جداسازی یون کادمیم از محلولهای آبی به‌وسیله زیست‌توده باسیلوس

سلمان احمدی اسبچین*

ایلام، دانشگاه ایلام، دانشکده علوم، گروه علوم پایه

پیام نگار: **s.ahmadyas@mail.ilam.ac.ir**

چکیده

فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی باعث آزادشدن فلزات سمی و سنگین در محیط می‌گردد، و این فلزات، حیات اکوسیستم‌ها و سلامتی انسان را به خطر می‌اندازند. متأسفانه فلزات سنگین به دلیل محلول بودن در آب وارد اکوسیستم‌های آبی شده و سبب تخریب آنها می‌شوند و به راحتی در زنجیره‌های غذایی جابجا، و باعث تهدید انسان و سایر جانوران می‌شوند. در این تحقیق، باکتری باسیلوس سویه (MGL-75) به‌عنوان جاذب زیست‌شناختی برای جذب زیستی فلز کادمیم در راکتور بسته مورد مطالعه قرار گرفته است. در آزمایش نخست، سینتیک و تکدمای جذب فلز کادمیم به‌وسیله باسیلوس در pH = ۶/۵ مطالعه شده است. از معادله لانگمویر برای تفسیر داده‌های تکدما استفاده شده است. با انجام این آزمایش‌ها مشخص گردید، که زمان تعادل جذب فلز در حدود ۵ دقیقه بوده است و بیشینه میزان جذب کادمیم در حدود ۰/۷۵ میلی مول بر گرم وزن خشک زیست‌توده باکتریایی می‌باشد. در بخش دوم کار، آزادسازی فلز کادمیم از باکتری توسط عوامل رهاساز شامل: کلسیم کلرید، اسید نیتریک، اسید کلرهیدریک، اسید استیک، کلرید پتاسیم و اتیلن دیامین تترااستیک اسید مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش پایانی،اثر اتوکلاو، ۴،۲ دی نیترو فنول، سدیم آزید روی جذب فلز بررسی شده است. pH بهینه برای جذب کادمیم در حدود ۶/۵ بوده است.

کلمات کلیدی: کادمیم، باسیل، فلزات سمی، جذب زیستی

۱- مقدمه

فلزات سنگین از جملهٔ آلاینده‌های اصلی محیط زیست می‌باشند و امروزه با توسعه صنعت و استفاده از معادن، غلظت آنها در محیط زیست افزایش یافته است. مسمومیت‌های شدید در مصرف کنندگان آب و محصولات کشاورزی در سالهای اخیر سبب گردیده است که حذف فلزات سنگین به‌عنوان یکی از موضوعات مهم در دنیا مطرح گردد. از مهمترین فلزات سنگین آلاینده محیط زیست، فلز سنگین کادمیم می‌باشد. وجود این عنصر و ترکیبات آن حتی در مقادیر بسیار کم در صنایع خطرناک است و باید تا حد امکان حذف گردد؛ و به دلیل این که روشهای حذف شیمیایی و فیزیکی کادمیم محدودیت دارند، جذب زیستی به‌عنوان روش مناسب برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی مطرح شده است. غیرقابل تجزیه بودن فلزات سنگین و تمایل آنها به تجمع در موجودات زنده سبب شده است که آنها را از دیگر آلاینده‌های سمی متمایز کنند. بنابراین حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌ها موضوع مهمی در بهداشت عمومی جامعه محسوب می‌گردد. براساس بررسی‌های سازمان‌های بهداشت جهانی[1] مشخص شده است که تعداد زیادی از مردم به طرق مختلف در معرض مخاطرات بهداشتی ناشی از فلزات سنگین قرار دارند. حذف فلزات سنگین به‌صورت کلی از دو دیدگاه اهمیت

1. World Health Organization (WHO)

دارد، جداسازی و خنثی کردن اثرات فلزات سنگین سمی از فاضلابهای صنعتی، زهکش‌های کشاورزی و معادن واز طرف دیگر، احیا و بازیافت فلزات که با کاهش تدریجی منابع معدنی موضوعی ضروری است. روشهای زیستی می‌تواند شرایط اقتصادی تر و کارآمدتری را در مقایسه با بسیاری از روشهای فیزیکو شیمیایی فراهم سازند. استفاده از عوامل زیستی برای حذف و بازیافت فلزات سمی و سنگین از آبهای آلوده سالهاست که در زمینه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

این عمل می‌تواند به وسیله ترکیبات ترشح شده از سلولها شامل، انواع متابولیت‌های سلولی، ترکیبات پلی ساکاریدی و دیگر اجزای دیوارهٔ سلولی انجام شود. مکانیسم‌های جذب به وسیله سلولهای مرده و زنده با هم متفاوت است و میزان جذب، ظرفیت پذیرش و تغلیظ فلزات در میکروارگانیسم‌های مختلف نیز یکسان نیست [۱].

فاضلابی که به تصفیه خانه شهری می‌رسد، مجموع فاضلابی است که از سه منبع مختلف در شبکه فاضلاب وارد می‌شود. این سه منبع عبارتند از: (الف) ـ فاضلاب خانگی، (ب) ـ نشت آب، (پ)ـ فاضلاب صنعتی. بنا بر تعریف، مجموعه فاضلاب حاصله از سه منبع را فاضلاب شهری یا فاضلاب بهداشتی می‌خوانند[۴-۲].

وقتی نگرانیهای انسان زیاد می‌شود که بدانیم روشهای تصفیه فیزیکو شیمیایی برای چنین فاضلابهایی نتواند با استانداردهای زیست محیطی تطبیق کند، زیرا اغلب روشهای فیزیکو شیمیایی هنگامی که غلظت فلز سنگین و سمی در محیط‌های آلوده در دامنه ppm (۱۰۰-۱۰) باشد، غیر مؤثر و غیر اقتصادی است. در حالیکه غلظتهای مجاز یونهای فلزات سنگین بر طبق نظر آژانس حفاظت محیط زیست[1] کمتر از ۱ppm می‌باشد [۷و۶و۵].

مهمترین عوامل جذب کننده یا مکانهای اتصال فلز در باکتریها شامل کپسول ولایه چسبناک می‌باشند، که به‌عنوان یک بافر بین باکتری و محیط بیرون عمل می‌کنند و جنس اکثر آنها پلی ساکارید است و واجد گروهای هیدروکسیل، کربوکسیل، آمین و غیره می‌باشند که در اتصال به فلز نقش دارند. نقش این ترکیبات در جذب زیستی میکروبی، توسط دانشمند معروف وولسکی اثبات شده است [۹و۸].

روشهای مرسوم جهت جداسازی فلزاتی نظیر کادمیم، سرب، مس و نیکل که از طریق فاضلاب صنایع وارد آب و خاک می‌شود عبارتند از: ته‌نشینی، اکسید و احیای شیمیایی، تعویض یونی، اسمز معکوس، استفاده از جداکننده‌های غشایی، واکنش الکتروشیمیایی و تبخیر که هر کدام واجد محدودیتهایی می‌باشند [۱۰].

در این تحقیق میزان جذب فلز کادمیم، به‌وسیله تودهٔ زندهٔ باکتریایی جداشده از فاضلاب کارخانجات فلزکاری تهران مطالعه شده است. آیا میزان جذب زیستی فلزقابل ملاحظه بوده است؟ اگر جواب مثبت باشد، آیا استفاده از تودهٔ جاذب *باسیلوس* در صنعت، مقرون به‌صرفه است؟

۲- مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از باکتری *باسیلوس* میله ای شکل، گرم مثبت، اسپور دار سویه *(MGL-75)* جدا شده از فاضلاب کارخانه ذوب فلزات جنوب شهر تهران استفاده شده است. برای کشت باکتری مورد نظر از محیط کشت GMS[2] استفاده شده است. (جدول (۱)) اندازه‌گیری و آنالیز یون فلزی کادمیم قبل و بعد از هر آزمایش به‌وسیله دستگاه جذب اتمی[3] صورت گرفته است.

جدول ۱- ترکیبات GMS استفاده شده در محیط کشت برای کشت باکتری *باسیلوس* (گرم بر لیتر)

سولفات منگنز	۰/۰۷۵	عصاره مخمر	۳
کلرید کلسیم	۰/۱	کلرید آمونیم	۲/۶۷
سولفات منیزیم	۰/۱	سولفات آهن	۰/۴
گلوکوز	۱۰	pH	۷
سدیم فسفات	۵/۳۵		

۲-۱ بررسی زمان تماس بر فرایند جذب فلز

برای انجام آزمایش مربوط به سینتیک جذب کادمیم توسط باکتری از یک راکتور کوچک ۱ لیتری به میزان ۱ گرم از باکتری استفاده شده است. برای تنظیم pH در حدود (۰/۲± ۷) از هیدروکسید سدیم[4] و اسید کلریدریک[5] استفاده شده است. کشت ۲۴ ساعته

1. Environmental Protection Agency (EPA)

2. Glucose Mineral Salts (GMS)
3. Atomic absorption Spectrometer (Chem., Tech, Analytical CTA 2000)
4. NaOH
5. HCl

باکتری، با آب مقطر بدون یون، شستشوداده شده است، آنگاه بین ۱ گرم زیست‌توده باکتری با محلول فلزی کادمیم تماس برقرار کرده و در زمانهای مختلف (محدوده ۵ تا ۱۶۰ دقیقه) کارایی جذب بررسی شده است.

۲-۲ بررسی تکدمای جذب یون کادمیم به‌وسیله باسیل

در این مرحله مقدار ۱ گرم از جاذب مورد نظر را در ظرف‌های ۱ لیتری حاوی غلظتهای مختلفی از یون کادمیم قرار داده و میزان جذب را اندازه گیری می‌کنند. برای تفسیر تکدمای جذب یون کادمیم توسط باکتری *باسیلوس* از معادله لانگموییر استفاده شده است. رابطه تکدمای لانگموییر به شکل هذلولی است.

$$q_e = \frac{q_m . b_L . C_e}{1 + b_L . C_e}$$

در این فرمول C_e غلظت فلز کادمیم در حالت تعادل در محلول (میلی گرم بر لیتر)، q_e معادل غلظت کادمیم بر روی باکتری در حالت تعادل(میلی گرم بر گرم)، q_m بیشینه فلز کادمیم جذب شده (میلی گرم بر گرم)، b_l ثابت مربوط به وابستگی بین باکتری و فلز (لیتر بر مول) است.

به‌طور کلی فرضیات زیر در مورد این معادله در نظر گرفته شده است:

- تعداد جایگاه‌های جذب ثابت است.
- تمامی جایگاه‌های جذب یکسان هستند.
- فقط یک ماده جذب شونده وجود دارد.
- یک مولکول جذب شونده با یک جایگاه فعال واکنش می‌دهد.

۲-۳ بررسی تأثیر pH محلول فلزی بر فرایند جذب

تنظیم pH محیط‌های آلوده به کاتیون‌های فلزی از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین لازم است که آزمایشهای مربوط به تأثیر پارامترpH بر میزان جذب فلزصورت گیرد. بدین منظور نمونه‌های حاوی محلول فلزی کادمیم دارای pHهای بین ۲ الی ۱۰ با فاصله ۱ واحد تهیه شده است. برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شده است.مدت مجاورت، ۲ ساعت، دما ۳۰ درجه سلسیوس، و تعداد دور همزن ۱۵۰ rpm بوده است. بعد از گذشت این مدت، محلولهای فلزی حاوی باکتری با دور ۱۰۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. در نهایت از بخشهای رسوب (تودهٔ زنده) و محلول رویی به‌منظور بررسی کارایی جذب و ظرفیت جذب توسط دستگاه جذب اتمی استفاده شده است.

۲-۴ بررسی نوع جذب فعال یا غیر فعال فلز کادمیم توسط باکتری

برای به‌دست آوردن باکتری غیر فعال، ابتدا سلولهای باکتریایی، در بافر تریس ۰/۱ مولار حاوی، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۱۰۰۰ میلی مولار از سدیم آزید و ۲و۴ دی نیترو فنول قرار داده شده است.آنگاه تودهٔ زنده باکتریایی با بافر تریس شستشو داده شده است. برای انجام این آزمایش همچنین از سلولهایی که به مدت ۱۵ دقیقه در فشار ۱/۵ پوند بر اینچ مربع و دمای ۱۲۱ °C قرار داده شده بودند،استفاده گردید. در نتیجه با استفاده از اتوکلاو سلولهای کشته شده حرارتی به‌دست آمد. در انتها به‌منظور نشان دادن غیر فعال شدن باکتریها، سلولهای تیمار شده به روش‌های فوق، در محیطهای نوترینت آگار به روش خطی کشت داده شد.

۲-۵ بررسی آزادسازی فلز کادمیم از باکتری با استفاده از عوامل رها ساز

در این آزمایش از عوامل رهاساز شامل: اتیلن دیامین تترااستیک اسید[1]، کلرید پتاسیم[2]،کلرید کلسیم[3]، اسید کلرهیدریک[4]، اسید استیک[5] و اسید نیتریک[6]، در غلظت ۱ مولار استفاده شده است. در مرحله اول باکتری با محلول فلز کادمیم مجاورت داده شده و سپس، با آب مقطر استریل بدون یون، دو بار تقطیر شده شستشو داده شده است. مدت تماس با عوامل رهاساز ۲۰ دقیقه بود وآنگاه باکتریهای مملو از فلز کادمیم با ۱۰میلی لیتر از عوامل رهاساز مذکور با غلظت ۱ مولار مجاور شده است.

۳- نتایج

۳-۱ کینتیک جذب

در شکل (۱) نتیجه تأثیر زمان تماس تودهٔ زندهٔ باکتری با فلز

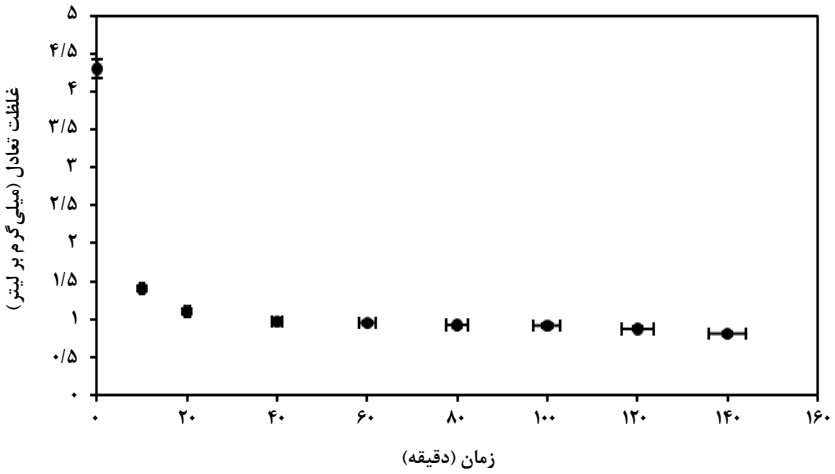
1. EDTA
2. KCl
3. CaCl2
4. HCl
5. CH3COOH
6. HNO3

کادمیم نشان داده شده است. با توجه به این شکل، ظرفیت جذب فلز کادمیم در ۵ دقیقه اول بسیار سریع و قابل ملاحظه می‌باشد، این میزان می‌تواند مربوط به جذب غیر وابسته به متابولیسم توسط باکتری مورد نظر باشد.

با گذشت زمان، میزان جذب یون کادمیم به‌وسیله باکتری مذکور به‌طور خیلی کند و آرام رو به افزایش می‌باشد. به نظر می‌رسد که این مقدار از افزایش مربوط به جذب فعال کادمیم توسط باکتری مذکور باشد که بسیار اندک بوده است. مدت تعادل جذب در حدود ۲ ساعت می‌باشد.

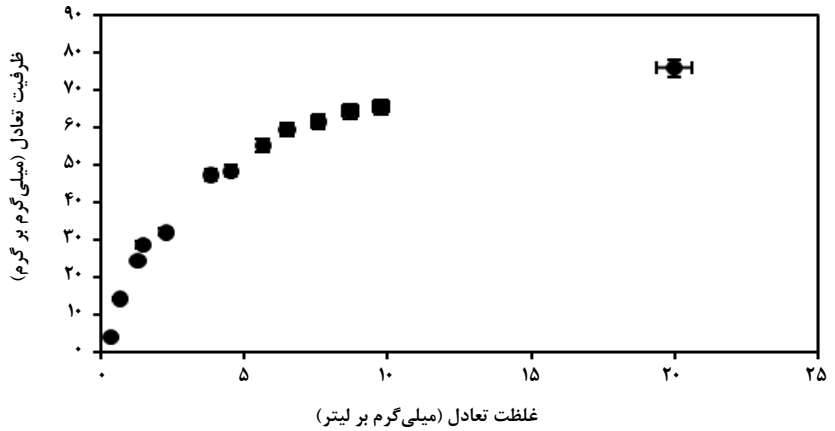
۳-۲ تکدمای جذب

تأثیر غلظت اولیه یون فلز در شکل (۲) نشان داده شده است، براین اساس با افزایش غلظت محیطی فلز، میزان جذب فلز کادمیم نیز توسط باکتری افزایش می‌یابد. منحنی تکدما در محلول واجد pH =۷ ±۰/۲ محاسبه شده است، که از مدل تکدمای لانگمویر[1] پیروی می‌کند. بیشینه میزان جذب بر اساس مدل لانگمویر (جدول (۱)) برابر ۰/۷۵ میلی مول بر گرم وزن خشک زیست‌تودهٔ باکتریایی می‌باشد.



شکل ۱- تأثیر زمان تماس (کینتیک) بر میزان جذب کادمیم توسط *باسیلوس*

(دمای ۳۰°C، غلظت اولیه ۵ میلی گرم بر لیتر و pH=۶/۵) [1]



شکل ۲- تأثیر غلظت فلز (تکدما) بر ظرفیت جذب کادمیم

(دمای ۳۰ °C، زمان تماس ۱۴۰ دقیقه، و pH در حدود ۶/۵)

1. Langmuir

جدول ۱- پارامترهای لانگمویر در رابطه با تکدمای جذب کادمیم به‌وسیله باکتری

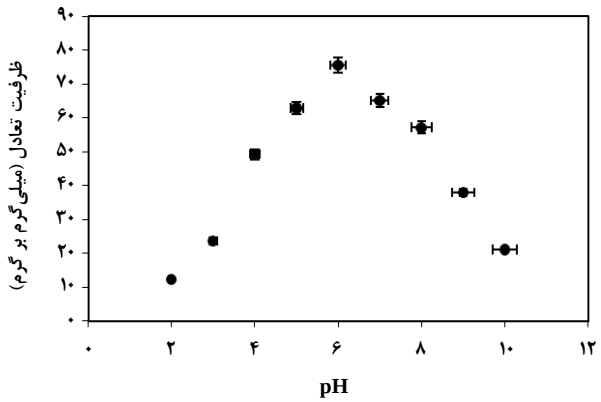
پارامترها	q_m (میلی مول بر گرم)	b_L (لیتر بر میلی مول)	r^2
باسیل (جاذب کادمیم)	۰/۷۵	۲۴/۲۳	۰/۹۴۸

۳-۳ تأثیر pH برفرایند جذب

همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده، میزان جذب یون کادمیم به‌وسیله *باسیلوس* مورد مطالعه در pH حدود ۳ به میزان ۰/۲۳ میلی مول بر گرم وزن خشک سلول می‌باشد. این کاهش جذب به دلیل رقابت بین فلز کادمیم و پروتون در اتصال به سطح باکتری می‌باشد. در pH=۴ ظرفیت جذب افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است، و بیشترین ظرفیت جذب در pH در حدود ۶/۵ می‌باشد. با افزایش pH از این میزان،کاهش جذب مشاهده می‌گردد، که مربوط به تشکیل رسوبات هیدروکسید فلزی کادمیم می‌باشد.

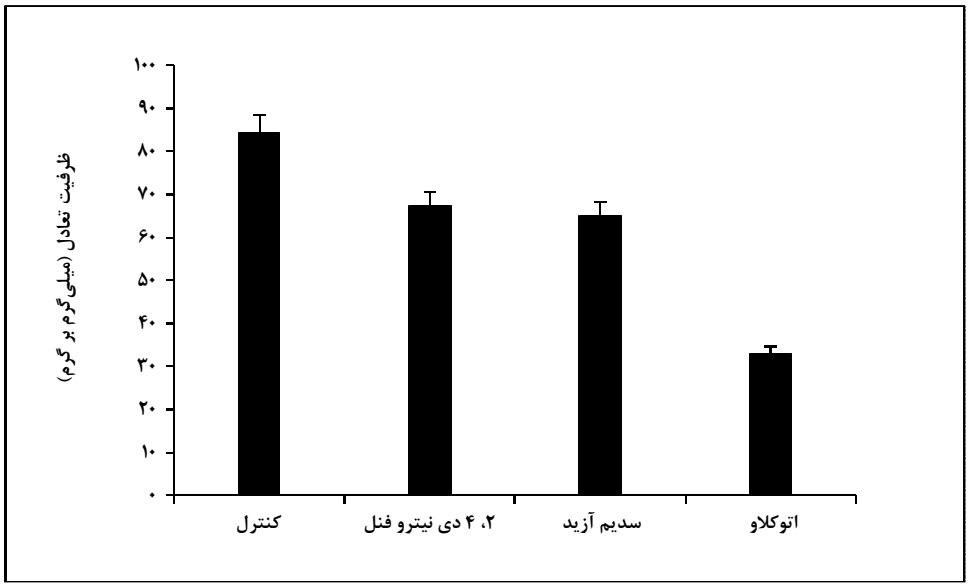
۴-۳ بررسی تعیین نوع جذب (وابسته و غیر وابسته به متابولیسم بودن)

ترکیب ۲و۴ دی نیتروفنول مانع تشکیل پیوند پر انرژی می‌گردد که در نتیجه واکنشهای اکسایش در باکتری انجام می‌گیرد، بدون اینکه پیوند پر انرژی تشکیل شود، بنابراین باعث مهار واکنشهای فسفوریلاسیون اکسیدکننده می‌گردد و ضریب (P/O) را کاهش می‌دهد، و به‌عنوان عامل جداکننده[1] فسفوریلاسیون از اکسایش محسوب می‌گردد. اما ترکیب سدیم آزید[2] 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. مطابق شکل (۴) میزان جذب یون کادمیم در سلولهایی که تحت تأثیر سدیم آزید و ۲و۴ دی نیترو فنول قرار گرفته‌اند نسبت به سلولهایی که تحت تأثیر هیچ تیماری قرار نگرفته‌اند، حدود ۲۰٪ کاهش نشان می‌دهد. زیرا این دو ترکیب باعث بلوکه شدن فعالیت‌های متابولیکی سلول باکتریایی می‌گردد. اما در مورد سلولهایی که تحت تأثیر تیمار حرارتی اتوکلاو قرار گرفته‌اند، به میزان ۶۳٪ در مقایسه با سلولهایی که تحت تأثیر چنین تیماری قرار نگرفته‌اند،کاهش جذب نشان می‌دهند. زیرا اتوکلاو باعث بهم ریختن ساختار سطحی سلول می‌گردد، در نتیجه جایگاه اتصال سلولی به فلز کادمیم از بین می‌رود. در نهایت به این نتیجه می‌رسیم که جذب کادمیم توسط باکتری مورد نظر حدود ۸۰٪ غیر فعال،غیر وابسته به متابولیسم باکتری و حدود ۲۰٪ فعال یعنی وابسته به متابولیسم باکتری می‌باشد.



شکل ۳- تأثیر pH برمیزان جذب یون کادمیم (دمای ۳۰ °C، زمان تماس ۱۴۰ دقیقه، و pH در حدود ۶/۵) [1]

1. Uncoupling Agents 2. Na2N3 3. Inhibitor



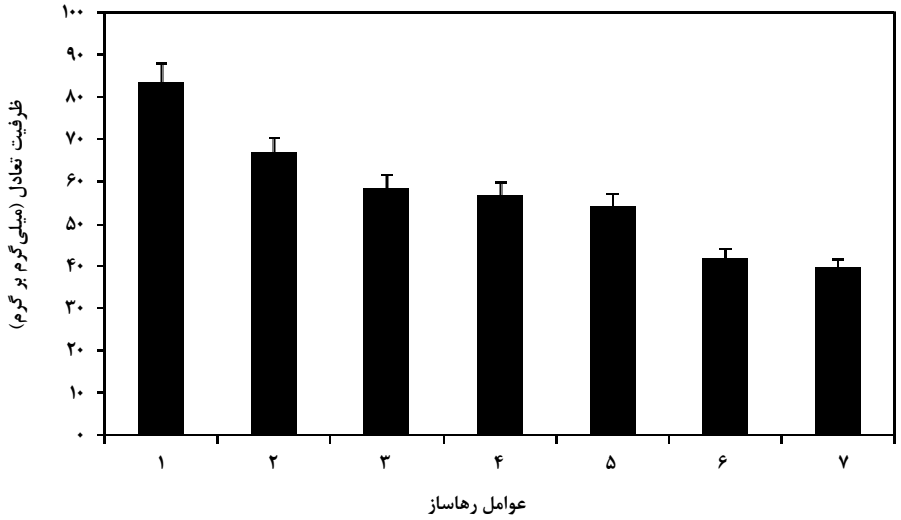
شکل ۴- تأثیر سدیم آزید، اتوکلاو، ۲،۴ دی نیترو فنول بر جذب یون کادمیم (دمای ۳۰ °C، زمان تماس ۱۴۰ دقیقه، و pH در حدود ۶/۵)

۳-۵ بررسی اثر عوامل رهاساز فلز از باکتری

همانگونه که در شکل (۵) نشان داده شده است، از بین عوامل رهاساز استفاده شده، کلرید پتاسیم در غلظت ۱ مولار قویترین و مناسب‌ترین عامل رهاساز بوده و درغلظت مورد مطالعه ۱مولار در حدود ۸۰٪ فلز کادمیم جذب شده در سلولهای باکتریایی را آزاد می‌نماید. در میان اسیدها، اسید استیک با غلظت ۱ مولار در حدود کلرید پتاسیم از خود تأثیر به جا می‌گذارد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده تأثیر ۶ عامل رهاساز از زیاد به کم از در غلظت ۱ مولار روی رهاسازی فلز کادمیم از سلولهای باکتریایی به‌صورت زیر از راست به چپ کاهش داشته است.

کلرید پتاسیم > اسید استیک> اسید کلرهیدریک > اتیلن دیامین تترا استیک اسید> کلرید کلسیم > اسید نیتریک



شکل ۵- تأثیرعوامل رهاساز مختلف بر جداسازی کادمیم از باکتری (دمای ۳۰ °C، مدت تماس ۱۴۰ دقیقه، و pH در حدود ۶/۵، ۱ شاهد، ۲ کلرید پتاسیم،۳ اسید استیک،۴ اسید کلریدریک، ۵ اتیلن دیامین تترا استیک اسید، ۶کلرید کلسیم و ۷ اسید نیتریک)

۴- نتیجه‌گیری

باکتری مورد مطالعه به میزان زیاد در محیط GMS کشت داده شده است، این محیط با افزودن مقدار ۳ گرم در لیتر عصاره مخمر اصلاح شده است. باکتری مذکور تولید بسپار خارج سلولی لزجی می‌کند، و نتایج حاصله نشان می‌دهد که اگزو بسپارهای مترشحه از باکتری در افزایش میزان جذب کادمیم نقش اساسی بازی می‌کند [۱۱].

فناوری جذب زیستی در مقایسه با روشهای مرسوم شیمیایی و فیزیکی ارزانتر و با کارایی بالاتری عمل می‌کند. در سال ۱۹۹۳هولان و همکاران، جذب کادمیم توسط جلبک قهوه‌ای *فوکوس وزیکولوسوس*[1] را مطالعه کردند [۱۲]. در سال ۲۰۰۴ پراشر و همکاران جذب کادمیم به‌وسیله جلبک قرمز *پالماریا پالماتا*[2]، رابررسی کرده اند [۱۳].

زئوبولیس و همکاران از باکتری *باسیلوس لیکنیفورمیس* جهت جذب کادمیم استفاده کردند [۱۴].

در سال ۲۰۰۸ احمدی‌اسبچین و همکاران در فرانسه جذب مس به‌وسیله جلبک قهوه‌ای *فوکوس سراتوس را* مورد مطالعه قرار داده‌اند. [۱۵] میزان جذب یون کادمیم توسط جاذب‌های زیست‌شناختی در جدول (۲) مشاهده می‌گردد. میزان جذب کادمیم توسط باکتری مورد مطالعه در مقایسه با دیگر جاذب‌های زیستی مناسب بوده، و می‌توان از آن به‌عنوان یک گزینه مناسب برای حذف این فلز سمی از فاضلابهای آلوده استفاده کرد. آزمایشها نشان می‌دهند که جذب در باکتری مورد مطالعه دو فازی می‌باشد، قسمت قابل ملاحظه ای از این جذب مربوط به فرایند جذب غیر وابسته به متابولیسم است.

جدول ۲- مقایسه جذب یون کادمیم به‌وسیله انواع جاذب‌های زیستی شامل جلبک قهوه‌ای، جلبک قرمز، جلبک سبز و باکتری‌ها

جاذب زیست‌شناختی	بیشینه جذب (میلی مول/گرم)	یون	pH	منابع
جلبک قهوه‌ای				
فوکوس وزیکولوسوس	۰/۶۵	Cd^{2+}	۳/۵	[۱۲]
سارگاسوم فیلیپندولا	۰/۶۶	Cd^{2+}	۴/۵	[۱۶]
جلبک قرمز				
کندروس کریسپوس	۰/۶۷	Cd^{2+}	۶/۰	[۱۷]
پالماریا پالماتا	۰/۰۴	Cd^{2+}	۶/۵-۷	[۱۳]
جلبک سبز				
کدیوم ورمیلاریا	۰/۱۹	Cd^{2+}	۶/۰	[۱۷]
اسپیروژینا اینسیگنیس	۰/۲۰	Cd^{2+}	۶/۰	[۱۷]
باکتری				
باسیلوس لیگنی فورمیس	۱/۲۷	Cd^{2+}	۳-۹	[۱۴]
سودوموناس ائروژینوزا	۰/۳۸	Cd^{2+}	-	[۱۸]
باسیلوس	۰/۷۵	Cd^{2+}	۷/۰	این مطالعه

1. *Fucus Vesiculosus*
2. *Palmaria Palmate*

همچنین مقداری از جذب فلز کادمیم به‌وسیله باسیل از نوع غیر وابسته به متابولیسم می‌باشد، که این ویژگی، در استفاده‌های صنعتی و کاربردی از این باکتری به‌عنوان یک مزیت تلقی می‌شود زیرا، محدودیتهای استفاده از سلول زنده وجود نخواهد داشت. از آنجایی که استفاده از باکتری به‌صورت زنده دارای معایبی از جمله فراهم آوردن شرایط رشد باکتری می‌باشد، از جمله مزایای دیگر این باکتری می‌توان به تولید بسپار فراوان، رشد بسیار سریع، واجد اسپور بودن که عامل مقاومت به شرایط نامساعد محیطی است اشاره کرد.

۵- تقدیر و تشکر

لازم می‌دانم از پروفسور پیر لو کلوآقک از دانشگاه رن فرانسه و دکتر کلر ژرانت از دانشگاه نانت فرانسه تشکر نمایم. همچنین تشکر ویژه‌ای از سرکار خانم اسلام‌نیا از دانشگاه آزاد اسلامی ساری دارم.

مراجع

[1] Gadd, G.M., White Ch., "Microbial Treatment of Metal Pollution a working Biotechnology" ELSEVIER Science Publishers LTD, 11:353-359 (1993).

[2] Macaskie, L.E., "An immobilization cell bioprocess for the removal of heavy metals from aqueous flows", J. Chem.Tech.Biotechnol.49:357-379 (1990).

[3] Reddad, Z., Gérente, C., Andres, Y., Le Cloirec, P., "Adsorption of several metal ions onto a low cost biosorbent: Kinetic and Equilibrium Studies", Environ. Sci. Technol. 36, 2067-2073 (2002).

[4] Sabry, S.A, H. A. Ghozlan, M.Abouzeid, "Metal tolerance and antibiotic resistance patterns of a bacterial population isolated from sea water", J.Appl.Microbiol. 82:245-252(1997).

[5] Fourest.E, Roux, J. C., "Heavy metal Biosorption by fungal mycelial by product: mechanisms and influence of pH". Appl.microbiol.biotechnol, 37:399-403 (1992).

[6] Leusch. A, Zdenek R. Holan, Volesky B., "Biosorption of heavy metal (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) by chemically–reinforced biomass of marine algae", J.Chem.Tech Biotechnol, 62:279-283 (1995).

[8] Volesky B., May-Phillips, H. A., "Biosorption of heavy metal by Saccharomyces cervisiae", Appl. Microbiol. Biotechnol. 40:783-797 (1995).

[9] Langmuir, I., "The constitution and fundamental properties of solids and liquids", J. Amer. Chem. Soc. 38, 2221-2295 (1916)

[10] Hafez, N.A., Abdel-Razek, M.B.Hafez, "Accumulation of heavy metals on Aspergillus flavus", J.Chem.Tech biotechnol, 68:1001-1003 (1997).

[11] Pumpel, T., Pernfub; B., Pigher, B., Diels. L., Schinner F., "A rapid screening method for the isolation of metal, Accumulating microorganisms", Journal of industrial Microbiology.14:213-217 (1995).

[12] Holan Z.R., Volesky, B., Prasetyo I., "Biosorption of Cd by biomass of marine algae", Biotech Bioeng, 41:819-825 (1993)

[13] Prasher S. O., Beaugeard M., Hawari J., Bera P., Patel R. M., Kim S. H., "Biosorption of heavy metal by red algae (Palmaria palmata)", Environmental Technology, 25:1097-1106 (2004).

[14] Zouboulis A. I., Loukidou M.X, Matis K.A., "Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metal-polluted soils", Process Biotechemistry.39: 909-916 (2004).

[15] Ahmady-Asbchin S., Andrès Y., Gérente C., Le Cloirec P., "Biosorption of Cu (II) from aqueous solution by Fucus serratus", Bioresource Technology.99:6150-6155 (2008).

[16] Davis T.A., Volesky B., Vieira R.H.S.F. "Sargassum seaweed as biosorbent for heavy metal". Water research, 17: 4270-4278 (2000).

[17] Romera E., Gonzalez F, Ballester A, Blazquez M.L., Munoz J.A., "Biosorption of heavy metal by Fucus spiralis". Bioresource Technology, 99: 4684-4693 (2008).

[18] Chang J.-S., Law R., Chang C.-C., "Biosorption of Lead, Copper and Cadmium by biomass of Pseudomonas aeruginosa PU21", Water Research, 31: 1651_1658 (1997).