جذب زیستی و بهینه‌سازی شرایط جذب فلز سزیم توسط باکتری

سلمان احمدی اسب‌چین[1] ایو آندره[2] فریدون ملکزاده[3]

(دریافت ۸۹/۱/۲۸ پذیرش ۹۰/٦/۷)

چکیده

هدف از این تحقیق مطالعه جذب زیستی یون سزیم در راکتور ناپیوسته توسط باکتری *باسیلوس* به‌عنوان جاذب بیولوژیک بود. آلـودگی محیط زیست به‌وسیله فلزات سمّی یکی از مشکلات اساسی محیط زیست محسوب می‌گردد. سینتیک و ایزوترم جذب سزیم در pH برابر ۷ مطالعه گردید. زمان تعادل در حدود ۵ دقیقه بود. داده‌های ایزوترم به‌وسیله معادله لانگمیر تفسیر گردید. بیشینه میزان جذب سـزیم توسط باکتری مذکور، ٤۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک سلول بود. رهاسازی یون سزیم از باکتری توسط عوامل رهاساز کلرید پتاسـیم، کلرید کلسیم، اسید استیک، اسید نیتریک، اسید کلریدریک و اتیلن دیامین تترا استیک اسید مورد بررسی قرار گرفت. اثر کشت باکتری روی میزان جذب سزیم، اثر اتوکلاو، تأثیر ٤ و۲- دی نیترو فنل، سدیم آزید و همچنین اثر pH روی جذب سزیم بررسی گردید. نتـایج بررسی نشان داد که باکتری مذکور می‌تواند به‌عنوان یک جاذب زیستی مهم برای جذب سزیم از پسآبهای آلوده استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: جذب زیستی، *باسیلوس*، فلزات سمی، آلودگی محیط زیست

Biosorption and Optimization of Condition Uptake of Cesium by Bacterium

Salman Ahmadi Asbchin[1] *Yves Andres[2]* *Ferydoon Malekzdeh[3]*

(Received Apr. 17, 2010 Accepted Aug. 29, 2011)

Abstract

The main aim of this work was to investigate Bacillus sp. strain MGL-75 as biosorbent, for the fixation of Cesium ions in batch reactor. Pollution of the environment by toxic metals is a major environmental problem. Biosorption kinetics and isotherms have been performed at pH= 7. The equilibrium time was about 5 min and the adsorption equilibrium data were well followed by the Langmuir`s equation. The maximum capacity has been extrapolated to 48 mg/g. The release of Cs ions, from Bacillus sp bye desorption agents such as EDTA, HNO_3, KCl, $CaCl_2$, CH_3COOH, KCL, was studied. The effects of culture age of Bacillus and pH values on Cs ions uptake were studied. The effect of Na-Azid as an inhibitor and uncoupling agents such as 2, 4 Dinitrophenol and autoclave on cesium ions uptake also were examined. Results indicated that the Bacillus sp. strain MGL-75 can be an excellent candidate to remove Cesium ions from aqueous solution.

Keywords: Biosorption, *Bacillus sp*., Toxic Metals, Environmental Pollution.

۱- استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ایلام (نویسنده مسئول)
sahmadyas@yahoo.fr (۰۸۴۱) ۲۲۲
۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه نانت فرانسه
۳- استاد گروه میکروبیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران

1. Assist. Prof. of Biology, Faculty of Scineces, Ilam University, Ilam (Corresponding Author) (+98 841) 222 sahmadyas@yahoo.fr
2. Assist. Prof. of Environment, Nantes University, France
3. Prof. of Microbiology, Islamic Azad University, Sciences and Researches Branch, Tehran

۱- مقدمه

فلزات سنگین و سمّی در اثر فعالیتهای صنعتی فراوان باعث آلودگی محیط زیست می‌شوند، هر چند که منابعی مانند پسابهای کشاورزی نیز در این امر نقش دارند. این آلاینده‌ها وارد زیستگاههای آبی و خاکی شده و در محل ورود به محیط، تراکم‌های خیلی بالایی از آنها دیده می‌شود [۱]. انباشت فلزات سمّی و سنگین در خاکهای مرغوب کشاورزی به‌دلیل جذب بیولوژیک فلزات سنگین و سمّی توسط گیاهان به‌عنوان تولید کننده در زنجیره غذایی، آنها را بدون استفاده می‌کند [۲]. پسابهای آلوده به مواد سمّی و فلزات سنگین از قبیل سزیم، کادمیم، نیکل و روی وقتی حتی در حد مجاز وارد محیط زیست شوند می‌توانند، تحت تأثیر عوامل مختلف فیزیکی و شیمیایی و میکربی متراکم شده و آبهای‌سطحی و زیرزمینی را آلوده کنند و اثرات جبران ناپذیری بر محیط زیست وارد کنند. از این‌رو ضرورت مطالعه راههای رفع آلودگی آلاینده‌های پیچیده آب، خاک و هوا شدیداً احساس می‌گردد [۳ و ۴]. روشهای تصفیه فیزیکوشیمیایی برای چنین پسابهایی با استانداردهای زیست‌محیطی تطابق ندارند، زیرا اغلب روشهای فیزیکوشیمیایی هنگامی‌که غلظتهای فلز سنگین و سمّی در محیط‌های آلوده در دامنه ppm ۱۰۰-۱۰ باشد، غیر مؤثر و غیر اقتصادی هستند، در حالی‌که غلظت مجاز کمتر از ppm ۱ است. [۵ و ۶].

در دهه‌های اخیر، تحقیقات دامنه‌داری روی اتصال فلزات توسط باکتری‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و جلبکها صورت گرفته است. در سالهای اخیر، هدف تحقیقات به‌طور فزاینده‌ای به‌سوی استفاده عملی از میکروارگانیسم‌ها در تصفیه فلزات سنگین از پسابها جهت‌گیری شده است [۷].

مهم‌ترین عوامل جذب کننده یا مکان‌های اتصال فلز در باکتری‌ها شامل کپسول ولایه چسبناک هستند که به‌عنوان یک بافر بین باکتری و محیط بیرون عمل می‌کنند و جنس اکثر آنها پلی ساکارید است و دارای گروههای هیدروکسیل، کربوکسیل،آمین و غیره هستند که در اتصال به فلز نقش دارند. نقش این ترکیبات در جذب زیستی[1] میکربی توسط وولسکی[2] اثبات شده است [۸]. نقش دیواره سلولی، غشا سلولی، لیپیدها، پروتین‌ها و اسیدهای نوکلیک باکتری‌ها در اتصال به فلز نیز تایید شده است [۹]. بر طبق نظر آژانس حفاظت محیط‌زیست[3] مقدار قابل قبول یون‌های فلزات سنگین معمولاً کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر است. روشهای شیمیایی- فیزیکی مستلزم به‌کارگیری تجهیزات دقیق و لوازم گران و روشهای نسبتاً پر هزینه بوده و نیازمند انرژی‌های زیادی است. فلز سزیم از گروه فلزات قلیایی یعنی واکنش پذیرترین گروه فلزات است که به حالت آزاد در طبیعت یافت نمی‌شود. فلز سزیم به رنگ زرد طلایی بوده و نقطه ذوب و جوش آن پایین است.

آلودگی فاضلاب به‌وسیله یون‌های فلزی سمّی یک مشکل جهانی زیست‌محیطی محسوب می‌گردد. فاضلاب صنایع، فلزاتی نظیر کادمیم، سرب، مس، نیکل، روی و سزیم را وارد آب و خاک می‌کنند. روشهای مرسوم به‌منظور جداسازی این فلزات عبارت‌اند از: ته‌نشینی، اکسید و احیای شیمیایی، تعویض یونی، اسمز معکوس، جداکننده‌های غشایی، واکنش الکتروشیمیایی و تبخیر که هر کدام محدودیتهایی را به‌همراه دارند. از جمله این محدودیتها می‌توان به غیر مؤثر بودن در غلظتهای پایین و مقرون به صرفه نبودن آنها اشاره کرد. بنابراین جذب بیولوژیک می‌تواند یک جایگزین جالب در حجمهای زیاد اما با آلودگی کم فلزات سمّی باشد. جذب زیستی توسط بیومس زنده و غیر زنده، باکتری‌ها، پلی ساکارید و انواع متفاوت ماده‌های بیولوژیک صورت می‌گیرد [۱۰، ۱۱ و ۱۲].

از جمله حوادث زیست‌محیطی آلودگی محیط به سزیم می‌توان به حادثه هسته‌ای چرنوبیل در آوریل ۱۹۸۶ اشاره کرد که منجر به پراکنش سزیم رادیواکتیو در حوضه وسیعی از محل فاجعه شد که در پی آن سزیم وارد اکوسیستم‌های آبی گردید. از جمله منابع آلوده کننده دیگر سزیم می‌توان به آزمایش‌های هسته‌ای و سیستم‌های سوخت هسته‌ای اشاره کرد. احتمالاً مکانیسم توکسیسیتی سزیم از طریق جایگزین شدن پتاسیم توسط سزیم است [۱۳].

در این مطالعه، جذب زیستی فلزی سزیم در راکتور ناپیوسته توسط باکتری *باسیلوس ام جی ال-۷۵*[4] به‌عنوان جاذب بیولوژیک بررسی شد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- جاذب[5]

باکتری *باسیلوس* میله‌ای شکل، گرم مثبت، اسپوردار که از پساب کارخانه ذوب فلزات جنوب شهر تهران جداسازی شده بود، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. این باکتری در محیط کشت GMS[6] که حاوی نمکهای معدنی، گلوکز و عصاره مخمر بود، کشت داده شد.

۲-۲- آنالیز سزیم

یون فلزی سزیم قبل و بعد از هر آزمایش به‌وسیله دستگاه جذب اتمی[7] اندازه‌گیری شد.

---

1 Biosorption
2 Volesky Bohumil
3 Environnemental Protection Agence (EPA)

4 *Bacillus Sp. Strain MGL-75*
5 Biosorbent
6 Glucose Minerals Salts
7 Atomic Absorption Spectrometer (Chem., Tech, Analytical CTA 2000)

۲-۳- سینتیک جذب سزیم توسط باکتری

آزمایش‌های مربوط به سینتیک[1] جذب سزیم توسط باکتری در یک راکتور کوچک ۱ لیتری با میزان ۱ گرم از باکتری انجام شد. برای تنظیم pH در حدود ۰/۲ ± ۷ از هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک استفاده گردید. پس از گذشت ۲۴ ساعت، باکتری با آب مقطر بدون یون شستشو داده شد و ۱ گرم بیومس باکتری در مجاورت با محلول فلزی سزیم قرار گرفته و در زمان‌های مختلف میزان جذب بررسی گردید.

۲-۴- ایزوترم جذب سزیم توسط باکتری

برای بررسی ایزوترم جذب یون سزیم توسط باکتری *باسیلوس* از معادله لانگمیر[2] استفاده شد

$$q_e = \frac{q_m\, b_L\, C_e}{1 + b_L\, C_e} \quad \text{(Eq 1)} \qquad (۱)$$

که در این رابطه

C_e غلظت سزیم در محلول در حالت تعادل ($mol.L^{-1}$ or $g.L^{-1}$)، q_e غلظت سزیم در روی جاذب در حالت تعادل ($mol.g^{-1}$ or $g.g^{-1}$)، q_m حداکثر غلظت جذب ($mol.g^{-1}$ or $g.g^{-1}$) و b_L ثابت تعادل است ($L.mol^{-1}$ or $L.g^{-1}$) است.

۲-۵- مطالعه اثر pH محلول فلزی برای جذب سزیم

برای دستیابی به این هدف ابتدا محلول فلزی سزیم در pH های ۱ تا ۱۲ با فاصله ۱ واحد تهیه گردید. مدت زمان مجاورت ۲ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و دور شیکر ۱۵۰ rpm بود. سپس محلولهای فلزی حاوی باکتری در دور ۱۰۰۰۰ rpm به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردیدند. هر کدام از بخش‌های ته‌نشین شده یعنی بیومس و محلول رویی به‌منظور بررسی کارایی[3] و ظرفیت جذب[4] توسط دستگاه اتمیک آنالیز گردید.

۲-۶- ارزیابی نوع جذب فعال یا غیر فعال فلز سزیم توسط باکتری

برای به‌دست آوردن باکتری غیر فعال، سلول‌های باکتریایی در بافر تریس ۰/۱ مولار حاوی ۳۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰میلی‌مولار از سدیم آزید[5] و ۴ و۲- دی نیترو فنل[6] قرار داده شد. سپس بیومس با بافر تریس شستشو داده شد. همچنین برای اجرای این آزمایش از سلول‌هایی که به‌مدت ۱۵ دقیقه در فشار ۱۵ پوند بر اینچ مربع در دمای ۱۲۱درجه سلسیوس قرار داده شده بودند، استفاده گردید که به این سلول‌ها، سلول‌های کشته شده حرارتی گفته می‌شود.

بعد از انجام این مراحل به‌منظور نشان دادن غیر فعال شدن باکتری‌ها، سلول‌های تیمار شده به‌روشهای بالا در محیط‌های نوترینت آگار به‌روش خطی کشت داده شدند.

۲-۷- ارزیابی رهاسازی یون فلزی سزیم از باکتری با استفاده از عوامل رها ساز[7]

برای انجام این آزمایش از عوامل رهاساز شامل: اتیلن دیامین تترااستیک اسید[8]، کلرور پتاسیم[9]، کلرور کلسیم[10]، اسید کلریدریک[11]، اسید استیک[12]، اسید نیتریک[13]، در غلظت ۱ مولار استفاده گردید. ابتدا باکتری با محلول حاوی سزیم مجاورت داده شد سپس با آب مقطر استریل بدون یون دو بار تقطیر شده، شستشو داده شد. زمان مجاورت و تماس با عوامل رهاساز به‌مدت ۲۰ دقیقه بود. در نهایت باکتری‌های مملو از سزیم با ۱۰میلی‌لیتر از عوامل رهاساز بالا با غلظت ۱ مولار مجاورت داده شدند.

۲-۸- اثر کشت باکتری بر میزان جذب سزیم

سؤالی که در این مبحث مطرح گردید این است که آیا شرایط فیزیولوژیک می‌تواند بر روی جذب فلز سزیم در سلول‌های باکتریایی تأثیر داشته باشد؟ برای نشان دادن تأثیر سن کشت باکتری بر میزان جذب فلز سزیم در باکتری‌ها، سوسپانسیون باکتری‌های کشت ۲۴، ۴۸، ۷۲ ساعته تهیه گردید. معادل ۱ گرم وزن تر باکتری با سن کشت متفاوت به محلول فلزی سزیم اضافه، و میزان جذب بررسی شد. همه آزمایش‌ها در pH بیشینه جذب که برابر ۷ بود و در شرایط مناسب و کاملاً یکسان انجام گردید.

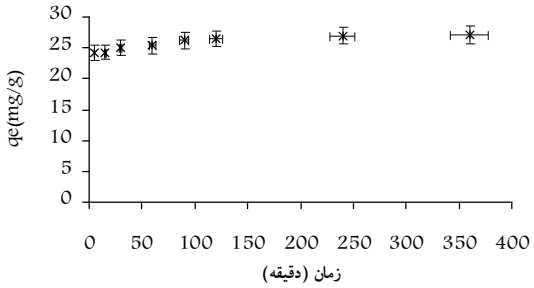
۳- نتایج

۳-۱- سینتیک جذب

طبق نتایج به‌دست آمده در شکل ۱ ظرفیت جذب فلز سزیم در ۵ دقیقه اول بسیار سریع و قابل ملاحظه بود که می‌تواند مربوط به جذب غیر وابسطه به متابولیسم توسط باکتری مورد مطالعه باشد. با گذشت زمان، میزان جذب فلز سزیم به‌وسیله باکتری مذکور به‌طور خیلی کند و آرام افزایش یافت که به‌نظر می‌رسد این مقدار افزایش

---

[1] kinetic
[2] Langmuir
[3] Removal Efficiency
[4] Removal Capacity
[5] Na2N3
[6] 2,4DNF
[7] Desorption Agents
[8] EDTA
[9] KCL
[10] CaCl2
[11] HCl
[12] CH3COOH
[13] HNO3

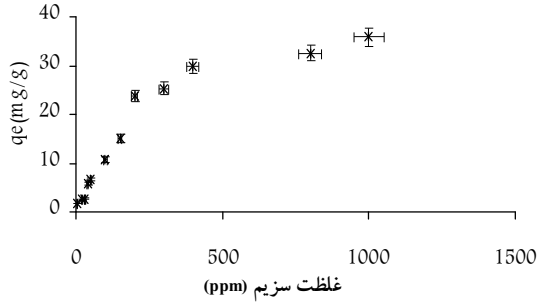


شکل ۱- سینتیک جذب سزیم به‌وسیله باکتری (دما: ۳۰ درجه سلسیوس، غلظت: ۲۰۰ ppm، pH : حدود ۷)

مربوط به جذب فعال فلز سزیم توسط باکتری باشد که بسیار جزئی است. مدت زمان تعادل جذب حدود ۲ ساعت بود.

۳-۲- ایزوترم جذب

مطابق شکل ۲ با افزایش غلظت محیطی فلز، میزان جذب فلز سزیم نیز توسط باکتری افزایش می‌یابد. آزمایش‌های انجام شده نشان داد که باکتری مذکور بعد از مجاورت با محلول فلزی ۱۰۰۰ppm سزیم، قادر است بر روی محیط نوترینت آگار[1] رشد کرده و زنده بماند. منحنی ایزوترم در محلول با pH = ۷ ± ۰/۲ انجام گرفت که این منحنی از مدل لانگمیر برای جذب سزیم توسط *باسیلوس* پیروی می‌کند.حداکثر میزان جذب برابر ۴۸ میلی‌گرم بر گرم بود (جدول ۱).



شکل ۲- ایزوترم جذب سزیم به‌وسیله باکتری (دما: ۳۰ درجه سلسیوس، زمان تماس: ۱۲۰ دقیقه، pH : حدود ۷)

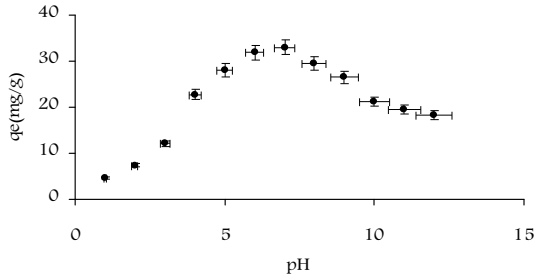
جدول ۱- پارامترهای لانگمیر در رابطه با ایزوترم جذب سزیم توسط *باسیلوس*

فلز / پارامتر	q_m (mmol/g)	b_L (L/mmol)	r^2
سزیم	۰/۳۷	۲۴/۲۳	۰/۹۴۸

[1] Nutrient agar(N.A)

۳-۳- اثر pH بر جذب سزیم

برای بررسی اثر pH بر جذب سزیم و مطالعه ظرفیت جذب، دوازده pH مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده، میزان جذب این سویه برای فلز سزیم در pH کمتر از ۴ یعنی ۲،۱ و ۳، اندک و در حدود ۴ تا ۱۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک سلول بود. در pH برابر ۴، ظرفیت جذب افزایش قابل ملاحظه‌ای یافت، همچنین ظرفیت جذب در pH حدود ۶/۵ نیز افزایش داشت، ولی مطابق شکل بیشترین مقدار ظرفیت جذب فلز سزیم در pH برابر ۷ بود.



شکل ۳- تأثیر pH بر جذب سزیم توسط باکتری مورد مطالعه (زمان تماس: ۱۲۰ دقیقه، دما: ۳۰ درجه سلسیوس، غلظت: ۲۰۰ ppm)

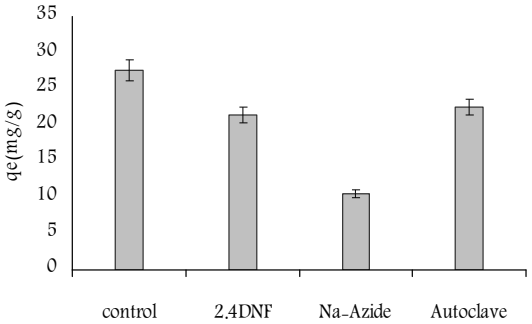
۳-۴- بررسی تعیین نوع جذب فعال و غیر فعال توسط باکتری

ترکیب ۲ و ۴- دی نیتروفنل مانع تشکیل پیوند پر انرژی می‌گردد، در نتیجه واکنش‌های اکسیداسیون انجام می‌گیرد بدون اینکه پیوند پر انرژی تشکیل شود. این موضوع موجب مهار واکنش‌های فسفوریلاسیون اکسیداسیون می‌گردد و ضریب P/O را کاهش می‌دهد و به‌عنوان عامل جداکننده فسفوریلاسیون از اکسیداسیون[2] به‌شمار می‌رود. اما سدیم آزید به‌عنوان یک بازدارنده[3] عمل می‌کند که قادر است علاوه بر مهار سنتز ATP، سیستم انتقال الکترون را نیز از طریق اختلال در عمل ناقلهای الکترون مهار سازد.

بر اساس شکل ۴ میزان جذب فلز سزیم در سلول‌هایی که تحت تأثیر سدیم آزید و ۲و۴- دی نیترو فنل قرار گرفته‌اند، نسبت به سلول‌هایی که تحت تأثیر هیچ تیماری قرار نگرفته‌اند، حدود ۲۰درصد کاهش داشته است زیرا این دو ترکیب باعث بلوکه شدن فعالیتهای متابولیکی سلول باکتریایی می‌گردند.

اما در مورد سلول‌هایی که تحت تأثیر تیمار حرارتی اتوکلاو قرار گرفته‌اند، به میزان ۶۳ درصد نسبت به سلول‌های که تحت تأثیر چنین تیماری قرار نگرفته‌اند، کاهش جذب نشان می‌دهند. زیرا اتوکلاو باعث به‌هم ریختن ساختار سطحی سلول می‌گردد، در

[2] Uncoupling Agents
[3] Inhibitor

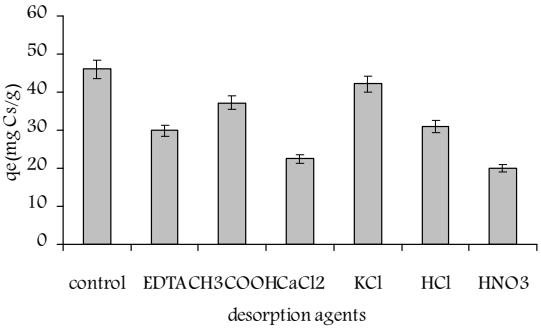


شکل ۴-تأثیر سدیم آزید، اتوکلاو ، ۲ و ۴- دی نیترو فنل بر جذب به‌وسیله باکتری مورد مطالعه (دما: ۳۰ درجه سلسیوس، زمان تماس:۱۲۰ دقیقه ،pH : حدود ۷)

نتیجه جایگاه اتصال سلولی به فلز سزیم از بین می‌رود. در نتیجه جذب سزیم توسط باکتری مورد نظر ۸۰ درصد غیر فعال و ۲۰ درصد فعال می‌باشد.

۳-۵- استفاده مجدد از باکتری با به‌کار بردن عوامل رهاساز

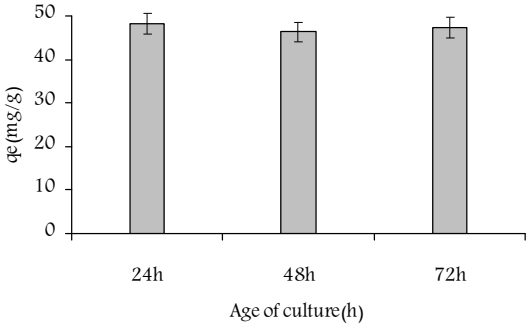
از میان هفت عامل رهاساز استفاده شده، کلرور پتاسیم در غلظت ۱ مولار قوی‌ترین، بهترین و مناسب‌ترین عامل رهاساز بوده و در غلظت مورد مطالعه، ۸۰ درصد فلز سزیم جذب شده در سلول‌های باکتریایی را آزاد می‌نماید. در میان اسیدها، تأثیر اسید استیک با غلظت ۱ مولار در حدود کلرور پتاسیم است (شکل ۵).



شکل ۵- تأثیر عوامل رهاساز مختلف بر جداسازی سزیم از باکتری (دما: ۳۰ درجه سلیسوس، زمان تماس:۱۲۰ دقیقه،pH : حدود ۷)

با توجه به نتایج به‌دست آمده تاثیر هفت عامل رهاساز در غلظت ۱ مولار روی رهاسازی فلز سزیم از سلول‌های باکتریایی به‌صورت زیر بود:

HNO3 < CACL2 < EDTA < HCL < CH3COOH < KCL



شکل ۶- اثر کشت باکتری در جذب سزیم توسط باکتری (دما: ۳۰ درجه سلسیوس، زمان تماس:۱۲۰ دقیقه ،pH : حدود ۷)

۳-۶- اثر کشت باکتری بر میزان جذب

نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان داد که انباشته شدن سزیم در سلول‌های باکتری با سن کشت آن تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارد. با توجه به این نتایج در ادامه تحقیقات برای به‌دست آوردن سلول‌های بیشتر، کشت‌های سه روزه مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۶).

۴- بحث

باکتری مذکور به میزان زیاد در محیط GMS کشت داده شد. این محیط با افزودن مقدار ۳ گرم در لیترعصاره مخمر اصلاح گردید. باکتری مورد مطالعه تولید پلیمر خارج سلولی لزجی می‌کند و نتایج حاصله نشان می‌دهد که اگزو پلیمرهای مترشحه از باکتری در افزایش میزان جذب سزیم نقش مهمی را ایفا می‌کند [۱۴].

تکنولوژی جذب بیولوژیک ارزان‌تر و با کارایی بیشتر و بهتر عمل می‌کند. در سال ۱۹۹۴ نوریکو تومیوکو[1] باکتری رودو کوکوس جی اس ۴۰۲[2] را از خاک جدا کرد که میزان جذب سزیم در آن حدود ۵۱ میلی‌گرم در گرم وزن خشک بود [۱۵]. دیگر باکتری‌های گزارش شده عموماً میزان کمتری از جذب سزیم را در مقایسه با باکتری مورد آزمایش در این تحقیق دارا هستند. از جمله باکتری سیانوباکتر[3] که توسط سیمون آوری[4] نشان داده شده که جذب فلز سزیم آن به‌میزان کمتر از ۲۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک سلول است. در آزمایشی دیگر نشان داده شد که سزیم اثر سمّی مشابه دیگر کاتیون‌های مونووالانت بر روی باکتری ندارد [۱۶].

---

[1] Noriko Tomioka
[2] *Rhodococcus SP. Strain CS 402*
[3] *Cyanobacteriun synechocystis pcc 6803*
[4] Simon V.avery

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که جذب در باکتری مورد مطالعه دو فازی است و قسمت بسیار زیادی از این جذب مربوط به فرایند جذب غیر وابسته به متابولیسم است. البته این موضوع در استفاده‌های صنعتی و کاربردی از این باکتری به‌عنوان یک مزیت تلقی می‌شود زیرا محدودیتهای استفاده از سلول زنده وجود نخواهد داشت.

از جمله مزایای دیگر این باکتری می‌توان به تولید پلیمرهای فراوان، رشد بسیار سریع و واجد اسپور بودن که عامل مقاومت به شرایط نامساعد محیطی است، اشاره کرد. در انتها لازم به‌ذکر است که آزمایش‌های مربوط به استفاده از باکتری مذکور باید در آب غیر استریل انجام شود. زیرا هدف اصلی کار، استفاده از این باکتری در جذب آلاینده‌ها از پساب به‌صورت طبیعی بود. همچنین باید بیان کرد هنوز ضعف‌هایی در استفاده صنعتی از این باکتری وجود دارد، ولی در مقایسه با جاذبهای زیستی دیگر، امید به استفاده صنعتی از آن بیشتر است.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که باکتری مورد مطالعه، جاذب مناسبی برای جذب زیستی فلز سزیم از محلولهای آبی است. بیومس غیر زنده باکتری کارایی بالایی در جذب فلز دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که پلی‌ساکارید خارج سلولی، بیشترین نقش را در جذب فلز بر عهده دارد و باید بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد.

۶- قدردانی

نویسندگان مقاله به این وسیله از پروفسور پیر لو کلوآقک از دانشگاه رن و دکتر کلر ژرانت از دانشگاه نانت کشور فرانسه به‌منظور همکاری در انجام این پروژه قدردانی می‌نمایند.

۷- مراجع

1- Farazmand, A., Orumieh, H. R., and Tashyaouie, H. R. (2005). "Determination of heavy metals in the effluent plating units of Isfahan Province." *J. of Water and Wastewater*, 55, 69-76. (In Persian)
2- Aksu, Z., and Kutsal, T. (1991). "A biosorption process for removing lead(II) ions from wastwater by using *C.vulgaris*." *J.Chem.Tech. Biotechnol.*, 52, 109-118.
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 cervisiae*." *Appl.Microbiol.Biotechnol*., 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." *Environ. Sci. Technol*., 36, 2067-2073.
6- Sabry,S.A., Ghozlan, H.A., and Abouzeid, M. (1997). "Metal tolerence and antibiotic resistance patterns of a bacterial population isolated from sea water." *J. Appl. Microbiol*., 82, 245-252.
7- Fourest, E., and Roux, J.C. (1992). "Heavy metal biosorption by fungal mycelial by product: Mechanisms and influence of pH." *Appl. Microbiol. Biotechnol*., 37, 399- 403.
8- Marques, X., Roca, M.D., Simon-Pujol,M.C., Fuste, C., and Congregado, F. (1996). "Uranium accumulation by *Pseudomonas SP. Eps* 5028." *Appl. Microbiol, Biotechnol*., 35 (3), 406-410.
9- Leusch, A. (1995). "Biosorption of heavymetal (Cd, Cu, Ni, Pb,Zn)by chemically –reinfoorced bioman of marine algae." *J. Chem.Tech. Biotechnol.*, 62, 279-283.
10- Ahmady-Asbchin, S., Andres, Y., Gerente, C., and Le Cloirec P. (2008). "Biosorption of Cu (II) from aqueous solution by Fucus serratus." *Bioresource Technology*, 99, 6150-6155.
11- Macaskie, L.E. (1990). "Animmobilization cell bioprocess for the removal o heavy metals rom aqueous flows." *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 49, 357-379.
12- Langmuir, I. (1916). "The constitution and fundamental properties of solids and liquids." *J. Amer. Chem. Soc*., 38, 2221-2295.
13- Hafez, N. A., Abdel-Razek, M.B., and Hafez, B. (1997). "Accumulation of heavy metals on *Aspergillus flavus*." *J. Chem. Tech Biotechnol*., 68, 1001-1003.
14- 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.
15- Rom, D.L., and Gadd, G.M. (1991). "Use of pelleted and immobilized yeast and fungal biomass for heavy metal and radionuclide recovery." *J. Indust. Microbiol*., 7, 97-104.
16- Macaskie, L.E., Empson, R.M., and Tolley, M.V. (1995). "Enzmatically-Mediated Uranium accumulation and uranium recovering using a *Citrobacter SP.* immobilised as a biofilm within a plug-flow reactor." *J. Chem. Tech. Biotechnology*, 63, 1-6.