

بررسی و مقایسه بیو جاذب‌های حذف فلزات سنگین کادمیوم، کروم و سرب از فاضلاب صنعتی

حمیده رشیدی، فروزان فرخیان، سمیه زلّقی و معراج امیرجانی

دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۳۸۵-۳۶۶

Vol. 7(2), Summer 2021, 366-385

DOI: 10.22034/jewe.2020.253629.1446

Investigation of Biosorbents for the Removal of the Heavy Metals (Cadmium, Chromium and Lead) from Industrial Wastewater

Rashidi, H., Farrokhian, F., Zallaghi, S. and Amirjani, M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

رشیدی، ح.، فرخیان، ف.، زلّقی، س. و امیرجانی، م. (۱۴۰۰) بررسی و مقایسه بیو جاذب‌های حذف فلزات سنگین کادمیوم، کروم و سرب از فاضلاب صنعتی محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۲، صفحات: ۳۸۵-۳۶۶.

Citing this paper : Rashidi, H., Farrokhian, F., Zallaghi, S. and Amirjani, M. (2021) Investigation of biosorbents for the removal of the heavy metals (cadmium, chromium and lead) from industrial wastewater. Environ. Water Eng., 7(2), 366-385. DOI:10.22034/jewe.2020.253629.1446

مقاله مروری

بررسی و مقایسه بیو جاذب‌های حذف فلزات سنگین کادمیوم، کروم و سرب از فاضلاب صنعتی

حمیده رشدی^۱، فروزان فرخیان^{۲*}، سمیه زلقی^۱ و معراج امیرجانی^۱

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
^۲ استادیار گروه محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

* نویسنده مسئول: f.farrokhan@iauhvaz.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۱۰/۰۳]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۹/۲۶]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۷/۳۰]

چکیده

فلزات سنگین از منابع مختلف تولید شده و اکثر آلودگی‌های ناشی از آن‌ها به منابع آبی وارد می‌شوند. بیش‌تر آن‌ها به علت سمیت و سرطان‌زایی برای انسان و محیط‌زیست خطرناک هستند. برخی از آن‌ها مانند کادمیوم، سرب و کروم در غلظت‌های کم نیز دارای اثرات سمی هستند. حذف فلزات سنگین از فاضلاب در سال‌های اخیر با توجه به قوانین محیط‌زیستی مورد توجه قرار گرفته است. فاضلاب صنعتی حاوی فلز سنگین باید قبل از تخلیه در جریان آب، تصفیه شوند اما فرآیند تصفیه پرهزینه است. پژوهش و توسعه روش‌های کارآمد با کم‌ترین هزینه و بیش‌ترین کارایی در حذف آلاینده‌های محیط‌زیستی مخرب مانند فلزات سنگین یکی از تلاش‌های کنونی جامعه بشری است. جاذب‌هایی که مقرون به‌صرفه بوده و قابلیت استفاده مجدد داشته باشند، قابل کاربرد در صنایع هستند. روش‌های مرسوم معایبی دارند و به‌همین دلیل علاقه‌مندی فراوانی به شناخت و استفاده از مواد بیولوژیکی در دسترس و سازگار با محیط‌زیست و تجاری‌سازی آن‌ها وجود دارد. این مطالعه به شیوه کتابخانه‌ای با استناد به منابع و جستجو در مقالات متعدد انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد انجام تصفیه بیولوژیکی به‌وسیله قارچ، مخمر، باکتری و جلبک نسبت به روش‌های رایج دارای مزایایی مانند کاهش هزینه، کاهش حجم دفعی، مصرف انرژی کمتر، راندمان بالاتر، قابلیت احیاء جرم بیولوژیکی و آلودگی کم‌تر محیط‌زیستی می‌باشد. مقایسه صورت گرفته بین گونه‌های جلبک سبز، قهوه‌ای و قرمز جهت حذف کادمیوم و سرب نشان داد ظرفیت جذب جلبک قهوه‌ای با حداکثر ظرفیت جذب ۲۳۹/۱ mmol/g بیش‌تر از سایر گونه‌های جلبک بود.

واژه‌های کلیدی: جاذب‌های بیولوژیکی؛ حذف فیزیکی؛ حذف شیمیایی؛ ظرفیت جذب.



۱- مقدمه

فلزات سنگین و منابع ورودی آن‌ها به محیط، اکثر آلودگی‌های فلزی در نهایت به آب‌های سطحی و زیرزمینی ختم می‌شوند و مقدار قابل توجهی از اکثر فلزات به هوا رها شده و در نهایت علاوه بر تخلیه مستقیم به آب‌ها، مقادیری ته‌نشین شده و یا به وسیله نزولات جوی شسته شده و به آب‌های سطحی و یا زیرزمینی وارد می‌شوند. مقاومت و پایداری فلزات در محیط‌زیست مشکلات ویژه‌ای را پدید می‌آورد (Amiri Baghbadrani and Abbasi 2009). این فلزات به صورت محلول در آب و خاک وارد شده و باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و خاک‌ها می‌شوند، همچنین می‌توانند سبب برهم‌زدن بوم‌سازگانی که به آن وارد می‌شوند، گردند (Tabatabayi et al. 2001).

فلزات سنگین از راه‌های مختلف می‌توانند وارد بدن انسان شوند و حتی قرار گرفتن در معرض این فلزات در غلظت کم نیز می‌تواند باعث آسیب به چندین عضو بدن شده و مسمومیت با فلزات سنگین منجر به آسیب‌دیدن سامانه‌های اصلی بدن می‌شود و ممکن است منجر به افزایش خطر ابتلا به انواع سرطان‌ها شوند (Tchounwou et al. 2012). آلودگی ایجاد شده بوسیله یون‌های فلزات سنگین بسیار ماندگار است و بیش‌تر آن‌ها غیرقابل تجزیه هستند. به‌طور عام، فلزات سنگین سم‌های سیستمیک بوده با اثر اختصاصی روی اعصاب، کلیه، جنین و سرطان‌زایی می‌توانند سبب مرگ و میر شوند (Shakibayi et al. 2009). وجود فلزات سنگین مختلف مانند کروم، سرب، روی، آرسنیک، مس، نیکل، کبالت، کادمیوم، و جیوه با تأثیر بر اندام‌های مختلف بدن منجر به کوری، ناشنوایی، آسیب مغزی، از بین رفتن قدرت باروری، سرطان و بسیاری دیگر از مشکلات شدید سلامتی شده که در نهایت باعث مرگ فرد می‌شوند (Alluri et al. 2007). در جدول شماره (۱) منابع تولید برخی از فلزات سنگین و حدود مجاز آن‌ها بر اساس استانداردهای بین‌المللی بیان شده است. با توجه به رشد چشم‌گیر فعالیت‌های صنعتی و به دنبال آن افزایش حجم پساب تولیدی از صنایع و ورود فلزات آلاینده به منابع آبی و افزایش آلودگی ناشی از ورود این مواد، شناخت و بررسی فلزات سنگین از یک سو و از سوی

تخلیه نامناسب فاضلاب شهری و صنعتی و وجود آلاینده‌های سمی باعث آلودگی منابع آبی شده و سلامت جامعه بشری را با خطر جدی روبرو می‌نماید، با افزایش فعالیت‌های صنعتی و شهرنشینی و تولید حجم بالای فاضلاب ناشی از این فعالیت‌ها، انتشار فلزات سنگین در محیط‌زیست مشکلات بسیاری از کشورها می‌باشد (Mahrasbi and Farahmandkia 2008)، بنابراین به کار بردن روش‌هایی جهت حذف و تصفیه آلاینده‌ها از پساب ضروری به نظر می‌رسد. گروهی از آلاینده‌ها که در سال‌های اخیر به دلیل افزایش فعالیت‌های صنعتی و افزایش حجم فاضلاب تولیدی ناشی از آن افزایش یافته فلزات سنگین هستند. این فلزات در دسته آلاینده‌های درجه اول سمی قرار دارند، ترکیبات درجه اول سمی ترکیباتی هستند که دارای خطرات محیط‌زیستی بوده و برای سلامت انسان مضر هستند (Cheremisinoff 2002). این فلزات دارای توانایی تجمع زیستی بوده و ماندگاری بالایی در محیط‌زیست و بدن انسان دارند و یون‌های این فلزات در محیط‌زیست هم به‌صورت طبیعی و هم در نتیجه فعالیت‌های صنعتی به وجود می‌آیند (Li et al. 2013; RaviKumar 2006)

فلزات سنگین از جمله رایج‌ترین آلاینده‌هایی هستند که معمولاً در غلظت‌های بالا در فاضلاب صنایع یافت می‌شوند و باعث آسیب به محیط‌های آبی و به مخاطره انداختن سلامت موجودات زنده و به‌خصوص انسان می‌شوند، در این میان برخی از فلزات سنگین به‌عنوان مثال کروم شش ظرفیتی و آرسنیک به سرطان‌زایی مشهور هستند (Meena et al. 2008). تماس با فلزات سنگین می‌تواند باعث اختلالات عصبی، پیری سلولی، نارسایی کبدی و کلیوی و سرطان‌زایی شود. بر این اساس فلزات سنگین شامل کادمیوم، مس، جیوه، سرب، نیکل و روی در لیست اولویت‌دار آلاینده‌های خطرناک هستند (Eslami and Nemati 2015) و از میان این فلزات جیوه با اتصال به سولفیدریل‌های موجود در پروتئین‌ها و آنزیم‌ها سلول‌ها را از فعالیت‌های عادی باز داشته و باعث ایجاد بیماری‌های شدید و هم‌چنین مرگ و میر می‌شود (Abdolahi and Tababae 2012) و بنابراین عنصر بسیار خطرناکی محسوب می‌شود. برخلاف دامنه وسیع کاربردهای



دیگر بررسی روش‌های تصفیه آن‌ها از پساب به‌ویژه شناسایی و به‌کارگیری روش‌های مقرون به‌صرفه امری ضروری است.

جدول ۱- حدود مجاز برخی از فلزات سنگین بر اساس استانداردهای بین‌المللی

Table 1 Permissible limits of some heavy metals according to international standards

References	Contamination Sources	Effects on Human	Maxium Allowable Concentration WHO/USEPA (mg/l)	Heavy Metal
Purkayastha (2014); Shafigh (2018); Fowler (2009); Aoshima (2016); Dixit (2015)	باتری‌های زائد، رنگ‌ها، کارخانه‌های تولید کننده حشره‌کش‌ها، صنایع تولید کننده کود شیمیایی	آسیب به کلیه، سرطان ریه، بیماری ایتای ایتای، ایجاد برونشیت و بیماری‌های روده ایی، ایجاد نقص در سیستم قلبی، عرقی و ایمنی، به هم زدن تعادل کلسیم در سیستمهای بیولوژیکی، جهش‌زا	0.005	Cadmium
Shakoor (2016); USEPA (2012); Barakat (2011)	شیرابه‌های ناشی از زباله‌های الکترونیک، تولید شیشه و فرسایش رسوبات طبیعی، رواناب از باغات	سرطان، آسیب پوست، مشکلات سیستم گردش خون، سرطان احشایی و بیماری‌های عروقی	0.01	Arsenic
WHO (2011); Shafigh (2018); Babel and Kurniawan (2004)	فرسایش رسوبات طبیعی، تخلیه از کارخانه‌ها و تصفیه‌خانه‌ها، انتشار شیرابه از محل دفن زباله‌ها	حساسیت، استفراغ، ضعف اعصاب، آسیب به سیستم گردش خون و اعصاب	0.002	Mercury
WHO (2011); Zahra (2012)	خوردگی و فرسایش سیستم‌های لوله‌کشی خانگی	تأخیر در رشد در کودکان، از نظر روحی و جسمی، کم‌خونی، استفراغ، آسیب کلیه، فشارخون بالا	0.005-0.015	Lead
Yadav (2015); Costa and Klein (2006); Patlolla (2008)	صنعت فولاد، استخراج صنایع فلزی، صنایع شیمیایی، واحدهای سیمان و مواد نسوز، صنایع تولید چرم	حساسیت‌های پوستی (درماتیت)، نارسایی کلیوی، حالت تهوع و استفراغ، اسهال، سردرد	0.05-0.25	Chromium

هستند و از عوارض نامطلوب حضور آن در بدن می‌توان به اسهال، شکم‌درد و استفراغ شدید، شکستگی استخوان، آسیب به سیستم عصبی مرکزی و ناهنجاری‌های روانی اشاره کرد.

تجمع کروم در بافت‌های حیوانی و گیاهی می‌تواند سبب بروز مخاطرات جدی شود (Salvato et al. 2003)، فلز سرب نیز در مواجهه بالا دارای اثرات مخرب بر رشد کودکان بوده و رشد

۱-۲- اهمیت بررسی کروم، کادمیوم و سرب

رشد و توسعه فعالیت‌های صنعتی و محدود بودن منابع آبی از یک‌سو و از سوی دیگر وجود فلزات سنگین حاصل از فعالیت‌های گوناگون انسان از جمله فعالیت‌های صنعتی باعث بروز پیامدها و مشکلات محیط‌زیستی و سلامتی برای محیط‌زیست و انسان شده است. کروم، کادمیوم و سرب از جمله مهم‌ترین فلزات سنگین خطرآفرین هستند که در صدر فهرست سمیت قرار دارند (Farooq et al. 2001). کادمیوم و ترکیبات آن بسیار سمی



اینترنتی داخلی و خارجی مانند SID، Magiran، Iranmedex، Scopus، Sciencedirect، Madscape، Springer، Google Scholar و بررسی کتب علمی و نتایج به-دست آمده در خصوص فلزات سنگین، هم‌چنین روش‌های گوناگون حذف این فلزات و بررسی روش‌های بیولوژیکی جذب فلزات سنگین حاصل از فعالیت‌های صنعتی، در مجموع حدود ۱۵۰ مقاله جهت بررسی های اولیه انتخاب شدند و در نهایت نتایج و مطالب حدود ۱۰۰ مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲- فاضلاب و پساب صنعتی

در مفهوم کلی فاضلاب عموماً به دو دسته فاضلاب‌های بهداشتی و صنعتی تقسیم‌بندی می‌شود. فاضلاب صنعتی همان‌طور که از نام آن پیداست در نتیجه کاربرد آب در بخش‌های مختلف صنعتی همچون صنایع لبنی، صنایع آبکاری و رنگرزی، کشتارگاه‌ها، دام‌پروری‌ها، کارواش، صنایع نفت و گاز و پتروشیمی تولید می‌گردد. ماهیت فاضلاب‌های صنعتی یکسان نبوده و بسته به فرآیند صنعتی به کار رفته متفاوت می‌باشد (Mahdizadeh, 2015).

۲-۳- بیوجاذب‌ها

جاذب‌ها یکی از روش‌های تیمار فیزیکی و شیمیایی کارآمد جهت حذف فلزات سنگین از محلول‌ها هستند (Dhiraj et al., 2008). جذب بیولوژیکی فرآیندی است که با کمک مواد بیولوژیکی مثل باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و باقیمانده مواد کشاورزی از طریق ایجاد کمپلکس با فلزات، بدلیل وجود گروه‌های خاص منجر به جداسازی انواع فلزات از محیط‌های آبی می‌شود (Quintelas et al., 2009). در سال‌های اخیر، به دلیل معایبی که در استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی وجود داشته‌اند، استفاده از توده‌های زیستی جهت حذف فلزات سنگین از پساب‌ها مورد توجه قرار گرفته است (Eslami and Nemati, 2015). جاذب‌های بیولوژیکی یا از پسماندهای صنایع مختلف و یا از طبیعت به دست می‌آیند. موارد متعددی جزء جذب‌کننده‌ها محسوب می‌شوند که جهت جداسازی فلزات و مواد آلی در ابعاد گسترده به کار می‌روند (Mohammadi et al., 2012). مطالعات صورت گرفته در زمینه جذب بیولوژیکی نشان می‌دهد که بعضی از اجرام آلی ظرفیت جذب بالایی برای فلزات سنگین دارند،

کودکان را دچار اختلال می‌کند (USEPA 2012)، در بزرگ-سالان نیز خطر بیماری‌های قلبی را ایجاد کرده و احتمال سقط جنین افزایش می‌دهد.

پژوهش و توسعه روش‌های نوین و کارآمد با کم‌ترین هزینه و بیش‌ترین کارایی در حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی مخرب مانند فلزات سنگین یکی از تلاش‌های حال حاضر جامعه بشری است. جاذب‌هایی که قابلیت احیا و استفاده مجدد را داشته و مقرون‌به صرفه باشند، قابل کاربرد در صنایع هستند (Luch, 2012). تاکنون از روش‌های مختلفی جهت حذف و تصفیه پساب‌های صنعتی حاوی فلزات سنگین به‌ویژه کرم، کادمیوم و سرب استفاده شده است؛ از آن جمله می‌توان به روش‌های فیزیکی و شیمیایی اشاره کرد که این روش‌ها دارای معایبی هستند. برخی از این معایب شامل کم اثر بودن در حذف یون‌های فلزات سنگین، مصرف مقدار زیاد معرف و مواد شیمیایی، تولید لجن‌های سمی در مقادیر بالا، هزینه بالا و مسائل مربوط به دفن ایمن مواد حاصله هستند (Wang et al., 2010)، به‌همین دلیل علاقه‌مندی فراوانی به شناخت و استفاده از مواد بیولوژیکی کم‌هزینه و در دسترس و سازگار با محیط‌زیست و تجاری‌سازی آن‌ها وجود دارد. امروزه توجه بسیاری زیادی به استفاده از میکروارگانیسم‌هایی با قدرت جذب‌کنندگی بالا، سازگار با محیط‌زیست و در دسترس یا موجود در منابع طبیعی شده است و برخی از میکروارگانیسم‌ها مانند قارچ‌ها، جلبک‌ها و مخمرها در فرآیند زیست‌پالایی بیش‌تر از سایر گونه‌ها مورد بررسی واقع شده و انتخاب‌های وسیع‌تری را پیش روی ما قرار می‌دهند (Mohammadi et al., 2012). با توجه به اهمیت این موضوع در این مطالعه به بررسی روش‌های گوناگون حذف فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم با تأکید بر جاذب‌های زیستی پرداخته شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش پژوهش

با توجه اهمیت حذف فلزات سنگین از پساب صنایع گوناگون، جهت انجام این مطالعه و بررسی روش‌های گوناگون حذف فلزات سرب، کروم و کادمیوم با تأکید بر جاذب‌های زیستی، پس از جستجوی متعدد مقالات مرتبط تا سال ۲۰۲۰، در پایگاه‌های



محصولات جانبی مانند گل سرخ، ذرات خاکستر صنعتی (۵) زیست‌توده‌ها مانند کیتوسان، قارچ و زیست‌توده باکتریایی تقسیم می‌شوند (Crini et al. 2018). روش‌های مختلفی برای حذف و جذب یون‌های فلزات سنگین از فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی وجود دارد و به‌طور کلی در سه دسته فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تقسیم می‌شوند. در برخی موارد روش‌های صوتی، تابشی و الکتریکی نیز در یک دسته‌ی جداگانه طبقه‌بندی می‌شوند (Suhās Gupta 2009; Robinson et al. 2001). روش‌های رایج و معمول حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی که شامل راهبردهای فیزیکی و شیمیایی می‌شوند مانند: فیلتراسیون، جذب سطحی، ترسیب شیمیایی، تصفیه الکتروشیمیایی، اکسیداسیون/ احیا، تبادل یون، فتاوری غشائی، اسمز معکوس، استخراج از حلال و بازیافت تبخیری هستند (Fan et al. 2017; Yunus Pamukoglu and Kargi 2006). هرکدام از این روش‌ها مزایا و معایبی دارند و دانستن این فاکتورها برای انتخاب و به‌کارگیری آن‌ها در حالت خاص مفید است. در جدول شماره (۲) به برخی از این مزایا و معایب اشاره شده است.

به‌طوری‌که با فناوری‌های متداول حذف فلزات سنگین از فاضلاب قابل رقابت هستند. معرفی این اجرام آلی به صنعت منجر به تولید برخی محصولات تجاری گردیده که از آن‌ها در مقیاس واقعی برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب استفاده می‌شود (Fouladi Fard and Azimi 2014).

۳- یافته‌ها و بحث

جاذب‌هایی که در صنعت استفاده می‌شوند باید ویژگی‌هایی داشته باشند، برخی از این ویژگی‌ها شامل، جذب و دفع سریع و پربازده، قابلیت احیا شدن و استفاده مجدد، اندازه و خواص فیزیکی مناسب برای استفاده در سامانه‌های پیوسته، انتخاب پذیری بالا، قیمت مناسب و در دسترس بودن هستند. معمولاً جاذب‌های حذف فلزات سنگین به ۵ دسته‌ی کلی (۱) مواد طبیعی مثل خاک اره، چوب و بوکسیت (۲) مواد طبیعی فرآوری شده با هدف توسعه خواص و ساختار آن‌ها مثل کربن فعال، آلومینای فعال یا سیلیکاژل (۳) مواد سنتزی از قبیل رزین‌های پلیمری، ژئولیت‌ها یا آلومینوسیلیکات‌ها (۴) ضایعات جامد کشاورزی و

جدول ۲ ویژگی‌های برخی از فناوری‌های مرسوم برای حذف فلزات سنگین

Table 3 Characteristics of some conventional technologies for the removal of heavy metals

References	Disadvantages	Advantages	Methods
Wang (2010); Juttner (2000); Yang (2001)	تولید مقادیر بالای لجن، وابسته به pH، دشواری جداسازی، نیاز به استفاده از مواد شیمیایی	ساده، ارزان، قابلیت حذف بیشتر فلزات	Chemical Sedimentation
Shiroud Heydari (2015); Alyuz and Veli (2009); Rengaraj (2001); Dabrowski (2004)	حساس به ذرات، هزینه بهره‌برداری بالا، اختصاصی بودن و عدم دسترسی به رزین‌های مختلف جهت حذف فلزات	عدم تولید لجن، امکان بازیابی فلزات، انتخاب پذیری، ساده بودن و عدم پیچیدگی	Ion exchange
Gunatilake (2015); Petrov and Nenov (2006); Chen and Chen (2003)	هزینه بالا، فشار بالا، عمر مفید و محدود غشاء	تولید پسماند جامد کمتر، مصرف کم مواد شیمیایی	Membrane process
Mezohegyi (2012); Zabihi (2009); Zabihi (2010); Zhang (2016)	عدم قابلیت بازسازی، قیمت بالا، دشواری جداسازی از محیط	قابلیت حذف اکثر فلزات را دارد، انطباق پذیری، پایداری فیزیکی و شیمیایی	Adsorption with activated carbon
Farooq (2001); Wang (2010); Tran (2017)	زمان‌بر بودن، پرهزینه بودن، سطح بالای از الکتروود موردنیاز است	قابلیت انتخاب فلز، قابلیت دستیابی به فلزات خالص، عدم مصرف مواد شیمیایی	Electrochemical methods



حذف حداکثر ۹۹٪ استفاده شود (Shafigh et al. 2018). بنابراین به این فن در تصفیه فاضلاب صنعتی عمدتاً به دلیل مزیت‌هایی مانند کم‌هزینه بودن، در دسترس بودن جاذب‌های زیستی، انتخاب فلزات، بازیابی آسان فلزات، جذب بیش‌تر فلزات سنگین و استفاده مجدد از آن، بیش‌تر توجه می‌شود (Ali 2010; Mandal 2014). در مقایسه بین فرآیند جذب زیستی و تجمع زیستی می‌توان برخی ویژگی‌های جاذب‌ها مانند دما، قیمت، شرایط نگهداری و ذخیره‌سازی، قدرت انتخاب پذیری، pH، تطبیق پذیری، میزان و شدت حذف سمیت، قدرت جمع‌آوری ماده سمی و احیاء و استفاده مجدد از جاذب را مورد بررسی قرارداد. در جدول شماره (۳) نتایج حاصل از مقایسه بین جذب و تجمع زیستی بیان شده است.

در فرآیند زیست پالایی می‌توان از میکروبی‌ها و میکروارگانیسم‌ها برای حذف فلزات سنگین استفاده کرد، علی‌رغم مزایای زیست محیطی و اقتصادی این روش با توجه به محدودیت‌هایی مانند مشکل بودن به دست آوردن میکروبی ارزشمند برای زیست‌پالایی از میان سایر میکروبی‌ها، توانایی سازگاری و راندمان زیست-پالایی میکروارگانیسم‌ها، این فن‌آوری در مقیاس بزرگ، قابلیت عملیاتی شدن را ندارد و نیازمند پژوهش‌ها و بررسی‌های بیش‌تر است (Guo et al. 2010; Eslami and Nemati 2015).

نقش بعضی میکروارگانیسم‌ها مثل باکتری‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و جلبک‌ها در فرآیند حذف فلزات سنگین به روش زیست پالایی بیش‌تر مورد توجه واقع شده است. به‌طور کلی میکروارگانیسم‌های جذب‌کننده‌ی در دسترس به سه گروه باکتری، جلبک و قارچ تقسیم می‌شوند (Mohammadi et al. 2012). جاذب‌های زیستی مختلفی وجود دارند که از آن‌ها در فرآیند حذف فلزات سنگین استفاده می‌شود که شامل موارد زیر هستند:

روش‌های فیزیکی و شیمیایی رایج برای جداسازی غلظت‌های بالای فلزات سنگین کافی می‌باشند، اما اغلب برای کاهش غلظت آن‌ها تا رسیدن به حد استاندارد مورد قبول و کارآمد نمی‌باشند و به دلیل ناکارآمدی روش‌های فیزیکی و شیمیایی در شرایط خاص استفاده از روش‌های بیولوژیکی مورد توجه ویژه قرار گرفته و تصفیه بیولوژیکی یکی از روش‌های استاندارد و قابل قبول در سطح جهان است که جهت استفاده مجدد و بازیافت پساب‌های صنعتی از آن استفاده می‌شود (Malakoutian et al. 2014; Esmaili and Ghasemi. 2009). جذب بیولوژیکی، بر اساس ظرفیت اتصال فلز به مواد مختلف بیولوژیکی مانند جلبک‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و مخمرها بوده و به دلیل راندمان بالا و مقرون‌به‌صرفه بودن آن‌ها به‌خصوص در غلظت کم فلزات در سال‌های اخیر مورد توجه خاصی قرار گرفته است. در بین این مواد بیولوژیکی، ظرفیت جذب فلزات سنگین توسط ریز جلبک‌ها بهتر و کارآمدتر است (Crini et al. 2019).

در جذب زیستی از بقایای مرده (غیر فعال) ریزاندام‌ها جهت حذف فلزات سنگین استفاده می‌شود (Wang and Chen 2009) و تجمع زیستی یک فرآیند پیچیده با استفاده از ریزاندام‌های زنده است (Yilmazer and Saracoglu 2009). در سیستم‌های زنده نیاز به اکسیژن و غذا بالا بوده و از طرف دیگر سمیت فلز و دیگر عوامل نامناسب نیز نگهداری آن‌ها را به‌صورت زنده مشکل می‌کند. روش جذب زیستی نسبت به روش تجمع زیستی دارای برتری‌هایی است که از جمله مزایای این روش می‌توان به استفاده مجدد از توده سلولی، عدم نیاز به محیط کشت در هنگام جذب و باز جذب فلز و هزینه پایین این روش اشاره کرد (Bia and Abraham 2003). در حال حاضر علاقه رو به رشدی جهت استفاده از مواد در دسترس و کم‌هزینه در مقیاس تجاری جهت حذف فلزات سنگین وجود دارد. مزایای عمده این فناوری‌ها تأثیر آن‌ها در کاهش یون‌های فلزات سنگین به سطح خیلی پایین با استفاده از مواد جاذب ارزان قیمت می‌باشد (Mandal 2014).

به‌دلیل سهولت کارکرد و کاربردهای گسترده فرآیند جذب، این روش به‌عنوان یک روش جامع تصفیه و احیای آب در نظر گرفته شده است و همچنین می‌تواند برای از بین بردن آلاینده‌های آلی، معدنی و بیولوژیکی با کارایی



جدول ۳- مقایسه جذب زیستی و تجمع زیستی

Table 3 Comparison of biosorption and bioaccumulation

Parameter	Bioaccumulation	Bioabsorption	References
pH and Temperature	دما و pH تأثیرگذاری شدیدی روی فرآیند دارند	دما در آن بی‌اثر بوده و pH روی فرآیند تأثیرگذاری زیادی دارند.	Wang and Chen (2009)
Price	پرهزینه	کم‌هزینه	Fatehi (2016); Dhankhar and Hooda (2011); Ahluwalia and Goyal (2007)
Maintenance and storage	نیاز به انرژی خارجی متابولیسمی برای نگهداری محیط کشت دارد	بهراحتی نگهداری و ذخیره می‌شود	Fatehi (2016); Wang and Chen (2009)
Selectivity	بهبتر از جذب زیستی	ضعیف است اما با پیش‌فرآوری می‌توان انتخاب پذیری را افزایش داد	Wang and Chen (2009)
Adaptation	انعطاف بالایی ندارد و متأثر از غلظت بالای فلز یا نمک است	مناسب است	Fatehi (2016)
Collection of toxic substance	با فرض امکان‌پذیری، امکان استفاده از سلول‌ها در سیکل بعدی وجود ندارد	با انتخاب شونده مناسب امکان جمع‌آوری ماده سمی وجود دارد	Fatehi (2016)
Amount and Intensity of eliminate toxicity	میزان جذب کم است، شدت آن کندتر از جذب زیستی است	میزان جذب و حذف ماده سمی بالاست، شدت بیشتر	Fatehi (2016)
Regenerate and reuse the adsorbent	امکان احیا و استفاده بسیار محدود است	امکان احیای مناسب و استفاده مکرر از آن وجود دارد	Wang and Chen (2009)

۳-۱- باکتری‌ها

کروم، کادمیوم و سرب گونه *Pseudomonas sp.* با ظرفیت جذب معادل ۲۷۸ mg/g در حذف کادمیوم، گونه *Corynebacterium glutamicum* با ظرفیت جذب معادل ۵۷۶/۷ mg/g در حذف سرب و گونه *Aeromonas caviae* با ظرفیت جذب معادل ۲۸۴/۴ mg/g بالاترین میزان جذب را در حذف کروم از میان سایر گونه‌ها داشته‌اند. نتایج حاصل از برخی مطالعات دیگر در استفاده از گونه‌های باکتریایی در فرآیند زیست‌پالایی نشان‌دهنده ظرفیت بالای باکتری اندروفیتیک L14 به‌دست آمده از برگ فلفل سولانوم در حذف فلز کروم بوده است و این‌گونه توانایی حذف فلزات دیگر مانند سرب، کادمیوم و مس را نیز دارد (Eslami and Nemati 2015).

باکتری‌ها فراوان‌ترین و کاربردی‌ترین میکروارگانیسم‌ها هستند و بخش قابل توجهی از کل زیست‌توده‌های روی زمین را تشکیل می‌دهند (Mohammadi et al. 2012). از باکتری‌ها در حذف فلزات سنگین مختلف از جمله کروم، کادمیوم و سرب استفاده می‌شود. برخی از گونه‌هایی باکتری‌ها مانند *Streptomyces*، *Pseudomonas*، *Aeromonas* جهت حذف فلزات یا مواد آلی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و نتایج حاصل از جذب توسط برخی از بیومس‌های باکتریایی در جدول شماره (۴) بیان شده است. در میان گونه‌های باکتریایی مورد مطالعه در حذف فلزات



جدول ۴- ظرفیت جذب برخی از باکتری‌ها برای حذف فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، کروم)

Table 4 Absorption capacity of some bacteria to remove heavy metals (Cd, Pb, Cr)

Metal ions	Absorption capacity(mg/g)	Bacterial species	References
Cadmium	155.3	<i>Aeromonas caviae</i>	Loukidou (2004)
	46.2	<i>Enterobacter sp</i>	Lu (2006)
	42.4	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Mohammadi (2012)
	8.0	<i>Pseudomonas putida</i>	Pardo (2003)
	278.0	<i>Pseudomonas sp.</i>	Ziagova (2007)
	250.0	<i>Staphylococcus xylosus</i>	Ziagova (2007)
	64.9	<i>Streptomyces rimosus</i>	Selatnia (2004 a)
	30.4	<i>Streptomyces pimprina</i>	Mohammadi (2012)
	3.4	<i>Streptomyces noursei</i>	Ahluwalia and Goyal (2007)
	Lead	50.9	<i>Enterobacter sp</i>
92.3		<i>Bacillus sp.</i>	Tunali (2006)
79.5		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Mohammadi (2012)
576.7		<i>Corynebacterium glutamicum</i>	Choi and Yun (2004)
0.7		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Lin and Lai (2006)
270.4		<i>Pseudomonas putida</i>	Uslu and Tanyol (2006)
56.2		<i>Pseudomonas putida</i>	Pardo (2003)
135		<i>Streptomyces rimosus</i>	Selatnia (2004 b)
Chromium	30.7	<i>Bacillus megaterium</i>	Srinath (2002)
	2	<i>Zoogloea ramigera</i>	Mohammadi (2012)
	284.4	<i>Aeromonas caviae</i>	Loukidou (2004)
	69.4	<i>Bacillus licheniformis</i>	Zhou (2007)
	143	<i>Staphylococcus xylosus</i>	Vijayaraghavan and Yun (2008)

جدول شماره (۵) برخی از گونه‌های باکتریایی مورد استفاده در فرآیند زیست‌پالایی فلزات سنگین را نشان می‌دهد. علاوه بر مزایا و استفاده‌های زیادی که از باکتری‌ها در فرآیند زیست‌پالایی می‌شود، یکی از ضعف‌ها و ابهامات استفاده از باکتری‌ها در این فرآیند، سمیت بالای فلزات آزادی مانند کادمیوم (II)، روی (II) و نیکل (II) حتی در غلظت‌های پایین می‌باشد، برای مثال این غلظت برای باکتری دی سولفوویبریو کم‌تر از ($20 \text{ M}\mu$) است (Valls and De Lorenzo 2002).

جدول شماره (۵) برخی از گونه‌های باکتریایی مورد استفاده در فرآیند زیست‌پالایی فلزات سنگین را نشان می‌دهد. علاوه بر مزایا و استفاده‌های زیادی که از باکتری‌ها در فرآیند زیست‌پالایی می‌شود، یکی از ضعف‌ها و ابهامات استفاده از باکتری‌ها در این فرآیند، سمیت بالای فلزات آزادی مانند کادمیوم (II)، روی (II) و نیکل (II) حتی در غلظت‌های پایین می‌باشد، برای مثال این غلظت برای باکتری دی سولفوویبریو کم‌تر از ($20 \text{ M}\mu$) است (Valls and De Lorenzo 2002).

۳-۲- قارچ‌ها

از جمله مهم‌ترین کارکرد قارچ‌ها می‌توان به استفاده جهت تجزیه مواد آلی، تولید موادی که دارای ارزش اقتصادی هستند (اتانول،



جدول ۵- نتایج برخی از مطالعات صورت گرفته در ارتباط با زیست پالایی فلزات سنگین
Table 5 Results of some studies related to heavy metal bioremediation

References	Important results	Heavy metal	Species of microorganisms	Microorganisms used
Eslami and Nemati (2015); Guo (2010)	از بین ۹۶ نوع اندوفیت جدا شده، نوع EBL14 راندمان بالاتری در حذف فلزات سنگین از خود نشان داده است. حداقل غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، روی، مس و کروم جهت ممانعت از رشد این باکتری در محیط مایع به ترتیب ۰.۲، ۰.۴، ۰.۵، ۱.۰ و mmole گزارش گردید. طی ۲۴ hr این باکتری سرب، کادمیوم، مس و کروم را به ترتیب حدود ۸۴، ۷۶، ۲۱ و ۳٪ حذف کرد.	Cd(II) Pb(II) Cu(II) Cr(V)	باکتری اندوفیت	Endophytic bacteria L14
Lyer (2005)	این باکتری دارای یک پلی ساکارید خارج سلولی است. در غلظت ۱۰۰ mg/l فلزات کادمیوم، مس و کبالت به ترتیب ۶۵، ۲۰، ۸٪ آنان را حذف می کند.	Cd(II) Cu(II) Co(II)	باکتری	Entrobacter cloacae
Panwichian (2010)	مزیت استفاده از این ارگانیسرها، تولید مقادیر زیاد پلی ساکارید خارج سلولی است که باعث تجمع فلزات و همچنین محافظت خود و در برابر سمیت فلزات می شود. بازدهی حذف فلزات سنگین توسط پلی ساکاریدهای خارج سلولی این دو گونه به ترتیب ۹۷/۲۹ برای سرب، ۹۱/۸۴ برای روی، ۹۷/۰۹ برای کادمیوم و ۹۰/۵۲٪ برای مس گزارش شده است.	Cu(II) Zn(II) Cd(II)	باکتری ارغوانی غیر سولفوره	Rhodobacter sphaeroides KMS24 Rhodobium marinum NW16
Yue (2015)	در حالی که در حضور فلز Zn تأثیری بر احیا سولفات مشاهده نشد، ولی فلزات Cu و Cd به ترتیب حدود ۳۹ و ۳۲٪ در کاهش راندمان احیا سولفات مؤثر شناخته شد.	Cu(II) Zn(II) Cd(II)	باکتری احیاکننده سولفات	Desulfovibrio desulfuricans

ظرفیت جذب بیومس برای حذف یونهای کادمیم $2/13 \pm$ $94/47\%$ ، برای نیکل $1/15 \pm$ $79/81\%$ و برای سرب $2/58 \pm$ $99/73\%$ بودند (Amini et al. 2007).

قارچهای خانواده پنسیلیوم، اسپرژیلوس و ریزوپوس به صورت گسترده ای جهت حذف فلزات سنگین از محیطهای آبی استفاده می شوند (Gomes et al. 2014; Mohammadi et al. 2012). ظرفیت جذب قارچهای خانواده پنی سیلیوم در حذف کروم، کادمیوم و سرب برحسب میلی گرم برگرم، در جدول شماره (۶) بیان شده است (Mohammadi et al. 2012) و نتایج نشان

در مطالعه ای، جذب یونهای کادمیوم، نیکل و سرب به وسیله قارچ *Aspergillus niger* تحت تأثیر متغیرهای pH اولیه محلول، غلظت اولیه یونهای فلزی و مقدار بیومس در مخلوط سه تایی این فلزات در محلولهای آبی مورد بررسی قرار گرفت. محدوده pH اولیه محلول، غلظت یونهای فلزی و مقدار بیومس مورد استفاده برای حذف یونهای فلزی در این پژوهش به ترتیب $1/3-8/7$ ، $37/5-0/5$ ppm و $0/75-0/1$ بودند. نتایج به دست آمده شرایط مطلوب را در $pH=5$ ، غلظت یونهای فلزی 19 pmm و مقدار بیومس $0/38$ g/l نشان داده است. طبق داده های حاصل از مطالعات صورت گرفته در این پژوهش، حداکثر



می‌دهد بیش‌ترین و کم‌ترین ظرفیت جذب فلز کادمیوم به ترتیب متعلق به قارچ‌های *Penicillium chrysogenum* (modified) و *Penicillium spinulosum* و کم‌ترین ظرفیت جذب کروم (III) متعلق به گونه‌های *Penicillium chrysogenum* (raw)، بیش‌ترین و کم‌ترین ظرفیت جذب *Penicillium simplicissimum* و *Penicillium sp.* بوده است.

جدول ۶ ظرفیت جذب قارچ پنی سیلیوم در حذف کادمیوم، کروم و سرب (Mohammadi 2012)

Table 6 Absorption capacity of *Penicillium* fungi in removal of Cd, Cr and Pb (Mohammadi 2012)

Metal ions	Absorption capacity (mg/g)	String fungi species
Cadmium	102.7	<i>Penicillium canescens</i>
	11	<i>Penicillium chrysogenum</i>
	56	<i>Penicillium chrysogenum</i>
	39	<i>Penicillium chrysogenum</i>
	210.2	<i>Penicillium chrysogenum</i> (modified)
	21.5	<i>Penicillium chrysogenum</i>
	3.5	<i>Penicillium digitatum</i>
	5.0	<i>Penicillium notatum</i>
	110.4	<i>Penicillium purpurogenum</i>
	0.4	<i>Penicillium spinulosum</i> (Growing, midlinear phase)
Chromium (III)	18.2	<i>Penicillium chrysogenum</i> (raw)
	27.2	<i>Penicillium chrysogenum</i> (Alkaline pretreatment)
	213.2	<i>Penicillium canescens</i>
Lead	204	<i>Penicillium chrysogenum</i> (modified)
	6	<i>Penicillium spp.</i>
	5	<i>Penicillium sp.</i>
	298.01	<i>Penicillium simplicissimum</i>

گونه *S.cerevisa* در حذف فلزات سنگین جذب‌کننده ویژه ای محسوب می‌شود (Mohammadi et al. 2012). جدول (۷) تخمینی از مرتبه بزرگی ظرفیت جذب مخمر *S.cerevisa* در جذب فلزات سنگین را نشان می‌دهد. ظرفیت این مخمر جهت حذف سرب از سایر فلزات مورد بررسی بیش‌تر است (Wang and Chen 2009).

۳-۴- جلبک‌ها

جلبک‌ها به دلیل ظرفیت جذب بالا، فراوانی و در دسترس بودن در دریاها و اقیانوس‌ها به عنوان جاذب‌های زیستی مورد توجه هستند. ظرفیت جذب در جلبک‌ها به طور مستقیم به میزان

Environment and Water Engineering

Vol. 7, No. 2, 2021

جدول ۷- تخمین مرتبه بزرگی ظرفیت جذب فلزات توسط مخمر

S.cerevisa

Table 7 Estimation of the order of magnitude of metal uptake capacity by *S.cerevisa* yeast (mg metal/g dry weight biomass)

Metal Ions	Absorption Capacity
Lead	10-300
Cadmium	10-100
Mercury, Nickel and Chromium	Rarely more than 40

۳-۳- مخمرها

مخمرهای نوع *Candida*، *Pichia* و *Saccharomyces* جاذب‌های زیستی پربازدهی برای جذب یون‌های فلزی هستند و

محیط زیست و مهندسی آب

دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰



دسترس و کم‌هزینه برای حذف فلزات سنگین وجود دارد مزایای عمده فناوری‌های جذب تأثیر آن در کاهش یون‌های فلزات سنگین به سطح خیلی پایین با استفاده از مواد جاذب ارزان‌قیمت می‌باشد (Saka et al. 2012). برخی از بیوجاذب‌ها با ظرفیت بالای جذب خود قادر به رقابت با فناوری‌های متداول در حذف فلزات سنگین هستند (Bagheri and Mir Bagheri 2012). به‌طور کلی جاذب‌های کم‌هزینه به جاذب‌هایی گفته می‌شود که نیاز به پردازش کمی داشته و به وفور در طبیعت یافت می‌شود و حتی می‌تواند محصول فرعی صنایع باشد. مواد طبیعی و یا پساب‌های حاصل از عملیات صنعتی و یا کشاورزی یکی از منابع مهم جاذب‌های کم‌هزینه می‌باشند. این مواد به مقادیر زیاد در دسترس و هم‌چنین ارزان هستند (Mir Hosseini et al. 2016). برگ درختان سید الاشجار، کافور و بکرایی به‌صورت خشک شده و پودر شده به‌عنوان بیو جاذب در حذف سرب مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و هم‌چنین و پودر برگ درخت گز روغنی بعد از بازشویی و اصلاح با سیتریک اسید، ظرفیت بالایی در جذب یون سرب از خود نشان داده است (Salehi et al. 2019). علاوه بر برگ، پوست درختان نیز می‌تواند به‌عنوان جاذب استفاده شود. از جمله درختانی که از پوست آن‌ها به‌عنوان جاذب یون سرب استفاده شده می‌توان به کاج و اقاقیا اشاره کرد. علاوه بر درختان، گیاهان سمی و قارچ‌ها نیز به‌عنوان جاذب در حذف سرب مورد توجه محققان بوده‌اند (Salehi et al. 2019).

نتایج حاصل از مطالعه‌ی تعیین اثربخشی باگاس نیشکر در حذف کروم جمع‌آوری شده از فاضلاب، توسط گیاهان محلی منطقه برنزه (پاکستان) ماده جاذب با دوز ۰/۱ گرم و در pH معادل ۲/۰، بازده جذب زیست‌توده ۴۱۱ mg/g و معادل ۷۳٪ کل کروم موجود در فاضلاب را گزارش کرده‌اند. این بالاترین راندمان به شکل بی‌حرکت از زیست‌توده در مقایسه با سایر اشکال بومی و شیمیایی جذب در منطقه مورد مطالعه است. حداکثر جذب در حالت دسته‌ای برای Cr(VI) و Cr(III) ۸۰/۶ و ۴۱/۵٪ گزارش شده است (Ullah et al. 2013). گونه‌هایی کشاورزی مختلفی وجود دارند که می‌توان از آن‌ها در فرآیند حذف فلزات سنگین از آب و پساب استفاده کرد، برخی از پسماندهای پرکاربرد در این

گروه‌های کربوکسیلیک که بر روی پلیمر آلژینات (ترکیب اسیدی موجود در دیواره سلولی یا در درون سلول) قرار گرفته بستگی دارد (Hansen et al. 2006)، جلبک قهوه‌ای به روش‌های مختلف جهت بالا بردن ظرفیت جذب‌کنندگی آن مورد آزمایش قرار گرفته است (Mohammadi et al. 2012). از میان سه گروه جلبک قرمز، قهوه‌ای و سبز به‌عنوان جاذب‌های زیستی، جلبک‌های قهوه‌ای به‌دلیل ظرفیت جذب بالاتر نسبت به جلبک‌های قرمز و سبز، بیش‌تر مورد توجه هستند. آزمایش‌ها نشان‌دهنده این است که جلبک قهوه‌ای *Sargassum vulgare* با حداکثر ظرفیت جذب ۳۳ mg/g برای جذب کروم شش ظرفیتی مناسب می‌باشد، در برخی تحقیقات نیز جذب زیستی فلزات سنگین توسط جلبک *Vesiculosus. F* که از لحاظ شیمیایی فعال می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته و جلبک‌های قهوه‌ای و سایر بیوسوربنت‌ها مورد مقایسه واقع شده‌اند (Rincon et al. 2005) در یک آزمایش انجام شده بر روی ۴۸ مدل جلبک دریایی از جلبک‌های سبز، قهوه‌ای و قرمز جهت حذف کروم شش ظرفیتی، جلبک قرمز با حداکثر ظرفیت جذب ۲۲۵ mg/g به‌عنوان جذب‌کننده قوی کروم شناخته شده در حالی در حذف سایر فلزات مانند کادمیوم تمایل به جذب‌کنندگی کم‌تر بوده است (lee et al. 2000; Mohammadi et al. 2012). جدول (۸) مقایسه ظرفیت جذب جلبک‌های سبز، قرمز و قهوه‌ای را در حذف کادمیوم و سرب نشان می‌دهد.

جدول ۸ مقایسه حداکثر ظرفیت جذب (Mmol/g) فلزات سنگین با استفاده از جلبک‌های قهوه‌ای، قرمز و سبز

Table 8 Comparison of maximum adsorption capacity (mmol/g) of heavy metals using brown, red and green algae (Mohammadi 2012)

Metal ions	Green algae	Red algae	Brown algae
Cadmium	0.598	0.260	0.930
Lead	0.813	0.651	1.239

۳-۵- جاذب‌های کشاورزی

در سال‌های اخیر انواع مواد بیولوژیکی به‌عنوان جاذب برای جذب یون‌های فلزی از محلول‌های آبی استفاده شده‌اند، در حال حاضر علاقه رو به رشدی در استفاده از مواد تجاری در



زمینه شامل برگ، ساقه، هسته، پوست، میوه هستند. در جدول شماره (۹) به برخی از این پسماندها و کارایی آن‌ها در حذف فلزات سنگین اشاره شده است. در یک مطالعه تجربی اثر فاکتورهای دوز جاذب، غلظت اولیه فلز، زمان تماس، دما و نوع جنس جاذب‌های پوسته سبز بادام و خاکستر آن، بر حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی بررسی شد و بیشترین حذف کروم شش ظرفیتی در $\text{pH}=2$ اتفاق افتاد، همچنین حذف با افزایش زمان تماس و دما، افزایش یافته است. با تغییرات غلظت کروم شش ظرفیتی از 100 mg/l به 10 در جاذب زیستی، درصد حذف از $99/66$ به $61/19$ ٪ کاهش یافت و همچنین میزان جذب در خاکستر جاذب از $78/93$ به $31/01$ ٪ کاهش یافته است. با افزایش دوز جاذب، میزان حذف به حداکثر مطلق خود معادل 100 ٪ رسید و در خاکستر آن ابتدا میزان جذب افزایش و سپس کاهش یافته است و این مسئله نشان‌دهنده برتری پوسته سبز بادام نسبت به خاکستر آن در حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی بودند (Naseh et al. 2013).

جدول ۹- برخی از جاذب‌های کشاورزی پرکاربرد در حذف فلزات سنگین
Table 9 Some usual agricultural sorbents in the removal of heavy metals

Absorbent	Efficiency (absorption percentage)	Optimal PH	Adsorption material	References
Peel of Banana	97	8		Memon (2008); Niknam (2014)
Orange Peel	93.72	6	Cd	Li et al. (2008)
Pith of Orange	76.46	5		Zazuli (2012)
Orange peel	99.4	5.5		Feng and Guo (2012)
Tea compost	98	6		Poor Elhameh (2012)
sour orange peel	95.8	5	Pb	Salahi Khodroo (2006)
Tea peel	92	5.5		Amarasinghe and Williams (2007)
pomegranate peel	96	5.6		Ashtoukhy (2008)
Sugarcane bagasse	68	1.3		Niyakosari and Javadiyan (2009)
Chaff rice	99.8	2	Cr	Namni (2007)
Pith of the sour orange	95.1	5		Zazuli (2012)

نتیجه مطالعاتی که در جدول شماره (۹) به آن اشاره شده و از ضایعات کشاورزی مختلف و برخی از جاذب‌های کشاورزی پرکاربرد در حذف فلزات سنگین مانند کروم، کادمیوم و سرب را

مورد بررسی قرار داده‌اند، نشان‌دهنده این مسئله بوده است که درصد حذف فلزات متغیر و در بازه ۶۰ الی ۹۰ قرار داشته است. در بین جاذب‌های مورد بررسی در جدول (۹)، پوست موز، پوست

محیط‌زیست و مهندسی آب



جلبک قهوه‌ای با حداکثر ظرفیت جذب $1/239 \text{ mmol/g}$ بیش‌تر از سایر گونه‌های جلبک بوده است.

۳- در مقایسه و بررسی برخی از جاذب‌های کشاورزی شامل پوست موز، پوست پرتقال، پوست میانی پرتقال، زغال پوست بادام، زغال پوست گردو، کمپوست چای، پوست نارنج، باگاس نیشکر، سبوس برنج، پوست میانی نارنج، جهت حذف فلزات کروم، کادمیوم و سرب بالاترین درصد جذب (درصد کارایی) توسط پوست موز با 97% در جذب کادمیوم، پوست پرتقال با $99/4\%$ در جذب سرب و سبوس برنج با $99/8\%$ در جذب کروم گزارش شده است.

۴- استفاده از فرآیندهای زیست پالایی جهت تصفیه فاضلاب‌ها، که به وسیله قارچ، مخمر، باکتری و جلبک انجام می شود نسبت به روش های رایج دارای مزایایی مانند کاهش هزینه راهبری، کاهش حجم دفعی، مصرف انرژی کمتر، راندمان بالاتر، قابلیت احیاء جرم بیولوژیکی و آلودگی کمتر زیست محیطی است. با این حال در سطح تجاری دارای محدودیت هایی است و مطالعات بیش‌تری جهت برطرف نمودن این محدودیت‌ها جهت کاربرد بیش‌تر در صنایع مورد نیاز است.

دسترسی به داده‌ها

کلیه یافته‌ها و داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

پرتقال و میانبر پوست نارنج بیش‌ترین ظرفیت جذب را به‌ترتیب در حذف کادمیوم، سرب و کروم داشته‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی روش‌های گوناگون حذف فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم با تأکید بر جاذب‌های زیستی از فاضلاب صنعتی پرداخته شد و نتایج این مطالعه نشان داد که:

۱- در مقایسه بین گونه‌های باکتری که جهت حذف سه فلز کادمیوم، سرب و کروم مورد بررسی قرار گرفته‌اند، باکتری *Corynebacterium glutamicum*، *Pseudomonas sp.* و *Aeromonas caviae* به‌ترتیب با ظرفیت‌های جذب $284/4 \text{ mg/g}$ ، $576/7 \text{ mg/g}$ و 278 ، 278 حذف کادمیوم، سرب و کروم از خود نشان داده‌اند. هم‌چنین مطابق بررسی‌های این مطالعه، از میان گونه‌های قارچ اشاره شده جهت حذف کادمیوم، کروم و سرب، قارچ‌های رشته‌ای *Penicillium chrysogenum* (modified) *Penicillium chrysogenum* (Alkaline pretreatment) و *simplicissimum* با ظرفیت‌های جذب $210/2$ ، $27/2$ و $298/01$ ، بیش‌ترین مقدار جذب را در جذب کادمیوم، کروم و سرب از خود نشان داده‌اند.

۲- از مقایسه صورت گرفته بین گونه‌های جلبک سبز، قهوه‌ای و قرمز جهت حذف کادمیوم و سرب هر سه گونه جلبک بیش‌ترین جذب را برای فلز سرب داشته‌اند و در این میان ظرفیت جذب

References

- Abdolahi, H. and Tababae Ghomshe, S. M. (2012). Investigation of mercury uptake from effluents by activated carbon prepared from almond and walnut shells. First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Development in Agriculture, Natural Resources and Environment, Tehran [In persian]
- Ahluwalia, S. S. and Goyal, D. (2007). Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metal from wastewater. *Bioresour. Technol.*, 98, 2243–2257.
- Ali, I. (2010). The quest for active carbon adsorbent substitutes: Inexpensive adsorbents for toxic metal ions removal from wastewater. *Separ. Purif. Rev.*, 39(3-4), 951–71.
- Alluri, H. K., Ronda, S. R., Setalluri, V. S., Bondili, J. S., Suryanarayana, V. and Venkateshwar, P.



- (2007). Biosorption: An eco-friendly alternative for heavy metal removal. *African J. Biotech.*, 6, 2924–2931.
- Alyuz, B. and Veli, S. (2009). Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins. *J. Hazard. Mat.*, 167, 482–488.
- Amarasinghe, B. M. W. P. K. and Williams, R. A. (2007). Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater. *Chem. Eng. J.*, 132, 299–309.
- Amini, M., Younesi, H. and Ghorbani, A. (2007). Biological removal of heavy metals cadmium, nickel and lead in a triple mixture of industrial waste using mushrooms, *Aspergillus niger*. *J. Marine Sci. Technol.*, 6, 3-4 [In Persian].
- Amiri Baghbadrani, F. and Abbasi, S. (2009). An Overview of biological removal methods for heavy metals. The third national conference on human, environment and sustainable development [In Persian]
- Aoshima, K. (2016). Itai-itai disease, renal tubular osteomalacia induced by environmental exposure to cadmium historical review and perspectives. *Soil Sci. Plant Nut.*, 62(4), 319–326.
- Ashtouky, E. S. Z. El., Amin, N. K. and Abdelwahab, O. (2008). Removal of lead (II) and copper (II) from aqueous solution using pomegranate peel as a new adsorbent. *Desal.*, 223, 162–173.
- Babel, S. and Kurniawan, T. A. (2004). Cr(VI) removal from synthetic wastewater using coconut shell charcoal and commercial activated carbon modified with oxidizing agents and/or chitosan. *Chemosphere*, 54(7), 951–967.
- Bagheri, H. and Mir Bagheri, S. A. (2012). Heavy metals removal from industrial wastewater using biosorption method. 9th International Congress of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan [In Persian]
- Barakat, M. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arab. J. Chem.*, 4(4), 361–377.
- Bia, R. S. and Abraham, E. T. (2003). Studies on chromium (VI) adsorption-desorption using immobilized fungal biomass. *Bioresour. Technol.*, 87(1), 17–26.
- Chen, L. and Chen, Q. (2003). Industrial application of UF membrane in the pretreatment for RO system. *J. Memb. Sci. Technol.*, 4, 009.
- Cheremisinoff, N. P. (2002). Handbook of water and wastewater treatment technologies. Butterworth-Heinemann, Technology & Engineering.
- Choi, S. B. and Yun, Y. S. (2004). Lead biosorption by waste biomass of *Coryne bacterium glutamicum* generated from lysine fermentation process. *Biotechnol.*, 26, 331–6.
- Costa, M. and Klein, C. B. (2006). Toxicity and carcinogenicity of chromium compounds in humans. *Critic. Rev. Toxicol.*, 36(2), 155–163.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L. D. and Morin-Crini, N. (2019). Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. *Environ. Chem. Lett.*, 17, 195–213.
- Dabrowski, A., Hubicki, Z., Podkoscielny, P. and Robens, E. (2004). Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere.*, 56, 91–106.
- Dhankhar, R. and Hooda, A. (2011). Fungal biosorption— an alternative to meet the challenges of heavy metal pollution in aqueous solutions. *Environ. Technol.*, 32, 467–491.
- Dhiraj, S., Garima, M. and Kaur, M. P. (2008). Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions, a review. *Bioresour. Technol.*, 99, 6017–27.
- Dixit, R., Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A. and Shukla, R. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment, an overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustain.*, 7(2), 2189–12.
- Eslami, A. and Nemati, R. (2015). Removal of heavy metals from aquatic environments using bioremediation technology-review. *Health Field*, 3(2), 43-51 [In Persian].



- Esmaeili, A. and Ghasemi, S. (2009). Evaluation of the activated carbon prepared of algae marine gracilaria for the biosorption of Ni(II) from aqueous solutions. *World Appl. Sci. J.*, 6(4), 515–518.
- Fan, H. L., Zhou, S. F., Jiao, W. Z., Qi, G. S. and Liu, Y. Z. (2017). Removal of heavy metal ions by magnetic chitosan nanoparticles prepared continuously via highgravity reactive precipitation method. *Carbohydrate Polymer.*, 174, 1192–1200.
- Farooq, U., Kozinski, J. A., Khan, M. A. and Athar, M. (2001). Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents- a review. *Bioresour. Technol.*, 101, 5043–5053.
- Fatehi, M. H., Shaygan, J. and Zabihi, M. (2016). A Review of heavy metal removal methods from aquatic environments. *J. Eco Hydrol.*, 5(3), 855–874 [In Persian].
- Feng, N. C. and Guo X. Y. (2012). Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and Zinc by modified orange peel. *Trans. Nonferrous Met. Soc, China.*, 22, 1224–1231.
- Fouladi Fard, R. and Azimi, A. A. (2014). Comparing the bio-sorption affinity of Ni and Cd by bio-solid with other bio-sorbent. *JEST.*, 16(3), 35–49.
- Fowler, B. A. (2009). Monitoring of human populations for early markers of cadmium toxicity: A review. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 238, 294–300.
- Gomes, P., Lennartsson, P., Persson, N. K. and Taherzadeh, M. (2014). Heavy metal biosorption by *Rhizopus sp.* biomass immobilized on textiles. *Water, Air, Soil Pollut.*, 225(2), 1–10.
- Gunatilake, S. K. (2015). Methods of removing heavy metals from industrial wastewater. *J Multidisc Eng. Sci. Stud.*
- Guo, H., Luo, S., Chen, L., Xiao, X., Xi, Q. and Wei, W. (2010). Bioremediation of heavy metals by growing hyperaccumulaor endophytic bacterium *Bacillus sp.* L14. *Bioresour. Technol.*, 101(22), 8599–605.
- Hansen, H. K., Ribeiro, A. and Mateus, E. (2006). Biosorption of arsenic (V) with *Lessonia nigrescens*. *Mineral. Eng.*, 19(5), 486–490.
- Juttner, K., Galla, U. and Schmieder, H. (2000). Electrochemical approaches to environmental problems in the process industry. *Electrochim. Acta*, 45, 2575–2594.
- Lee, D. C., Park, C. J., Yang, J. E., Jeong, Y. H. and Rhee, H. I. (2000). Screening of hexavalent chromium biosorbent from marine algae. *Appl. Microb. Biotechnol.*, 54, 597–600.
- Li, H., Xiao, D., He, H., Lin, R. and Zuo, P. (2013). Adsorption behavior and adsorption mechanism of Cu(II) ions on amino-functionalized magnetic nano particles. *Trans. Nonferrous Metal. Soc. Chin.*, 23, 2657–2665.
- Li, X., Tang, Y., Cao, X., Lu, D., Luo, F. and Shao, W. (2008). Preparation and evaluation of orange peel cellulose adsorbents for effective removal of cadmium, zinc, cobalt and nickel. *Colloid. Surf. A, Physicochem. Eng. Aspect.*, 317, 512–521.
- Lin, C. C. and Lai, Y. T. (2006). Adsorption and recovery of lead (II) from aqueous solutions by immobilized *Pseudomonas aeruginosa* PU21 beads. *J. Hazard. Mater.*, 137, 99–105.
- Loukidou, M. X., Karapantsios, T. D., Zouboulis, A. I. and Matis, K. A. (2004). Diffusion kinetic study of cadmium (II) biosorption by *Aeromonas caviae*. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 79, 711–9.
- Lu, W. B., Shi, J. J., Wang, C. H. and Chang, J. S. (2006). Biosorption of lead, copper and cadmium by an indigenous isolate *Enterobacter sp.* J1 possessing high heavy-metal resistance. *J. Hazard. Mater.*, 134, 80–6.
- Luch, A. (2012). *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology.*, Volume 3, *Environmental Toxicology.* Springer;
- Lyer, A., Mody, K. and Jha, B. (2005). Biosorption of heavy metals by a marine bacterium. *J. Marin. Pollut. Bull.*, 50(30), 340–343.
- Mahdiyazade, M. (2015). Industrial wastewater treatment and monitoring. *International*



- conference on agriculture environment and tourism [In Persian].
- Mahrasbi, M. R. and Farahmandkia, Z. (2008). Heavy metal removal from aqueous solution by adsorption on modified banana shell. *J. Health Environ.*, 1(1), 57-66 [In Persian]
- Malakoutian, M., Yousefi, Z. and Khoda Shenash Limoni, Z. (2015). Removal of zink in industrial wastewater using microscopic green algae *Chlorella vulgaris*. *J. Ilam Univ. Med. Sci.*, 23(6), 40-50 [In Persian].
- Mandal, N. K. (2014). Performance of low-cost bio adsorbents for the removal of metal ions - A review. *Int. J. Sci. Res.*, 3(1), 177-180.
- Meena, A. K., Kadirvelu, K., Mishra, G. K., Rajagopal, C. and Nagar, P. N. (2008). Adsorption of Pb(II) and Cd(II) metal ions from aqueous solutions by mustard husk. *J. Hazard. Mater.*, 150, 619-625.
- Memon, J. R., Memon, S. Q., Bhangar, M. I., Memon, G. Z., El-Turki, A. and Allen, G. C. (2008). Characterization of banana peel by scanning electron microscopy and FTIR spectroscopy and its use for cadmium removal. *Colloid. Surf. B: Biointer.*, 66(2), 260-265.
- Mezohegyi, G., van der Zee, F. P. Font, J., Fortuny, A. and Fabregat, A. (2012). Towards advanced aqueous dye removal processes, a short review on the versatile role of activated carbon. *J. Environ. Manag.*, 102, 148-164.
- Mir Hosseini, N., Mirani, M. R. and Davarnejad, R. (2016). Review of low cost natural adsorbents for the removal of heavy metals from industrial effluents. 3rd International conference on new research in agriculture and environment [In Persian].
- Mohammadi, M., Assadollahzadeh, M., Hemmati, A. and Mohammadzadeh, S. (2012). Investigation of types of biosorbents in the separation of heavy metals and their comparison. the third conference on wastewater and industrial waste management in the oil and energy industry, Tehran [In Persian].
- Namni, M., Alavi Moghadam, M. and Arami, M. (2007). Study of equilibrium adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution using rice bran. *Environ. Sci. Technol.*, 10(4), 185-195 [In Persian].
- Naseh, N., Taghavi, L., Barikbin, B. and Harifi, A. (2013). Evaluation of hexavalent chromium removal efficiency from aqueous solutions using natural adsorbent of almond green shell and its resulting ash. *Birjand J. Med. Sci.*, 20(3), 220-232 [In Persian].
- Niknam, M. S., Shahbazi, A. and Farajloo, J. (2014). Application and efficiency of agricultural wastes in the removal of heavy metals and non-ferrous metals from water and wastewater: optimal absorption studies. *Human Environ. Quart.*, 31, [In Persian]
- Niyakosari, M. and Javadiyan, S. H. (2009). Sugarcane bagasse, potential for removal of chromium compounds from wastewater. the first conference of industrial petrochemicals in Tehran [In Persian].
- Panwicheian, S., Kantachote, D., Wittayaweerasak, B. and Mallavarapu, M. (2010). Removal of heavy metals by exopolymeric substances produced by resistant purple nonsulfur bacteria isolated from contaminated shrimp ponds. *Electron. J. Biotechnol.*, 14(4), 2.
- 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.
- Patlolla, A. K., Armstrong, N. and Tchounwou, P. B. (2008). Cytogenetic evaluation of potassium dichromate toxicity in bone marrow cells of Sprague Dawley rats. *Metal Ion. Bio. Med.*, 10, 353-358.
- Petrov, S. and Nenov, V. (2004). Removal and recovery of copper from wastewater by a complexation-ultrafiltration process. *Desal.*, 162, 201-209.
- Poor Elhameh, M. zamani, A. and yaftian, M. (2012). Preparation of column biofilter with tea compost to remove some heavy metal ions from aqueous solutions. 6th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran. [in persian]



- Purkayastha, D. Mishra, U. and Biswas, S. (2014). A comprehensive review on Cd (II) removal from aqueous solution. *Journal of Water Process Engineering.*, 2, 105-128.
- Quintelas, C. Fonseca, B. Silva, B. Figueiredo, H. and Tavares, T. (2009). Treatment of chromium (VI) solutions in a pilot-scale bioreactor through a biofilm of *Arthrobacter viscosus* supported on GAC. *Bioresource Technology.*, 100, 220–226.
- Ravikumar, M. N. V. (2006). A review of chitin and chitosan applications, *Reactive & Functional Polymers.*, 46, 1–27.
- Rengaraj, S. Kyeong Ho, Y. and Seung Hyeon, M. (2001). Removal of chromium from water and wastewater by ion exchange resins. *Journal of Hazardous Materials.*, B87, 273–287
- Rincon, J. Gonzalez, F. Ballester, A. Blazquez, M. L. and Munoz, J. A. (2005). Biosorption of heavy metals by chemically-activated alga *Fucus vesiculosus*. *J Chem Technol Biotechnol.*, 80, 1403–7.
- Robinson, T. McMullan, G. and Marchant, R. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *J. Biores. Tech.*, 77 (3), 247–55.
- Saka, C. Sahin, O. and Kucuk, M. (2012). application on agricultural and forest waste adsorbents for the removal of lead (II) from contaminated waters, *Int. J Environ, Sci Technol.*, 9, 379–394.
- Salahi Khodroo, F. Nasernejad, B. Rabani, M. and Khormaei, M. (2006). Adsorption of lead from aqueous solutions on orange peel adsorbent. 11th International Congress of Chemical Engineering, Iran, Tehran. [in persian]
- Salehi, A. Goodarzi, M., Sanaeipour, H. and Khademian, A. (2019). A review on the removal of lead ions from aqueous solutions by surface adsorption operations. *Interdisciplinary Scientific Quarterly Third Year, No.1, Version 1*. [in persian]
- Salvato, J. A. Nemerow, N. L. Agardy, F. J. (2003). *Environmental Engineering*. New York JOHN WILEY & SONS, INC.
- Selatnia, A. Bakhti, M. Z. Madani, A. Kertous, L. and Mansouri, Y. (2004 a). Biosorption of Cd²⁺ from aqueous solution by a NaOH treated bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass. *Hydrometallurgy.*, 75, 11–24.
- Selatnia, A. Boukazoula, A. Kechid, N. Bakhti, M. Z. Chergui, A. and Kerchich, Y. (2004 b). Biosorption of lead (II) from aqueous solution by a bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass. *Biochem Eng J.*, 19, 127–35.
- Shafigh, M. Alazba, A. A. and Amin, M. T. (2018). Removal of Heavy Metals from Wastewater using Date Palm as a Biosorbent: A Comparative Review, *Sains Malaysiana.*, 74(1).
- Shakibayi, M. R. Khosravan, A. Farahmand, A. and Zare, S. (2009). Remove the heavy metals copper and zinc from industrial waste from factories of Kerman by bacteria resistant mutant absorbing metal. *Journal of Kerman University of Medical Sciences.*, 16 (1), 13–14. [in Persian]
- Shakoor, M. B. Niazi, N. K. Bibi, I. Murtaza, G. Kunhikrishnan, A. Seshadri, B. Shahid, M. Ali, S. Bolan, N. S. Ok, Y. S. Abid, M. and Ali, F. (2016). Remediation of Arsenic contaminated water using agricultural wastes as biosorbents. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.*, 46(5), 467–499.
- Shiroud Heydari, B. Marfa, A. and Cheraghchi, v. (2015). Investigation of heavy metal removal methods from industrial effluents.
- Srinath, T. Verma, T. Ramteke, P. W. and Garg, S. K. (2002). Chromium (VI) biosorption and bioaccumulation by chromate resistant bacteria. *Chemosphere.*, 48, 427–35.
- Suhas Gupta, V. K. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *J. Environ. Manag.*, 90(8), 2313–42.
- Tabatabayi, S. H., Tosani, M. and Layafat, A. (2001). Evaluate and determine the important physical properties of three types of zeolite filter to remove heavy metals, sewage. *National*



- congress on environmental health. Yazd [In Persian].
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K. and Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. In: *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*. 101, Basel, Springer.
- Tran, T. K. Chiu, K. F. Lin, C. Y. and Leu, H. J. (2017). Electrochemical treatment of wastewater: Selectivity of the heavy metals removal process. *Int. J. Hydrogen Energy*, 42(45), 27741–27748.
- Tunali, S., Cabuk, A. and Akar, T. (2006). Removal of lead and copper ions from aqueous solutions by bacterial strain isolated from soil. *Chem. Eng. J.*, 115, 203–11.
- Ullah, I., Nadeem, R., Iqbal, M. and Manzoor, Q. (2013). Biosorption of chromium onto native and immobilized sugarcane bagasse waste biomass. *Ecol. Eng.*, 60, 99–107. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77315101>.
- USEPA. (2012). Edition of the drinking water standards and health advisories. Washington, DC.
- Uslu, G. and Tanyol, M. (2006). Equilibrium and thermodynamic parameters of single and binary mixture biosorption of lead (II) and copper (II) ions onto *Pseudomonas putida*: effect of temperature. *J. Hazard. Mater.*, 135, 87–93.
- Valls, M. and De Lorenzo, V. (2002). Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for the remediation of heavy metal pollution. *FEMS Microb. Rev.*, 26(4), 327–38.
- Vijayaraghavan, K. and Yun, Y. S. (2008). Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnol. Adv.*, 26, 266–91.
- Wang, J. and Chen, C. (2009). Biosorbents of heavy metal removal and their future, *Biothechnol. Adv.*, 27, 195–226.
- Wang, L. K., Tay, J.-H., Tay, S. T. L. and Hung, Y.-T. (2010). *Handbook of Environmental Bioengineering*, Springer Science & Business Media, volume 11.
- WHO. (2011). Water, United State Environment Protection Agency.
- Yadav, S. K., Sinha, S. and Singh, D. K. (2015). Chromium (VI) removal from aqueous solution and industrial wastewater by modified date trunk. *Environ. Progress Sustain. Energy*, 34(2), 452–460.
- Yang, X. J., Fane, A. G. and MacNaughton, S. (2001). Removal and recovery of heavy metals from wastewaters by supported liquid membranes. *Water Sci. Technol.*, 43(2), 341–348.
- Yilmazer, P. and Saracoglu, N. (2009). Bioaccumulation and biosorption of copper (II) and chromium (III) from aqueous solutions by *Pichia stipitis* yeast. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 84, 604–610.
- Yue, Z. B., Li, Q., Li, C. C., Chen, T. H. and Wang, J. (2015). Component analysis and heavy metal adsorption ability of extracellular polymeric substances (EPS) from sulfate reducing bacteria. *Bioresour. Technol.*, 194, 399–402.
- Yunus Pamukoglu, M. and Kargi, F. (2006). Removal of copper (II) ions from aqueous medium by biosorption onto powdered waste sludge. *Process Biochem.*, 41, 1047–1054.
- Zabihi, M., Ahmadpour, A. and Asl, A. H. (2009). Removal of mercury from water by carbonaceous sorbents derived from walnut shell. *J. Hazard. Mater.*, 167, 230–236.
- Zabihi, M., Asl, A. H. and Ahmadpour, A. (2010). Studies on adsorption of mercury from aqueous solution on activated carbons prepared from walnut shell. *J. Hazard. Mater.*, 174, 251–25.
- Zahra, N. (2012). Lead removal from water by low cost adsorbents: a review. *Pak. J. Anal. Environ. Chem.*, 13(1), 01–08
- Zazuli, M. A., Ebrahimi, P. and Bagheri Ardabiliyan, M. (2012). Application of agricultural waste (citrus peel) in the removal of cadmium and chromium from aqueous media Determination of adsorption isotherms, Sixth National Conference and the First International Conference on Waste Management, Mashhad [In Persian].



- Zhang, L., Zeng, Y. and Cheng, Z. (2016). Removal of heavy metal ions using chitosan and modified chitosan: A review. *J. Molecul. Liquid.*, 214, 175–191
- Zhou, M., Liu, Y., Zeng, G., Li, X., Xu, W. and Fan, T. (2007). Kinetic and equilibrium studies of Cr(VI) biosorption by dead *Bacillus licheni* form is biomass. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 23, 43–48
- Ziagova, M., Dimitriadis, G., Aslanidou, D., Papaioannou, X., Tzannetaki, E. L. and Liakopoulou Kyriakides, M. (2007). Comparative study of Cd(II) and Cr(VI) biosorption on *Staphylococcus xylosus* and *Pseudomonas* sp. in single and binary mixtures. *Biores. Technol.*, 98, 2859–2865.



Review Paper

Investigating and comparison of Biosorbents for the Removal of the Heavy Metals (Cadmium, Chromium and Lead) from Industrial Wastewater**Hamideh Rashidi¹, Somayeh Zallaghi¹, Forouzan Farrokhian^{2*} and Meraj Amirjani¹**¹M.Sc. Alumni, Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran²Assist. Professor, Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

*Corresponding author: f.farrokhian@iauahvaz.ac.ir

Received: October 21, 2020**Revised:** December 16, 2020**Accepted:** December 23, 2020**Abstract**

Heavy metals are derived from various sources and majority of their associated pollutants enters water resources. Most of them are dangerous to humans and the environment due to their toxicity and carcinogenicity. Some of them, such as cadmium, lead, and chromium in low concentrations, also have toxic effects. The removal of heavy metals from wastewater has been considered in recent years due to environmentally protection regulations. Industrial wastewater containing heavy metals must be treated before being discharged into the water stream, but the treatment process is costly. Research and development of new and efficient methods with the lowest cost and highest efficiency in the removal of harmful environmental pollutants such as heavy metals are one of the current efforts of human society. Cost-effective and reusable adsorbents can be used in industry. Conventional methods have their own disadvantages; hence, there is a great interest in recognizing and using available and environmentally friendly biological materials and their commercialization. This study was literature review based in which several papers were reviewed from different databases available. The results of this study showed that biological treatment by fungi, yeast, bacteria, and algae has advantages over conventional methods such as cost reduction, reduced waste sludge, lower energy consumption, higher efficiency, biomass reduction capacity and less environmental pollution. Comparison between green, brown and red algae species for cadmium and lead removal showed that brown algae adsorption capacity with a maximum adsorption capacity of 239.1 mmol/g was higher than other algae species.

Keywords: Adsorption Capacity; Biosorbents; Chemical Removal; Physical Removal.