مطالعه جذب زیستی یون کادمیوم توسط باکتری *Achromobacter piechaudii* جداسازی شده از رسوبات خلیج فارس

هاجر آبیار[1*]، علیرضا صفاهیه[2]، حسین ذوالقرنین[3] و اسحاق زمانی[4]

۱ـ کارشناس ارشد زیست‌شناسی دریا، آلودگی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: hajar.abyar@yahoo.com

۲ـاستادیار گروه بیولوژی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: a.safahieh@kmsu.ac.ir

۳ـاستادیار گروه بیولوژی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: zolgharnein@kmsu.ac.ir

۴ـ عضو هیئت علمی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، استان خوزستان، خرمشهر، پست الکترونیکی: issac_zf@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۱۵ **نویسنده مسوول* *تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۸*

© نشریه علمی ـ پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۱، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های زیست‌شناختی و به‌کارگیری میکروارگانیسم‌ها جهت پاکسازی آلاینده‌های محیطی از جمله فلزات سنگین مورد توجه ویژه قرار گرفته است. هدف از این تحقیق شناسایی گونه باکتری مقاوم به کادمیوم و بررسی توانایی آن در جذب زیستی فلز مورد نظر است که گونه‌ی باکتری از رسوبات خور موسی واقع در شمال خلیج فارس جداسازی شد. از مجموع ۳ کلنی موجود بر محیط کشت حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم، یک کلنی انتخاب شد. نتایج حاصل از این مطالعه، رشد باکتری در محیط کشت‌های حاوی ۱۰۰-۱۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم را نشان داد و باکتری جداسازی شده با نام *Achromobacter piechaudii* strain XJUHX-6 شناسایی شد. بالاترین درصد جذب در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم و پس از ۱۵۰ دقیقه گرماگذاری به‌دست آمد. بنابراین با توجه به عملکرد باکتری و حذف ۶۵ درصدی کادمیوم از محیط می‌توان از این گونه در بوم‌سامانه‌های آبی جهت کاهش آلودگی فلز کادمیوم سود برد.

کلمات کلیدی: *جذب زیستی، خلیج فارس، کادمیوم، باکتری Achromobacter piechaudii.*

۱. مقدمه

امروزه فرایند جذب زیستی جهت پاکسازی بوم‌سامانه‌های آبی، کاهش آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین و خطرات زیست‌محیطی ناشی از آنها مورد توجه ویژه قرار گرفته است. این روش یک فناوری نوظهور و مقرون به صرفه است که به شدت با فناوری‌های موجود و در دسترس مانند تبادل یونی، اسمز معکوس و استفاده از کربن فعال شده رقابت می‌کند؛ زیرا خصوصیات کلیدی از قبیل کم‌هزینه بودن، کارایی بالا، قابلیت احیای میکروارگانیسم‌ها، عدم نیاز به افزودن مواد مغذی، امکان استخراج فلزات سنگین از ساختار میکروارگانیسم و به حداقل رساندن لجن حاوی مواد شیمیایی، این فرایند را از سایر

روش‌ها متمایز کرده است (Hussein et al., 2003; Ahalya et al., 2003).

از آنجا که میکروارگانیسم ها، دوست‌دار محیط زیست، دارای رشد سریع و ظرفیت جذب و راندمان بالا هستند، این فرایند از توانایی آنها در جذب فلزات استفاده می‌کند (Lyer et al., 2004). دسترسی به این موجودات از طریق پسماندهای صنعتی، لجن حاصل از کارخانجات تصفیه فاضلاب و ضایعات تخمیری به سهولت امکان‌پذیر است. به‌طور کلی میکروارگانیسم‌ها برای سوخت و ساز و انجام فرایندهای حیاتی خود از منابع آلی و معدنی موجود در محیط تغذیه می‌کنند. البته مقدار محدودی از این مواد برای رشد و بقای توده‌های میکروبی لازم است و غلظت بالای این ترکیبات می‌تواند سمی و خطرناک باشد. با این وجود برخی از موجودات ساکن مناطق آلوده به‌دلیل اینکه به میزان زیاد در معرض غلظت‌های سمی فلزات سنگین قرار می‌گیرند، قادرند در برابر اثرات سمی فلزات مقاومت کنند (Leung et al., 2000).

دیواره‌ی سلولی ارگانیسم‌ها، نقش اصلی را در جذب زیستی ایفا می‌کند. جذب یون‌های فلزات سنگین در اصل باند شدن آنها بر روی بیوپلیمرهای دیواره سلولی است. این مواد پلیمری حاوی جایگاه‌های فعال با بار منفی نظیر کربوکسیل، فسفات و سولفات هستند که می‌توانند کاتیونهای فلزی را جذب کنند (Alluri et al., 2007; Vieira and Volesky, 2000).

با توجه به وجود منابع عظیم آبی و بوم‌سامانه‌های دریایی غنی و آسیب پذیر در سطح کشور و افزایش روز افزون آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین می‌توان در راستای حفاظت از آنها از روش‌های زیست‌شناختی و جذب زیستی سود برد. خلیج فارس از مهمترین مناطق دریایی کشور است که به‌دلیل شرایط اقلیمی ویژه حاکم بر آن از قبیل دما و تبخیر بالا، بسیار شکننده و آسیب پذیر است و ورود کمترین آلاینده به داخل دریا اثرات مخربی بر روی سلامت آبزیان و موجودات آن دارد (جاوید و صمدیار، ۱۳۸۶).

خلیج فارس به‌عنوان یکی از مهمترین پهنه‌های آبی جهان، علاوه بر تنوع زیستی و منابع شیلاتی به‌دلیل دارا بودن ذخایر انرژی، نفت و گاز اهمیت فزاینده‌ای دارد. اما متاسفانه استقرار صنایع پتروشیمی در حاشیه‌ی این ناحیه، ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی و از سوی دیگر شرایط ویژه اقیانوسی و نیمه بسته بودن خلیج فارس، این منطقه را با مشکل جدی آلودگی فلزات سنگین مواجه ساخته است (علیپور و جعفر زاده، ۱۳۸۷). از جمله فلزاتی که نگرانی های زیادی را ایجاد کرده و در گروه فلزات سنگین بسیار سمی طبقه‌بندی شده می‌توان کادمیوم را نام برد. کادمیوم از نظر زیستی غیر قابل تجزیه است. نقش زیست‌شناختی کمی در بدن موجودات زنده دارد و محیط زیست را به‌شکل گسترده‌ای آلوده می‌کند (Hetzer et al., 2006). در این تحقیق شناسایی گونه باکتری مقاوم به کادمیوم و تعیین میزان توانایی آن در حذف فلز کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

منطقه‌ی خور موسی واقع در شمال خلیج فارس و در نزدیکی محل ریزش فاضلاب‌های صنعتی و پتروشیمی، جهت نمونه‌برداری انتخاب شد (شکل ۱). نمونه‌برداری از رسوبات سطحی مناطق کم‌عمق و از ۳ ایستگاه صورت گرفت. ایسستگاه‌ها براساس نزدیکی به محل ریزش پساب پتروشیمی بندر امام خمینی(ره) و با موقعیت جغرافیایی ″۵۳/۴ ′۲۵ °۳۰ N، ″۵۵/۴ ′۰۶ °۴۹ E (ایستگاه ۱)، ″۸/۲ ′۲۷ °۳۰ N، ″۱۵/۴ ′۰۶ °۴۹ E (ایستگاه ۲) و ″۱۷/۵۱ ′۲۶ °۳۰ N، ″۲/۰۴ ′۰۸ °۴۹ E (ایستگاه ۳) انتخاب شدند. نمونه‌های رسوب در ظروف شیشه‌ای درب‌دار و در ظرف یخ نگهداری شدند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه میکروبیولوژی واقع در دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، از محلول کلرید سدیم برای رقیق‌سازی نمونه‌های رسوب استفاده شد. یک گرم از رسوبات هر ایستگاه به ۱۰ میلی لیتر محلول نمک ۰/۸۵ درصداضافه شد و رقیق‌سازی تا 10^{-3} ادامه پیدا کرد. سپس ۰/۱ میلی لیتر از نمونه های رسوب رقیق شده، بر محیط کشت عمومی نوترینت آگار حاوی غلظت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم (نیترات کادمیوم)، کشت داده شد. نمونه‌ها در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۹۶ ساعت گرماگذاری شدند (Dzairi et al., 2004; Green-Ruiz, 2006).

پس از گرماگذاری، از ۳ کلنی تشکیل شده بر سطح محیط کشت حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم یک باکتری که از لحاظ ریخت‌شناختی متفاوت و کلنی بزرگتری تشکیل داده بود، انتخاب و به‌صورت متوالی بر روی محیط جامد کشت داده شد تا سرانجام باکتری خالص با کلنی‌های تک به‌دست آمد. به‌منظور شناسایی باکتری منتخب ابتدا خصوصیات ظاهری کلنی از لحاظ شکل و رنگ بررسی شد. سپس شناسایی دقیق‌تر با استفاده از رنگ آمیزی گرم و آزمایش‌های بیوشیمیایی اکسیداز، کاتالاز، اوره، اندول، سیترات، لایزین، تست MR-VP، احیای نیترات، آزمایش

نمک و غیره مطابق با روش Bergey صورت گرفت (Morello et al., 2002; Woodland, 2004). سرانجام تعیین سویه باکتری از طریق آنالیز 16S rRNA توسط شرکت Cinagen انجام شد.

شکل ۱ـ منطقه نمونه‌برداری واقع در شمال خلیج فارس و در جوار پتروشیمی بندر امام خمینی(ره)

برای تعیین توانایی باکتری مربوطه در جذب کادمیوم، کشت تازه‌ای از باکتری تهیه گردید. سپس از محیط مایع LB broth جهت تهیه سوسپانسیون باکتریایی استفاده شد (Kim et al., 2007). با توجه به اینکه حضور مواد مغذی در حذف یون فلزی توسط باکتری تداخل ایجاد می‌کنند و برخی از این مواد مانند لیگاند عمل کرده و در تشکیل کمپلکس لیگاند ـ فلز، با میکروارگانیسم‌ها رقابت می‌کنند لذا داده‌های به‌دست آمده، توانایی و عملکرد واقعی باکتری را نشان نمی‌دهند(Ahalya, et al., 2003; Wang and Chen, 2006). بنابراین در مرحله‌ی بعد محلول‌های فلزی حاوی غلظت‌های ۲۵ ، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم در آب دو بار تقطیر تهیه و روی انکوباتور شیکر دار در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و دور ۱۶۰ rpm قرار داده شدند (Leung et al., 2000; Emtiazi et al., 2004).

برای هر غلظت نیز یک نمونه شاهد فاقد باکتری در نظر گرفته شد. جهت تعیین میزان جذب کادمیوم توسط باکتری مورد نظر، ۵ میلی لیتر از نمونه‌ها هر نیم ساعت یک بار در دور ۴۰۰۰ rpm به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و محلول بالایی جهت تعیین میزان جذب فلز توسط باکتری با استفاده از دستگاه جذب اتمی با شعله SavantAAS GBC اندازه گیری شد (Azza et al., 2009).

توانایی باکتری در حذف کادمیوم از محلول‌های فلزی با کسر میزان کادمیوم باقی مانده در محیط از غلظت اولیه فلز به‌دست آمد که با توجه به مقادیر به‌دست آمده، میزان جذب برحسب میلی گرم بر لیتر و به‌صورت درصدی تعیین شد. همچنین اعداد به‌دست آمده میانگین سه تکرار برای باکتری مذکور هستند.

پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون Shapiro-wilik، جهت مقایسه میزان جذب فلز کادمیوم در غلظت‌های مختلف از آنالیز واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) استفاده شد.

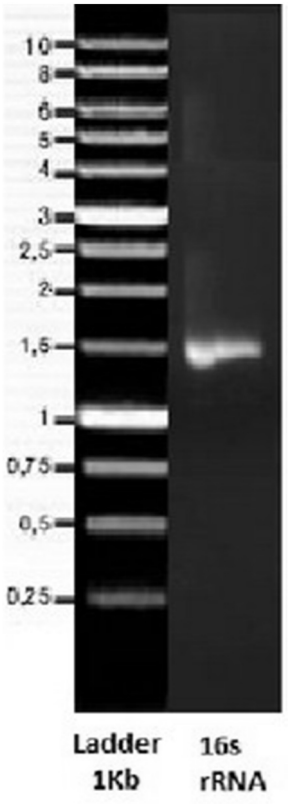
۳. نتایج

پس از کشت نمونه‌های رسوب، کلنی باکتری‌ها در تمامی غلظت‌های کادمیوم مشاهده شدند. جهت شناسایی و تعیین توانایی باکتری‌ها در جذب فلز کادمیوم یک کلنی از سطح محیط کشت حاوی بالاترین غلظت یعنی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم انتخاب شد. باکتری مربوطه دارای کلنی‌های کرم رنگ بود که با استفاده از آزمایش‌های بیوشیمیایی شناسایی شد.

نتایج حاصل از آزمایش‌های بیوشیمیایی در جدول ۱ ارائه شده است. این نتایج با کتاب باکتری شناسی برجی مقایسه و گونه مورد نظر با عنوان *Achromobacter piechaudii* شناسایی شد. جهت شناسایی دقیق تر توالی ژن 16S rRNA تعیین شد که محصول PCR آن در شکل ۲ نشان داده شده است. پس از تعیین توالی، از برنامه‌ی رایانه‌ای BLAST برای مقایسه توالی تعیین شده با بانک ژن استفاده گردید که سویه مورد نظر با کد EU239469.1 و احتمال ۹۸٪ تعیین شد.

جدول ۱ـ خصوصیات بیوشیمیایی باکتری منتخب

Characteristics	Strain XJUHX-6
Gram staining	–
KoH	+
Cell type	Bacilli
Oxidase	+
Catalase	+
Lysine decarboxylase	–
Lactose	-
McCanky	+
Indole	-
Orease	–
Citrate	+
Nitrat reduction	+
Glucose	-
Maltose	-
SIM	+
NaCl (%6.5)	+
Phenylalanine deaminase	–
TSI	–
MR	-
VP	-



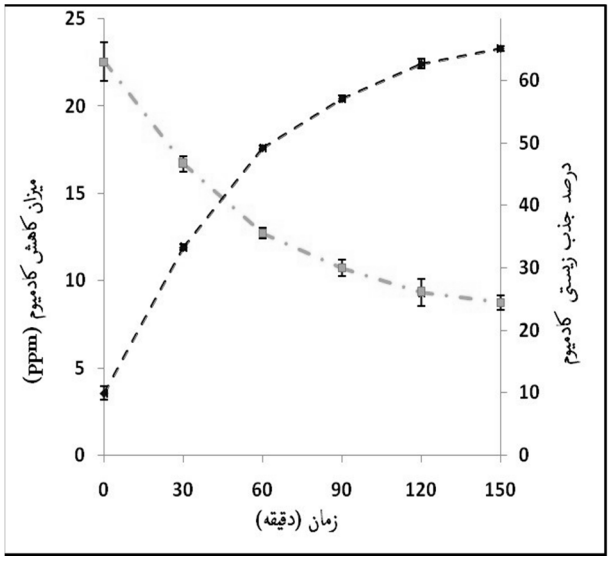
شکل ۲ـ الکتروفورز محصول PCR نمونه باکتری جدا شده از رسوبات خلیج فارس پس ازاستخراج محصول از ژل Low melting Agarose والکتروفورز مجدد روی ژل آگارز ۱/۵ درصد

جدول ۲ عملکرد باکتری *A. piechaudii* در سه محیط واجد کادمیوم در غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر را پس از ۱۵۰ دقیقه نشان می‌دهد. بیشترین جذب کادمیوم در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر دیده شد که معادل ۴۰/۴۷ میلی گرم بر لیتر بود. در دو غلظت ۵۰ و ۲۵ نیز به‌ترتیب ۳۱/۵۳ و ۱۶/۲۷ میلی گرم بر لیتر کادمیوم جذب شد.

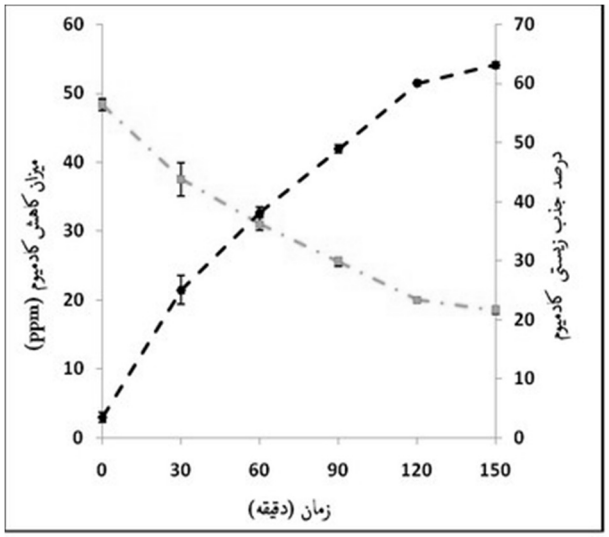
جدول ۲ـ میزان حذف فلز کادمیوم در غلظت‌های مختلف توسط Strain XJUHX-6 در مدت زمان ۱۵۰ دقیقه

زمان (دقیقه)	تعداد تکرار	غلظت ۲۵mg/l	غلظت 50 mg/l	غلظت 100 mg/l
۰	۳	۲/۴۸ ± ۱/۱۲	۱/۷۳ ± ۰/۸۶	۱/۱۳ ± ۰/۵
۳۰	۳	۸/۳۱ ± ۰/۴۴	۱۲/۵ ± ۲/۴۳	۱/۵۳ ± ۰/۴۷
۶۰	۳	۱۲/۲۹ ± ۰/۳۱	۱۹/۰۳ ± ۰/۹۳	۱۸/۴۳ ± ۱/۷۶
۹۰	۳	۱۴/۲۸ ± ۰/۴۶	۲۴/۴۶ ± ۰/۶۲	۲۳/۵۳ ± ۱/۰۷
۱۲۰	۳	۱۵/۶۸ ± ۰/۷۹	۳۰/۰۱ ± ۰/۲۷	۴۱/۴۳ ± ۱/۷۲
۱۵۰	۳	۱۶/۲۷ ± ۰/۴۳	۳۱/۵۳ ± ۰/۴۹	۴۰/۴۷ ± ۱/۳۶
درصد نهایی جذب		۶۵/۱	۶۳/۱	۴۰/۵

درصد جذب زیستی کادمیوم و میزان کادمیوم کاهش یافته توسط *A. piechaudii* Strain XJUHX-6 در غلظت‌های مختلف در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. بالاترین درصد جذب کادمیوم در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر به‌دست آمد و باکتری مورد نظر تا آخرین ساعات سنجش روند افزایشی خود را ادامه داد.



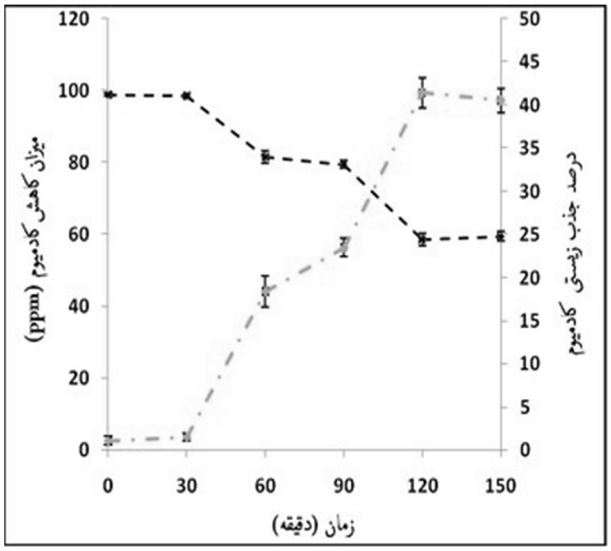
شکل ۳ـ منحنی حذف فلز کادمیوم در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر در دمای ۳۰ °C و سرعت ۱۶۰ rpm



شکل ۴ـ منحنی حذف فلز کادمیوم در غلظت ۵۰ میل میلی گرم بر لیتر در دمای ۳۰ °C و سرعت ۱۶۰ rpm

عملکرد باکتری در محلول حاوی غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم تقریبا مشابه منحنی مربوط به غلظت ۲۵ میلی گرم بر

لیتر بود و از نظر درصد جذب، اختلاف کمی بین آنها مشاهده شد. در حالی‌که واکنش باکتری در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر کاملا متفاوت بود، به‌گونه‌ای که در ۳۰ دقیقه‌ی ابتدایی پس از تلقیح باکتری، تغییری در غلظت کادمیوم محلول صورت نگرفت. البته منحنی حذف فلز کادمیوم توسط باکتری مربوطه در دقایق بعدی روند نزولی را نشان داد و میزان فلز جذب شده در دقیقه ۱۲۰ به ۴۱/۴۳ میلی گرم بر لیتر افزایش یافت. لازم به ذکر است که در محلول‌های کنترل (فاقد باکتری) نیز تغییری در غلظت کادمیوم مشاهده نشد. سرانجام پس از ۱۵۰ دقیقه میزان جذب کادمیوم توسط باکتری مربوط در محیط کشت‌های حاوی ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به‌ترتیب برابر با ۶۵/۱، ۶۳/۱ و ۴۰/۵ درصد تعیین شد. همچنین با انجام آزمون ANOVA مشخص شد که بین درصد جذب کادمیوم در غلظت‌های مختلف در سطح خطای کمتر از ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری وجود دارد و با افزایش غلظت کادمیوم، درصد جذب کاهش می‌یابد.



شکل ۵ـ منحنی حذف فلز کادمیوم در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در دمای ۳۰°C و سرعت ۱۶۰ rpm

۴. بحث و نتیجه‌گیری

امروزه آلودگی ناشی از مناطق صنعتی از نظر زیست‌محیطی یک مشکل جدی محسوب می‌شود، زیرا سرعت ورود فاضلاب‌های صنعتی به محیط به‌ویژه به بوم‌سامانه‌های آبی افزایش یافته است که اکثر این پساب‌ها حاوی مواد سمی به‌ویژه فلزات سنگین هستند (Vieira and Volesky, 2000).

کنترل آلودگی فلزات سنگین از جمله کادمیوم یکی از نگرانی‌های عمده کارشناسان محیط زیست و جوامع علمی است که براساس تحقیقات گذشته، باکتری‌هایی نظیر *Pseudomonas*، *Bacillus*، *Alcaligenes*، *Geobacillus* و *Desulfococcus* با کارایی جذب یون کادمیوم و کاهش غلظت آن در محیط شناخته شدند (Hussein et al., 2003، Mahvi and Diels, 2004 ، Naz et al., 2005، Shirdam et al., 2006 ، تیلکی و شریعت، ۱۳۸۲).

با توجه به اینکه میکروارگانیسم‌ها بهترین گزینه جهت کاهش آلودگی‌های فلزی در محیط‌های دریایی محسوب می‌شوند لذا در این مطالعه باکتری بومی خلیج فارس با عنوان Strain XJUHX-6 *A. piechaudii* جداسازی و شناسایی شد که در تحقیقات پیشین گزارشی در مورد توانایی این باکتری در حذف فلز کادمیوم ارائه نشده بود. البته آزمایش صورت گرفته توسط Mahvi و Diels، بر سویه *Alcaligenes eutrophus* CH34 که هم‌خانواده آکروموباکترها محسوب می‌شود، نشان داد که غشای خارجی این باکتری مکان مناسبی برای جذب کادمیوم است؛ زیرا فلز به پروتئین‌های لایه‌ی خارجی باکتری متصل می‌شود و تشکیل کمپلکسی را می‌دهد.

نتایج حاصل از مطالعه‌ی کنونی نشان داد که سویه Strain XJUHX-6 قادر به تحمل غلظت‌های ۱۰۰-۲۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم است که حداکثر و حداقل میزان جذب زیستی (برحسب mg/l) به‌ترتیب در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۵ میلی گرم بر لیتر کادمیوم به‌دست آمد. به‌طور کلی هنگامی‌که غلظت فلز سنگین در محلول پایین باشد، نسبت تعداد یون‌های فلزی در مقایسه با سطح باکتری که در دسترس قرار دارد، کوچک است لذا می‌توان به این نتیجه رسید که در غلظت‌های کم فلزات، میزان جذب زیستی توسط باکتری به غلظت اولیه فلز بستگی ندارد در حالی‌که غلظت بالای فلز سنگین در محلول نتیجه عکس به‌دنبال دارد. هر چه غلظت فلز مورد نظر در محلول فراتر رود، تعداد یون‌های فلزی نیز افزایش می‌یابند. در نتیجه یونهای فلزات سنگین جهت تشکیل کمپلکس با دیواره‌ی سلولی باکتری با همدیگر رقابت می‌کنند و تعداد بیشتری از یون‌ها جذب باکتری می‌شوند (Vinodhini et al., 2010).

مقایسه درصد جذب کادمیوم در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر نسبت به غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نشان داد که با افزایش میزان غلظت فلز، درصد جذب کادمیوم نیز کاهش می‌یابد. احتمالا به‌علت غلظت بالای کادمیوم و سمیت ناشی از

آن، باکتری نیازمند زمان است تا خود را با شرایط موجود سازگار کند که عدم جذب کادمیوم در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر و در ۳۰ دقیقه ابتدایی، دلیلی بر اثبات این ادعا است. علاوه بر این، نتایج حاصل از تحقیقات پیشین با دست‌آوردهای این مطالعه همخوانی دارد.

طبق گزارش Shirdam و همکاران در سال ۲۰۰۶، سه باکتری دریایی *pseudomonas putida* ، *Bacillus cereus* و *P. pseudoalcaligenes* مقاوم به فلز کادمیوم از رسوبات تالاب انزلی جداسازی شدند. این باکتری‌ها جذب و رشد بالایی در حضور غلظت ۱۰۰-۸۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم نشان دادند. بالاترین جذب کادمیوم در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر مشاهده شد و باکتری *P. putida* نیز ۵۰-۴۰ درصد کادمیوم را در غلظت ۸۰ میلی گرم بر لیتر جذب کرد.

بررسی میزان حذف کادمیوم در غلظت‌های ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۲ و ۵ میلی گرم بر لیتر توسط توده باکتریایی نیز نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم، درصد حذف فلز توسط توده سلولی کاهش می‌یابد(تیلکی و شریعت، ۱۳۸۲).

به‌طور کلی دست‌آوردهای این تحقیق بیانگر این مسئله بود که سویه باکتری *A. piechaudii* Strain XJUHX-6 قادر به رشد در محیط حاوی کادمیوم است. جذب فلز کادمیوم از محلول‌های حاوی غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر از دقایق نخست آغاز شد و تا مراحل نهایی سنجش ادامه داشت. همچنین درصد فلز کادمیوم حذف شده از محلول با افزایش غلظت کادمیوم از ۲۵ تا ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر کاهش یافت. بنابراین با توجه به عملکرد باکتری جداسازی شده و حذف ۶۵ درصدی کادمیوم از محیط، این باکتری به‌عنوان گونه‌ای مناسب جهت کاهش آلودگی فلز کادمیوم پیشنهاد می‌گردد.

۵. سپاسگزاری

این تحقیق با پشتیبانی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر انجام شده است. بدین وسیله مراتب تشکر مؤلفین از مسوولین مربوط ابراز می‌گردد.

منابع

تیلکی، ر.؛ شریعت، م.، ۱۳۸۲. بررسی میزان حذف فلز کادمیوم از آب به‌وسیله توده باکتریایی در فیلتر سیلیسی بیولوژیکی. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران، سال سیزدهم، شماره ۴۰، صفحات ۲۶-۱۷.

جاوید، ا.؛ صمدیار، ح.، ۱۳۸۶. مدل سازی تاثیر تغییر pH در انتقال فلزات سنگین (نیکل و کادمیوم) در خلیج فارس (خور موسی) ناشی از فعالیت‌های پتروشیمی بندر امام خمینی(ره). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نهم، شماره چهارم، صفحات ۱۳-۱.

علیپور، س.؛ جعفر زاده، ن.؛ پرهام، ه. ۱۳۸۷. بررسی مشکلات زیست محیطی و مدیریت آلاینده‌ها در واحد الفین مجتمع پتروشیمی بندر امام. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره چهارم، صفحات ۲۶۰-۲۴۶.

Ahalya, N.; Ramachandra, T.V.; Kanamadi, R.D., 2003. Biosorption of heavy metals. Journal of Chemistry and Environment, 7(4): 71-78.

Alluri, H.K.; Ronda, S.R.; Settalluri, V.S.; Bondili, J.S.; Suryanarayana, V.; Venkateshwar, P., 2007. Biosorption: An eco-friendly alternative for heavy metal removal. African Journal of Biotechnology, 6 (25): 2924-2931.

Azza, A.A.; Wesam, A.H.; Hedayat, M.S.; Ghada, A.A.F., 2009. Biosorption of some heavy metal ions using bacterial species isolated from agriculture waste water drains in Egypt. Journal of Applied Sciences Research, 5(4): 372-383.

Dzairi, F.Z.; Zeroual, Y.; Moutaouakkil, A.; Taoufik, J.; Talbi, M.; Loutfi, M.; Lee, K.; Blaghen, M., 2004. Bacterial volatilization of mercury by immobilized bacteria in fixed and fluidized bed bioreactors. Annals of Microbiology, 54(4): 353-364.

Emtiazi, G.; Ethemadifar, Z.; Habibi, M., 2004. Production of extra-cellular polymer in *Azotobacter* and biosorption of metal by exopolymer. African Journal of Biotechnology, 3(6): 330-333.

Green-Ruiz, C., 2006. Mercury (II) removal from aqueous solutions by nonviable *Bacillus* sp. from a tropical estuary. Bioresource Technology, 97: 1907–1911.

Hetzer, A.; Daughney, C.J.; Morgan, H.W., 2006.

1(3): 199-204.

Morello, J.A.; Granato, P.A.; Mizer, H.E., 2002. Laboratory manual and workbook in microbiology. 7th Edition. 304P.

Naz, N.; Hilary, K.Y.; Ahmed, N.; Geoffery, M.G., 2005. Cadmium Accumulation and DNA Homology with Metal Resistance Genes in Sulfate-Reducing Bacteria. Applied and Environmental Microbiology, 71(8): 4610-4618.

Shirdam, R.; Khanafari, A.; Tabatabaee, A., 2006. Cadmium, nickel and vanadium accumulation by three strains of marine bacteria. Iranian Journal of Biotechnology, 4(3): 180-187.

Vieira, H.S.F.; Volesky, B., 2000. Biosorption: a solution to pollution: a review. International Microbiology, 3: 17-24.

Vinodhini, V.; Anabarasu, V.; Das, N., 2010. Screening of natural waste products for removal of Cr (VI) ions from industrial effluents. Indian journal of natural products and resources, 1(2): 174-180.

Wang, J.; Chen, C., 2006. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. Biotechnology Advances, 24: 427-451.

Woodland, J., 2004. Bacteriology. Chapter 5. 2th Edition. 44P.

Cadmium ion Biosorption by the thermophilic bacteria *Geobacillus stearothermophilus* and *G. thermocatenulatus*. Applied Environmental Microbiology, 72(6): 4020-4027.

Hussein, H.; Moawad, H.; Farag, S., 2003. Isolation and characterization of *pseudomonas* resistant to heavy metals contaminants. Arabic Journal Biotechnology, 7(1): 13-22.

Kim, S.U.; Cheong, Y.H.; Seo, D.C.; Hur, J.S.; Heo, J.S.; Cho, J.S., 2007. Characterization of heavy metal tolerance and biosorption capacity of bacterium strain CPB4 (*Bacillus* spp.). Water Science and Technology, 55(1-2): 105-111.

Leung, W.C.; Wong, M-F.; Chua, H.; Lo, W.; Yu, P.H.F.; Leung, C.K., 2000. Removal and recovery of heavy metals by bacteria isolated from activated sludge treating industrial effluents and municipal wastewater. Water Science and Technology, 14(12): 233-240.

Lyer, A.; Mody, K.; Bhavanath, J., 2004. Accumulation of hexavalent chromium by an exopolysaccharide producing marine *Enterobacter cloaceae*. Marine Pollution Bulletin, 49: 974-977.

Mahvi, A.H.; Diels, L., 2004. Biological removal of cadmium by *Alcaligenes eutrophus* CH34. International Journal of Environmental Science and Technology,