فلزات سنگین از دو دیدگاه اهمیت دارد، جداسازی و خنثی کردن اثرات فلزات سنگین سمی از پسابهای صنعتی، زهکشی‌های کشاورزی و معادن و از طرفی دیگر احیا و بازیافت فلزات با کاهش تدریجی منابع معدنی موضوعی. پژوهش‌های مختلف نشان داد که روشهای بیولوژیکی می‌توانند شرایط اقتصادی بهینه و کارآمدی را در مقایسه با سایر روشهای فیزیکی- شیمیایی فراهم کنند. در چند دهه اخیر استفاده از عوامل بیولوژیکی برای حذف و بازیافت فلزات سمی از آبهای آلوده مورد بررسی قرار گرفته است [۱، ۲ و ۳].

جداسازی این مواد سمی می‌تواند به‌وسیله ترکیبات ترشح شده از سلولها مثل انواع متابولیت‌های سلولی، ترکیبات پلی‌ساکاریدی و دیگر اجزای دیواره سلولی انجام شود. مکانیسم جذب به‌وسیله سلولهای مرده و زنده با هم تفاوت دارد و میزان جذب، ظرفیت پذیرش و تغلیظ فلزات در میکروارگانیسم‌های مختلف نیز یکسان نیست.

فاضلابی که به تصفیه خانه شهری می‌رسد، از طریق سه منبع مختلف شامل فاضلاب خانگی، نشت آب و پساب صنعتی به شبکه فاضلاب وارد می‌شود. مجموعه فاضلاب حاصله از این سه منبع را فاضلاب شهری یا فاضلاب بهداشتی می‌گویند [۴، ۵ و ۶].

نگرانی زمانی افزایش می‌یابد که روشهای فیزیکی- شیمیایی برای تصفیه چنین پسابهایی نتواند با استانداردهای محیط زیستی تطبیق کند، زیرا بیشتر روشهای فیزیکی- شیمیایی زمانی که غلظت فلزات سنگین و سمی در محیط‌های آلوده در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، غیر مؤثر بوده و اقتصادی نیستند. درحالی که

^۱ World Health Organization (WHO)

^۲ Environmental Protection Agency (EPA)

^۳ Volesky

^۴ *Bacillus* sp. Strain MGL-75

^۵ Batch Reactor

^۶ Glucose Mineral Salts (GMS)

۲-۲- اندازه‌گیری فلز نیکل

اندازه‌گیری و آنالیز فلز نیکل قبل و بعد از هر آزمایش با استفاده از دستگاه جذب اتمی^۱ انجام شد.

۳-۲- بررسی سینتیک فلز نیکل توسط باسیلوس

سديم-آزید^۵ و ۲ و ۴ دی نیترو فنل^۶ قرار گرفت. سپس بیومس با بافر تریس شستشو داده شد. برای انجام این آزمایش سلولها به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو با فشار ۱/۵ پوند بر اینچ مربع و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس قرار داده شدند. در این حرارت سلولها کشته شدند. در نهایت به منظور نشان دادن غیر فعال شدن باکتری‌ها، سلولهای تیمار شده با روشهای مذکور به روش خطی در محیط‌های نوترینت آگار کشت داده شدند.

آزمایش‌های مربوط به سینتیک جذب فلز نیکل توسط باکتری در یک راکتور کوچک ۱ لیتری با ۰/۰۹ گرم از باکتری انجام شد. تنظیم اسیدیته در محدوده ۶/۵ به وسیله هیدروکسید سدیم^۲ و اسید کلریدریک^۳ انجام شد. کشت ۲۴ ساعته باکتری با آب مقطر بدون یون شسته و سپس ۰/۰۹ گرم بیومس باکتری با محلول فلزی نیکل تیمار شد و میزان جذب در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- سینتیک جذب نیکل

شکل ۱ نشان می‌دهد که ظرفیت جذب فلز نیکل در ۵ دقیقه اول بسیار سریع و قابل ملاحظه است. این میزان می‌تواند مربوط به جذب غیر وابسته به متابولیسم توسط باسیلوس مورد نظر باشد. با گذشت زمان، میزان جذب فلز نیکل به وسیله باکتری مذکور به کندی افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که این مقدار افزایش، مربوط به جذب فعال نیکل توسط باکتری باشد که بسیار جزئی است. جذب فعال، وابسته به متابولیسم سلول است. مدت زمان تعادل جذب در حدود دو ساعت است که این زمان در بحث استفاده از میکروارگانیسم‌ها در صنعت از اهمیت خاصی برخوردار است.

۴-۲- بررسی ایزوترم جذب فلز نیکل توسط باسیلوس

برای بررسی ایزوترم جذب فلز نیکل توسط باکتری باسیلوس از معادله لانگمیر^۴ استفاده شد.

$$q_e = \frac{q_m b_L C_e}{1 + b_L C_e} \quad (1)$$

که در این رابطه

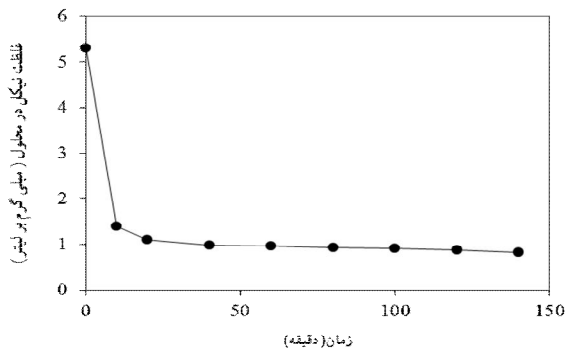
C_e غلظت نیکل در محلول در حالت تعادل بر حسب میلی‌مول در لیتر، q_e غلظت نیکل روی جاذب در حالت تعادل بر حسب میلی‌مول بر گرم، q_m حداکثر غلظت جذب بر حسب میلی‌مول بر گرم و b_L ثابت تعادل بر حسب لیتر در میلی‌مول است.

۵-۲- بررسی اثر pH محلول فلزی در جذب فلز نیکل

برای این منظور نمونه‌های حاوی محلول فلزی نیکل در محدوده pHهای ۲ تا ۱۰ با فاصله ۱ واحد تهیه گردید. هر تیمار ۳ بار انجام شد. در این آزمایش مدت زمان مجاورت ۲ ساعت، دما ۳۰ درجه سلسیوس و تعداد دورهای شیکر ۱۵۰ دور در دقیقه بود. محلولهای فلزی حاوی باکتری به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفوژ با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفتند. در نهایت به منظور بررسی کارایی و ظرفیت جذب، رسوب یعنی بیومس و محلول رویی آن توسط دستگاه جذب اتمی آنالیز شد.

۶-۲- مطالعه نوع جذب فعال یا غیر فعال فلز نیکل توسط باکتری

برای به دست آوردن باکتری غیر فعال، ابتدا سلولهای باکتریایی در بافر تریس ۰/۱ مولار حاوی ۳۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌مولار



شکل ۱- بررسی سینتیک جذب نیکل به وسیله باکتری (اسیدیته حدود ۶/۵، دمای ۳۰ درجه سلسیوس، غلظت فلز ۶ میلی‌گرم در لیتر)

۲-۳- ایزوترم جذب نیکل

با توجه به شکل ۲ با افزایش غلظت محیطی فلز، میزان جذب فلز نیکل نیز توسط باکتری افزایش می‌یابد. منحنی ایزوترم در محلول دارای اسیدیته حدود ۶/۵ محاسبه شد و مشخص شد که از مدل معادله لانگمیر پیروی می‌کند. حداکثر میزان جذب بر اساس مدل لانگمیر برابر ۰/۵۲ میلی‌مول بر گرم است (شکل ۳ و جدول ۱). این آزمایش‌ها در آب دوبار تقطیر انجام شد. در ادامه آزمایش از آب معمولی (آب شیر) استفاده شد. ایزوترم جذب نیکل در آب شیر

¹ Atomic absorption Spectrometer

² NaOH

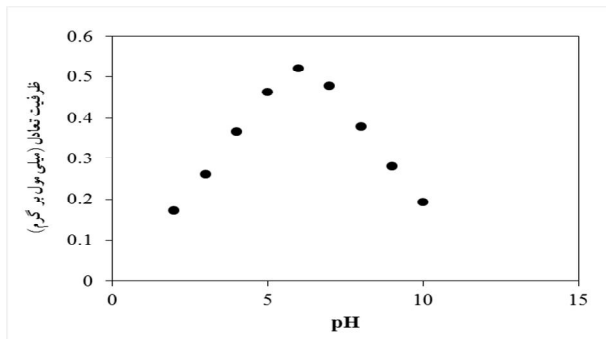
³ HCl

⁴ Langmuir equation

⁵ Sodium Azid (NaN₃)

⁶ 2, 4-Dinitrophenol (DNP= C₆H₄N₂O₅)

جهت اتصال به گروههای سطحی باکتری ایجاد می‌شود در نتیجه میزان جذب پایین می‌آید. از طرفی دیگر در اسیدیته بالای ۷، نیکل به صورت هیدروکسید رسوب می‌کند و مقدار آن به صورت آزاد کاهش یافته در نتیجه میزان جذب پایین می‌آید.



شکل ۴- تأثیر pH بر جذب یون نیکل (غلظت فلز ۶ میلی‌گرم در لیتر، دمای ۳۰ درجه سلسیوس، مدت زمان تماس ۱۴۰ دقیقه)

۳-۴- بررسی تعیین نوع جذب فعال و غیر فعال توسط باکتری ترکیب شیمیایی ۲ و ۴ دی‌نیترو فنل مانع تشکیل پیوند پر انرژی در باکتری می‌شود و در نتیجه واکنش‌های اکسیداسیون بدون تشکیل پیوند پر انرژی انجام می‌شوند. به عبارتی این ماده موجب مهار واکنش‌های فسفوریلاسیون اکسیداتیو در باکتری شده و ضریب P/O را کاهش می‌دهد و به عنوان عامل جداکننده^۲ فسفوریلاسیون از اکسیداسیون شمرده می‌شود.

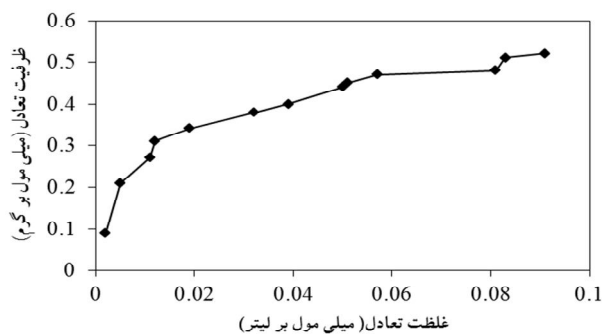
اما سدیم آزید به عنوان یک بازدارنده^۳ عمل می‌کند که قادر است علاوه بر مهار سنتز آدنوزین تری فسفات^۴، سیستم انتقال الکترون را از طریق اختلال در عمل ناقلهای الکترون مهار سازد. در نتیجه اثر غیر فعال کنندگی آن بیشتر از دی‌نیترو فنل است. مطابق شکل ۵ میزان جذب فلز نیکل در سلولهایی که تحت تأثیر سدیم آزید و ۲ و ۴ دی‌نیترو فنل قرار گرفتند نسبت به سلولهایی که تحت تأثیر هیچ تیماری قرار نگرفتند، حدود ۲۰ درصد کاهش جذب نشان داد، البته میزان کاهش در تیمارهایی که تحت تأثیر سدیم آزید قرار گرفتند، اندکی بیشتر بود. زیرا این دو ترکیب باعث متوقف شدن فعالیتهای متابولیکی سلول باکتریایی می‌شوند. اما سلولهایی که تحت تأثیر تیمار حرارتی اتوکلاو قرار گرفتند، به میزان ۶۳ درصد نسبت به سلولهایی که چنین تیماری بر روی آنها انجام نشده، کاهش جذب نشان دادند. زیرا اتوکلاو باعث از بین رفتن ساختار سطحی سلول می‌گردد، در نتیجه جایگاه اتصال فلز

² Uuncoupling Agents

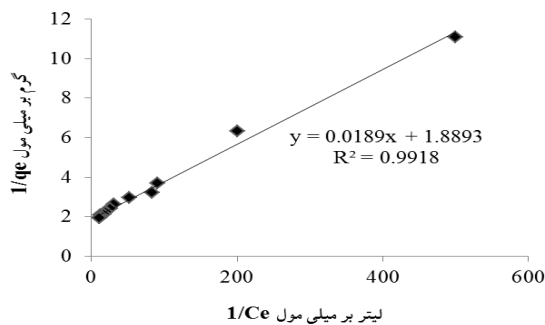
³ Inhibitor

⁴ ATP

از معادله لانگمیر پیروی نمی‌کند، بلکه از مدل ایزوترم فروندلیچ^۱ پیروی می‌کند که این نتیجه در بحث استفاده از باکتری در صنعت مهم است زیرا هدف از این پروژه استفاده عملی از باسیلوس در صنایع جذب فلزات سنگین از پسابهای آلوده است بنابراین باید مطالعات بیشتری بر روی آن انجام شود.



شکل ۲- بررسی ایزوترم جذب نیکل به وسیله باکتری (اسیدیته حدود ۶/۵، دمای ۳۰ درجه سلسیوس، مدت زمان تماس ۱۴۰ دقیقه)



شکل ۳- ایزوترم تثبیت نیکل در آب مقطر با استفاده از مدل خطی لانگمیر

جدول ۱- پارامترهای لانگمیر در رابطه با ایزوترم جذب فلز نیکل

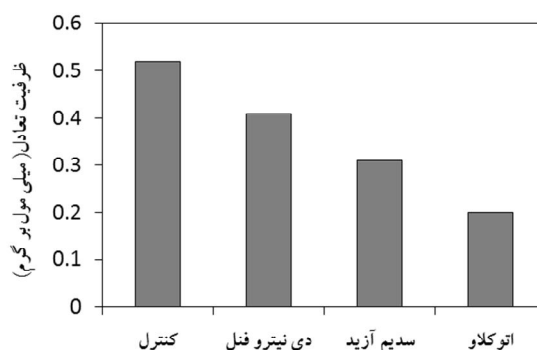
پارامتر	q_m (میلی مول بر گرم)	b_L (لیتر بر میلی مول)	r^2
فلز نیکل	۰/۵۲	۱۰۶/۸۳	۰/۹۹

۳-۳- بررسی اثر pH بر جذب فلز نیکل

شکل ۴ نشان می‌دهد که میزان جذب فلز نیکل توسط این سویه در اسیدیته حدود ۳ اندک و به میزان ۰/۲۳ میلی مول بر گرم وزن خشک سلول است. در اسیدیته حدود ۴، ظرفیت جذب افزایش قابل ملاحظه‌ای یافت و بیشترین ظرفیت جذب برای اسیدیته حدود ۶/۵ بود. در اسیدیته زیر ۳ رقابتی بین نیکل و پروتون در

¹ Freundlich

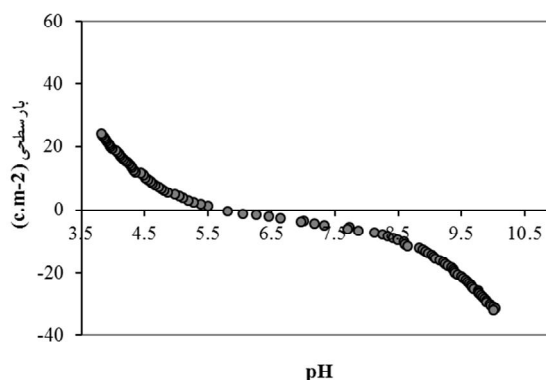
نیکل به سلول از بین می‌رود. در نتیجه جذب فلز نیکل توسط باکتری مورد نظر حدود ۸۰ درصد به صورت غیر فعال و حدود ۲۰ درصد به صورت فعال انجام می‌شود.



شکل ۵- تاثیر سدیم آزید، اتوکلاو، ۲ و ۴ دی نیترو فنل بر جذب فلز نیکل

۳-۵- تعیین بار سطحی باکتری در نقطه صفر تبادل پروتون و تعیین pka

این آزمایش با تیتراسیون باسیلوس به وسیله اسید کلریدریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار انجام شد. نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است. در اسیدیته حدود ۵/۷ بار سطحی باکتری صفر است. با افزایش اسیدیته، بار سطحی باکتری کاهش یافته و منفی می‌شود و در نتیجه رقابتی بین پروتون و یون نیکل برای رسیدن به سطح باکتری ایجاد می‌شود. با استفاده از روش پیشنهادی استام^۱ و مورگان^۲ که در نهایت به وسیله رداد^۳ برای جاذبه‌های بیولوژیک مشخص شد، pka باکتری به دست می‌آید. [۵]. pka₁ مربوط به گروه‌های کربوکسیل، pka₂ مربوط به گروه‌های آمین، pka₃ مربوط به گروه‌های فنل است.



شکل ۶- تعیین گرافیکی PZNPC در سطح باکتری

1 Stumm
2 Morgan
3 Reddad

۳-۶- بحث

باکتری مورد مطالعه به میزان زیاد در محیط GMS کشت داده شد. این محیط با افزودن ۳ گرم در لیتر عصاره مخمر اصلاح شد. این محیط حاوی گلوکز و انواع نمکها است. باکتری مذکور پلیمر خارج سلولی لزجی تولید می‌کند و نتایج حاصله نشان می‌دهد که آگروپلیمرهای مترشحه از باکتری در افزایش میزان جذب یون نیکل نقش مهمی دارند [۱۴].

تکنولوژی جذب بیولوژیک از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و از کارایی بیشتر و بهتری برخوردار است. در سال ۱۹۹۴ هولان و همکاران^۴ جذب نیکل توسط جلبک قهوه‌ای فوکوس سراتوس^۵ را مورد مطالعه قرار دادند و در سال ۲۰۰۴ پراشر و همکاران^۶ جذب نیکل به وسیله جلبک قرمز پالماریا پالماتا^۷ را بررسی کردند [۱۵ و ۱۶]. در سال ۲۰۰۴ زوبولیس و همکاران^۸ به مطالعه جذب نیکل توسط باکتری باسیلوس لیگنی فورمیس^۹ پرداختند [۱۷]. همچنین در سال ۲۰۰۸ احمدی اسب چین و همکاران^{۱۰} جذب نیکل توسط جلبک قهوه‌ای فوکوس سراتوس^{۱۱} را مورد مطالعه قرار دادند [۱۸]. در سال ۲۰۰۳ رافائل و همکاران^{۱۱} جذب فلزات مس، سرب، کادمیم و روی را به وسیله بیومس غیر فعال سودوموناس پوتیدا^{۱۲} بررسی کرده‌اند [۱۹].

مسعود حسین و همکاران در سال ۲۰۰۶ از باکتری باسیلوس سوتیلیس^{۱۳} برای حذف فلز سرب از محلولهای آبی استفاده کرده‌اند و نشان دادند این باکتری توانایی جذبی معادل ۹۷ درصد سرب از محلول را دارا است [۲۰]. مقایسه بین جاذبه‌های زیستی نشان می‌دهد که بیشترین راندمان جذب نیکل به ترتیب در جلبکهای قهوه‌ای، جلبکهای قرمز و جلبکهای سبز و آنگاه باکتری‌ها و قارچها وجود دارد.

میزان جذب فلز نیکل توسط باکتری مورد مطالعه در مقایسه با دیگر جاذبه‌های بیولوژیک مناسب بوده و می‌توان از آن به عنوان یک آلترناتیو مناسب برای حذف این فلز سمی از پسابهای آلوده استفاده کرد. آزمایش‌ها نشان داد که جذب در باکتری مورد مطالعه دو فازی است که قسمت بسیار زیادی از آن مربوط به فرایند جذب

4 Holan et al
5 *Fucus vesiculosus*
6 Prasher et al
7 *Palmaria Palmate*
8 zouboulis et al.
9 *Bacillus licheniformis*
10 *Fucus serratus*
11 Rafael et al 2003
12 *Pseudomonas putida*
13 *Bacillus subtilis*

۴- نتیجه‌گیری

ظرفیت جذب فلز نیکل در دقایق ابتدایی بسیار قابل ملاحظه است و با این فاکتور، استفاده از باکتری باسیلوس مورد مطالعه در صنعت مناسب است. بیشینه جذب نیکل در مقایسه با جاذبهای شیمیایی و فیزیکی و همچنین دیگر جاذبهای زیستی شامل قارچ و سیانوباکتر قابل قبول است. باسیلوس مورد مطالعه، کاندیدای مناسب برای حذف فلز نیکل از محلول آبی است. بیشتر جذب فلز به صورت غیرفعال است در نتیجه می‌توان از این جاذب به صورت مرده و غیر فعال نیز استفاده کرد.

۵- قدردانی

به این وسیله نویسندگان این مقاله از پروفسور پیر لو کلوآکک از دانشگاه رن فرانسه، دکتر کلر ژرانت از دانشگاه نانت فرانسه، پروفسور ملک‌زاده از دانشگاه علوم و تحقیقات تهران و همچنین خانم رقیه اسلام‌نیا از دانشگاه آزاد اسلامی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

غیروابسته به متابولیسم است. البته این موضوع در استفاده‌های صنعتی و کاربردی از باکتری، یک مزیت تلقی می‌شود زیرا در این حالت دیگر محدودیتهای استفاده از سلول زنده وجود ندارد. از جمله مزایای دیگر این باکتری می‌توان به تولید پلیمرهای فراوان، رشد بسیار سریع، داشتن اسپور که عامل مقاومت به شرایط نامساعد محیطی است اشاره کرد. باید اذعان داشت که باسیلوس از نظر جذب فلز نیکل و همچنین فلزاتی نظیر سرب، کادمیم، اورانیوم و نقره قدرت بالایی دارد. توجه به این نکته ضروری است که باکتری، عامل اصلی در جذب فلز نیکل نیست بلکه آگزوپلیمرهای خارج سلولی که از جنس پلی ساکارید هستند عمل جذب را انجام می‌دهند. این آگزوپلیمرها نقش اساسی را در جداسازی فلزات سمی از پسابهای آلوده برعهده دارند. البته شناسایی لیگاندهای این باکتری از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا عامل اصلی در جداسازی این فلزات از پسابهای آلوده، کنش و واکنشی است که بین لیگاند باکتری و فلز ایجاد می‌شود.

۶- مراجع

- 1- Marandi, R., Hojatti, A., and Akhavan Sepahi, A. (2009). "Biosorption of Cr (II) onto biomass of *Aspergillus niger*." *Environmental Science and Technology*, 12, 23-25.
- 2- Salkhori, N.Y., Ghaemi, N., and Nohi, A. (2010). "Biosorption of heavy metal onto microorganism." *J. of Biological Science*, 4, 51-60.
- 3- Gadd, G.M., and White, Ch. (1993). "Microbial treatment of metal pollution a working biotechnology." *Elsevier Science Publishers LTD*, 11, 353-359.
- 4- Volesky, B., and May-Phillips, H.A. (1995). "Biosorption of heavy metal by *Saccharomyces cerevisiae*." *Applied Microbiology Biotechnology*, 40, 783-797.
- 5- Reddad, Z., Gerente, C., Andres, Y., and Le Cloirec, P. (2002). "Adsorption of several metal ions onto a low cost biosorbent: Kinetic and equilibrium studies." *Environmental Science Technology*, 36, 2067-2073.
- 6- Sabry, S.A., Ghazlan, H.A., and Abouzeid, M. (1997). "Metal tolerance and antibiotic resistance patterns of a bacterial population isolated from sea water." *J. of Applied Microbiology*, 82, 245-252.
- 7- Leusch, A., Holan, Z. R., and Volesky, B. (1995). "Biosorption of heavy metal (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) by chemically – reinforced bioman of marine algae." *J. of Chemical Technology and Biotechnology*, 62, 279-283.
- 8- Ahmady-Asbchin, S., Andres, Y., Gérente, C., and Le Cloirec, P. (2008). "Biosorption of Cu (II) from aqueous solution by *Fucus serratus*." *Bioresource Technology*, 99, 6150-6155.
- 9- Macaskie, L.E. (1990). "An immobilization cell bioprocess for the removal o heavy metals from aqueous flows." *J. of Chemical Technology and Biotechnology*, 49, 357-379.
- 10- Langmuir, I. (1916). "The constitution and fundamental properties of solids and liquids." *J. of the American Chemical Society*, 38, 2221-2295.
- 11- Hafez, M., Abdel-Razek, A.S., and Hafez, M.B. (1997). "Accumulation of heavy metals on *Aspergillus flavus*." *J. of Chemical Technology and Biotechnology*, 68, 1001-1003.

- 12- Pumpel, T., Pernfub, B., Pigher, B., Diels, L., and Schinner, F. (1995). "A rapid screening method for the isolation of metal, accumulating microorganisms." *J. of Industrial Microbiology*, 14, 213-217.
- 13- Stumm, W., and Morgan, J.J. (1996). *In aquatic chemistry, chemical equilibria and rates in natural waters*, 3th Ed., John Wiley and Sons, NY.
- 14- Rom, D.L., and Gadd, G.M. (1991). "Use of pelleted and immobilized yeast and fungal biomass for heavy metal and radionuclide recovery." *J. of Industrial Microbiology*, 7, 97-104.
- 15- Ping Xin, S., Ting, Y., Chen, J. Pl., and Hong, L. (2004). "Sorptions of lead, copper, cadmium, zinc and nickel by marine algal biomass: Characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms." *J. of Colloid and Interface Science*, 275, 131-141.
- 16- Holan, Z.R., and Volesky, B. (1994). "Biosorption of lead and nickel by biomass of marine algae." *Biotechnology and Bioengineering*, 43, 1001- 1009.
- 17- Prasher, S.O., Beaugeard, M., Hawari, J., Bera, P., Patel, R.M., and Kim, S.H. (2004). "Biosorption of heavy metal by red algae (*Palmaria palmata*)." *Environmental Technology*, 25, 1097-1106.
- 18- Ahmady-Asbchin, S., Andres, Y., Gerente, C., and Le Cloirec, P. (2009). "Natural seaweed waste as sorbent for heavy metal removal from solution." *Environmental Technology*, 30, 755-762.
- 19- Pardo, R., Herguedas, M., Barrado, E., and Vega, M. (2003). "Biosorption of cadmium, copper, lead and zinc by inactive biomass of *Pseudomonas putida*." *Anal Bioanal Chem.*, 376, 26-32.
- 20- Masud Hossain, S.K., and Anantharaman, N. (2006). "Studies on bacterial growth and lead (II) biosorption using *Bacillus subtilis*." *Indian J. of Chemical Technology*, 13, 591-596.