



جذب بیولوژیکی یون کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از جلبک سندسموس (*Scenedesmus sp.*)

ابوالفضل رضایی^۱، سید عباس حسینی^۲، رسول قربانی^۳ و *حسن رضائی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد بوم‌شناسی آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استاد گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲ دانشیار گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳ استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲۸

چکیده

به دلیل وجود فلزات سنگین در منابع آبی و معایب روش‌های معمول جهت حذف آن‌ها، منجر به استفاده از روش‌های مؤثر برای حذف فلزات سنگین شده است. جذب بیولوژیکی فلزات سنگین با استفاده از میکروجلبک به‌عنوان یک روش مناسب مورد بررسی قرار گرفته است. جلبک سندسموس توانایی مناسبی برای رشد داخل پساب‌ها دارد و کادمیوم حتی در غلظت‌های پایین سمی می‌باشد. لذا در این پژوهش، کارایی جلبک سبز سندسموس برای حذف کادمیوم از محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. پس از رشد جلبک در محیط کشت Z8-N، جلبک زنده به‌عنوان بیو جاذب مورد استفاده قرار گرفت. دوزهای متفاوت (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم) به محلول‌های با غلظت‌های مختلف از کادمیوم (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در زمان‌های مختلف (صفر، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه)، به‌منظور بررسی جذب کادمیوم در شرایط ثابت (27 ± 2 درجه سانتی‌گراد و pH برابر با 6.8 ± 0.1) اضافه شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، شرایط بهینه برای جذب کادمیوم توسط جلبک سندسموس در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (۹۳/۵۰ درصد)، در زمان تماس ۶۰ دقیقه (۹۰/۸۰ درصد) و ۱ گرم جاذب (۹۳/۵۰ درصد) اتفاق افتاد. بنابراین در مقایسه با سایر روش‌ها و جاذب‌ها، کاربرد جلبک سندسموس برای حذف کادمیوم از محلول‌های آبی بسیار مؤثر بوده و می‌تواند جهت حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی به‌کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، آلودگی‌های محیط زیست، میکروجلبک، سندسموس، جذب زیستی

مقدمه

تخلیه نامناسب و غیراصولی انواع پساب‌های خانگی، شهری و صنعتی سهم عمده‌ای در ایجاد آلودگی‌ها دارند. محدود بودن منابع آبی سطحی و زیرزمینی، کمبود بارندگی، بحران کم آبی و اهمیت بازیابی مجدد آب از یک طرف و افزایش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌وسیله فلزات سنگین از طرف دیگر، یافتن راه‌حل‌های زیست‌محیطی مناسب در جهت حذف این مواد از منابع آبی، را بیش از پیش با اهمیت می‌سازد (درمنتزیز و همکاران، ۲۰۱۱).

در بین فلزات سنگین، فلز کادمیوم به‌دلیل تحرک و پویایی زیاد، سمیت قابل توجه و نیمه عمر بیولوژیکی حدود بیست سال و بروز عوارضی از جمله نارسایی کبد و کلیه، بیماری‌های قلبی-عروقی، استخوانی، ریوی و غیره در انسان دارای اهمیت خاصی می‌باشد (موسکار، ۲۰۰۷).

با توجه به‌وجود نگرانی‌های زیست‌محیطی و تقاضا برای تهیه آب با کیفیت مطلوب و مناسب، شناسایی و پاک‌سازی مواد شیمیایی سمی، امری ضروری و غیرقابل انکار در حفاظت محیط زیست است. در این راستا تصفیه پساب ثانویه برای حذف فلزات سنگین از پساب به‌طور کامل کافی نبوده، بنابراین نیاز به روش‌های پیشرفته تصفیه پساب داریم (مودلی و همکاران، ۲۰۱۰). روش‌های بسیاری مانند: رسوب‌دهی شیمیایی، انعقاد الکتریکی، اسمز معکوس، روش‌های الکتروشیمیایی، استفاده از رزین‌های تعویض یونی و تثبیت پساب‌ها به‌وسیله سیمانی کردن استفاده شده است (لاکور و همکاران، ۲۰۰۱). البته هر کدام از روش‌های ذکر شده دارای یک‌سری از محدودیت‌ها و مشکلات خاصی می‌باشند. به‌عنوان مثال روش رسوب‌دهی، کارایی و راندمان کار بالا نداشته و نیز مستلزم مراقبت دائم است.

جذب بیولوژیک یک روش مؤثر برای حذف مواد

موجود در آب است (طیبان و همکاران، ۲۰۱۲). استفاده از جلبک جهت تصفیه دارای کاربردهای زیادی است؛ ۱- حذف مواد غذایی از پساب شهری و جریان‌های غنی از مواد آلی. ۲- حذف ترکیبات علف‌کش‌ها با کمک جاذب‌های زیستی جلبکی. ۳- تیمار پساب‌های اسیدی و فلزی. ۴- تبدیل و تجزیه علف‌کش‌ها (راوات و همکاران، ۲۰۱۱). از مزایای مهم این روش، می‌توان به مؤثر بودن آن در کاهش غلظت یون‌های فلز سنگین به مقادیر بسیار پایین، قابلیت تولید مجدد جاذب، عدم تولید لجن، امکان بازیافت فلز و استفاده از مواد جاذب زیستی ارزان مثل جلبک طبیعی که به وفور یافت می‌شوند، اشاره کرد (هررو و همکاران، ۲۰۰۶). به‌دلیل وجود ترکیبات پلی ساکاریدی مانند آلژینات و کاراژینات در دیواره سلولی جلبک‌های دریایی، آن‌ها در مقایسه با سایر موجودات توانایی بالاتری در جذب بسیاری از فلزات دارند، به‌همین علت استفاده از جلبک‌ها در فرآیند جذب زیستی مورد توجه قرار گرفته است (هولان و همکاران، ۱۹۹۳). در این میان، جلبک سندسموس که از شاخه کلروفیتا و از جلبک‌های سبز می‌باشد دارای توانایی بالایی در حذف فلزات سنگین می‌باشد. چوالیر و دیلانو در سال (۱۹۸۵) جلبک سندسموس را برای آزمایش‌های حذف آمونیاک مورد استفاده قرار داده و دریافتند که ریزجلبک سندسموس، به‌علت رشد بالا و مقاومت به دست‌کاری در سیستم‌های پرورشی و همچنین فناوری ساده و ارزان تولید، می‌تواند در تصفیه پساب مفید باشد.

چن و همکاران (۲۰۱۴)، توانایی حذف فلز سنگین کادمیوم با استفاده از جلبک *Scenedesmus obliquus* را مورد بررسی قرار دادند. غلظت، زمان تماس و دوز جاذب به‌ترتیب $3/4$ میلی‌گرم، 40 ساعت و $2/5$ میلی‌گرم در لیتر برای این آزمایش نشان

داده شده است.

هلیور و همکاران (۲۰۱۴)، میزان حذف فلزات سنگین کادمیوم دو ظرفیتی از محلول‌های آبی توسط میکرو جلبک *Scenedesmus cerevisiae* در pH برابر با ۶ و مدت زمان ۱۶۶۰ دقیقه را ۸۶ درصد اعلام کردند.

با توجه به کمبود منابع آبی و اهمیت حذف فلزات سنگین و ضرورت وجود آب مناسب و همچنین از بین بردن آلودگی‌های زیست محیطی، در تحقیق حاضر بر آن شدیم تا روشی مناسب و کارآمد جهت تصفیه پساب ارائه نماییم.

مواد و روش‌ها

دریافت نمونه اولیه جلبک از پژوهشکده اکولوژی دریای خزر صورت گرفت و به آزمایشگاه جلبک‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شد. در ابتدا و قبل از شروع کشت، اتاق را به‌وسیله لامپ UV به‌مدت نیم ساعت استریل کردیم. تمامی وسایل در آن ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک ساعت خشک و استریل گردید. ارلن مایرهای حاوی محیط کشت مایع در دستگاه اتوکلاو (دستگاه دیجیتال ساخت شرکت پویا الکترونیک PECO) کاملاً استریل شدند. کشت جلبک (با تراکم اولیه 7×10^6 عدد در سلول در میلی‌لیتر) در محیط کشت Z8-N (برای ساخت محیط کشت از ترکیبات شیمیایی با کیفیت مرک آلمان استفاده شد) در 35.0 ± 2 لوکس نوری در دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد و دوره نوری (تاریکی: روشنایی) (۱۲ : ۱۲) انجام شد که تغییرات رشد در طول ۲۱ روز کشت مورد بررسی قرار گرفت تا مواد موردنیاز در صورت احتیاج به محیط کشت اضافه شود (نیکولاس، ۱۹۷۳). این کار چند بار انجام شد تا به مقدار لازم جلبک در اختیار داشته باشیم. به‌طور معمول پس از ۲۱ روز جلبک به

اندازه کافی رشد می‌نماید (عمر، ۲۰۰۲). برای کشت جلبک‌های سبز و سبز - آبی از محیط کشت زایندر (Z8-N) استفاده می‌شود. هوادهی ارلن مایرهای حاوی جلبک سندسموس موجود در محیط کشت در هر میز با استفاده از دستگاه پمپ آکواریوم انجام شد. بعد از کشت‌های متوالی در لوله‌ی آزمایش و ارلن مایرهای ۲۵۰ میلی‌لیتر و اطمینان از خالص بودن جلبک، پرورش جلبک در ارلن مایرهای ۵۰۰ میلی‌لیتری با محیط کشت مناسب انجام شد تا ذخیره اولیه جلبک سندسموس برای انجام آزمایش فراهم گردد (نیکولاس، ۱۹۷۳). سپس جلبک‌ها با آب مقطر دوبار دیونیزه شده شستشو داده شدند تا واسطه‌هایی که باعث رشد شده‌اند از جلبک خارج شوند.

آماده‌سازی محلول استاندارد کادمیوم: با استفاده از استوک ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نمک کادمیوم $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (مرک آلمان)، با آب مقطر دوبار دیونیزه، محلول استاندارد (مادری) فلز کادمیوم (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) تهیه شد. برای آماده‌سازی این محلول باید مقدار ۱۰۰۰ میلی‌گرم (۱ گرم) کادمیوم در ۱ لیتر آب مقطر دوبار دیونیزه حل شود. سایر محلول‌های موردنیاز آزمایش از رقیق‌سازی محلول مادری با استفاده از آب مقطر دوبار دیونیزه شده به‌طور روزانه تهیه گردیدند (آددرین و همکاران، ۲۰۱۱).

پارامترهای دما، زمان تماس، دوز جاذب، غلظت اولیه فلز و pH در حذف فلزات دارای اهمیت هستند (میرغفاری و همکاران، ۲۰۱۵؛ ژانگ، ۲۰۰۸). در این تحقیق سه پارامتر غلظت، زمان تماس و دوز جاذب مورد آزمایش قرار گرفت. ابتدا شرایط بهینه جذب (غلظت، زمان تماس و دوز جاذب) را برای جاذب به‌دست آورده، سپس در شرایط بهینه جذب به‌دست آمده برای جلبک سندسموس، در حذف کادمیوم از

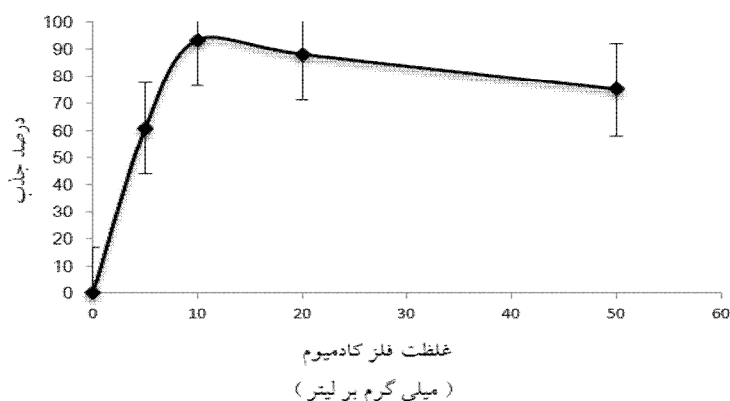
نظر گرفته شدند (چن و همکاران، ۲۰۱۲؛ مهدوی و همکاران، ۲۰۱۲؛ ویسا و همکاران، ۲۰۰۹):
تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز توسط نرم‌افزار SPSS17 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel2013 انجام پذیرفت.

نتایج

جذب با اثر تغییر غلظت اولیه فلز: آزمون‌ها برای تعیین فرآیند جذب در غلظت‌های متفاوت نمونه فلز سنگین کادمیوم با جلبک سندسموس در محدوده غلظت‌های (۰-۵۰) میلی‌گرم بر لیتر و مدت زمان تماس ۱۲۰ دقیقه با دوز جذب ۱ گرم در دمای 27 ± 2 درجه سانتی‌گراد و pH برابر 6.8 ± 0.1 مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به شکل (۱) به این نتیجه رسیدیم که در محدوده ۱۰ - ۰ میلی‌گرم بر لیتر مقدار جذب افزایش و به بالای ۹۰ درصد رسیده است. اما در غلظت‌های بالاتر با کاهش درصد جذب روبرو هستیم که نشان‌دهنده اشباع شدن جایگاه‌های فعال در غلظت بالای ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر است. بیشترین درصد حذف در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر برابر با ۹۳/۵۰ درصد بوده است. در این تحقیق مشاهده شد که با افزایش غلظت یون‌های فلز کادمیوم مقدار جذب افزایش یافت. اما به دلیل این که مقدار جذب نسبت به غلظت اولیه یون فلز ثابت بوده است، درصد حذف کاهش یافته است که این امر در شکل (۱) قابل مشاهده است.

محلول‌های آبی استفاده شد. آزمایش‌ها در سیستم ناپیوسته و با ۳ تکرار انجام گردید. ابتدا جاذب با ترازو (مدل Sartorius TE214S) وزن شده، محلول کادمیوم با استفاده از رقیق‌سازی محلول استاندارد در بالن حجمی ۲۵۰ میلی‌لیتر تهیه گردید و پس از اضافه کردن جاذب به ارلن، در داخل شیکر انکوباتور (مدل IKA KS 4000 ic control) برای مخلوط شدن جاذب و جذب شونده، با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. pH و دمای شیکر انکوباتور با توجه به متغیر مورد آزمایش تنظیم گردید. تنظیم pH تمام نمونه‌ها با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال و اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال با استفاده از دستگاه pH متر مدل (AZ 86552)، 6.8 ± 0.1 و همچنین تنظیم دما توسط دستگاه شیکر انکوباتور صورت گرفت. سپس نمونه در ظروف ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به مدت ۵ دقیقه در داخل سانتریفیوژ (مدل Eppendorf, Centrifuge 5810 R) با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه برای جداسازی جلبک گذاشته شد. نهایتاً میزان فلز باقی مانده در محلول توسط دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin Elmer 3110) مشخص گردید (عبدالغفار و همکاران، ۲۰۱۴).

در جذب ناپیوسته بر اساس مطالعات صورت گرفته، پارامترهای pH و دما به ترتیب برابر با 6.8 ± 0.1 و 27 ± 2 درجه سانتی‌گراد و پارامترهای غلظت اولیه فلز (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر)، زمان تماس (صفر، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه) و دوز جاذب (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ گرم) در

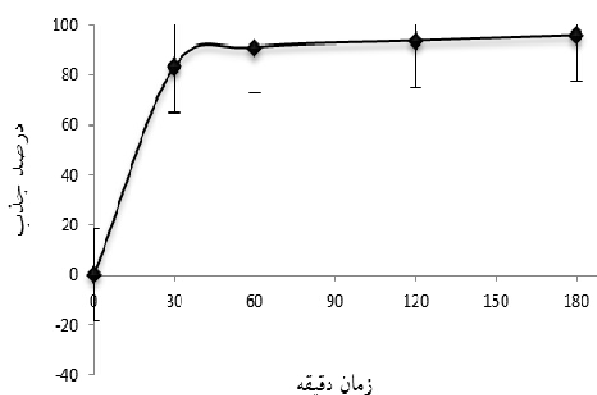


شکل ۱- اثر تغییرات غلظت اولیه فلز کادمیوم بر میزان جذب.

($pH=6.8 \pm 0.1$, دما = 27 ± 2 ، زمان = ۱۲۰ دقیقه و مقدار جاذب = ۱ گرم)

۹۰ درصد را از خود نشان داد و به حالت تعادل رسید. ذکر این نکته ضروری است که تا دقیقه ۱۸۰ مقدار جذب فقط ۵ درصد افزایش یافت که با توجه به اهمیت زمان در کار تصفیه و تغییر کم درصدهای جذب در زمان بالا، ما زمانی را انتخاب می‌کنیم که ضمن تأمین درصد جذب بالا بتواند حداقل زمان را برای کاربرد بیشتر ما ارائه دهد. بنابراین زمان بهینه جهت جذب، ۶۰ دقیقه می‌باشد که $90/80$ درصد جذب فلز کادمیوم توسط جلبک سندسموس صورت گرفته است. میزان حذف فلز توسط جلبک سندسموس در آورده شده است.

جذب با اثر زمان تماس: زمان تماس یک پارامتر بسیار مهم در میزان جذب فلزات سنگین به‌شمار می‌رود. افزایش میزان جذب به دلیل تماس بیشتر یون فلز کادمیوم با سطح جاذب می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از پارامترهای بهینه در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، دوز جاذب ۱ گرم، pH برابر با 6.8 ± 0.1 و دمای 27 ± 2 درجه سانتی‌گراد زمان را بین (۱۸۰-۰) تغییر دادیم. شکل (۲) نشان می‌دهد که در ۳۰ دقیقه اول حدود ۸۰ درصد حذف کادمیوم صورت گرفته است که این به دلیل در دسترس بودن جایگاه‌های فعال و زیاد بودن غلظت کادمیوم در دقایق اول می‌باشد. از دقیقه ۶۰ به بعد جلبک سندسموس جذب بیشتر از



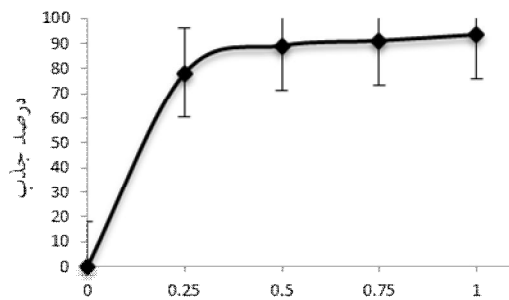
شکل ۲- اثر تغییرات زمان تماس بر میزان جذب فلز کادمیوم.

($pH=6.8 \pm 0.1$, دما = 27 ± 2 ، غلظت کادمیوم = ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار جاذب = ۱ گرم)

با ۹۳/۵۰ درصد بوده است. همچنین نتایج تغییرات دوز جذب در ذکر شده است.

نتایج حاصل از بررسی تأثیر مقادیر مختلف دوز جذب بر جذب کادمیوم نشان داد، در دوز ۱ گرم جلبک سندسموس بیشترین درصد حذف انجام شده است و در مقادیر کم‌تر این مقدار کارایی جذب کادمیوم کاهش یافته است. اما به دلایل این که در کاربردهای صنعتی باید کم‌ترین مقدار جذب که قادر به پاسخ‌گویی به نیازها باشد انتخاب گردد، دوز بهینه ۰/۷۵ گرم انتخاب شد. درصد حذف این دوز شبیه و نزدیک به دوز ۱ گرم می‌باشد. با افزایش مقدار جذب، جایگاه‌های جذب قابل دسترس برای فلز کادمیوم افزایش یافته و جذب بهتر صورت می‌گیرد.

جذب با تغییر میزان دوز جذب: جهت بررسی اثر مقادیر مختلف جذب بر روی حذف کادمیوم، با توجه به کمترین مقدار جذب با بیشترین میزان جذب، محدوده مقدار جلبک سندسموس از (۰-۱) گرم، با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، pH برابر با $6/8 \pm 0/1$ ، دمای 27 ± 2 درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود با افزایش دوز جذب از ۰ تا ۱ گرم میزان جذب به دلیل افزایش سایت‌های جذب، افزایش گروه‌های عاملی و افزایش سطوح قابل تبادل افزایش یافته است. بیشترین درصد حذف در دوز ۱ گرم برابر



دوز جذب (گرم)

شکل ۳- اثر تغییرات جرم جذب بر میزان جذب فلز کادمیوم.

($pH=6/8 \pm 0/1$ ، دما = 27 ± 2 ، غلظت کادمیوم = ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و زمان = ۱۲۰ دقیقه)

(هان و همکاران، ۲۰۰۷). پیرالس ولا و همکاران (۲۰۰۶)، گزارش دادند که جلبک سندسموس توانایی حذف فلزات سنگینی همانند: U^{6+} ، Cd^{2+} ، Cu^{2+} و Zn^{2+} را دارد.

کیزیلکایا و همکاران (۲۰۱۲)، از جلبک‌های زنده *Neochloris* و *Scenedesmus quadricauda pseudoalveolaris* در جذب مخلوط فلزات سنگین کبالت دو ظرفیتی، کادمیوم دو ظرفیتی، سرب دو ظرفیتی، کروم سه ظرفیتی، نیکل دو ظرفیتی و منگنز دو ظرفیتی استفاده کردند. نتایج نشان داد که هر دو

بحث

مزیت استفاده از جلبک در سیستم‌های تصفیه پساب این است که به‌علت بازچرخ مواد غذایی و مصرف آن‌ها با جلبک‌ها، احتمال وقوع خسارات اکولوژیکی کاهش می‌یابد (ولتولینا و همکاران، ۲۰۰۴). گونه‌های زیادی از جلبک‌ها قادرند تا مقادیری از فلزات سنگین را در خود انباشته نمایند (عبدالرئوف و همکاران، ۲۰۱۲). اما در این میان، جلبک‌های سبز با توجه به طبیعت ویژه‌شان در جذب و نسبت بالای سطح به حجمشان مورد توجه هستند

با گروه‌های عاملی موجود در ساختار جاذب (مکان‌های جذب)، مقدار جذب را افزایش داده است. ظرفیت جذب با زیاد شدن غلظت یون‌های فلزی در محلول افزایش می‌یابد (آکسو، ۲۰۰۲). علاوه بر آن افزایش غلظت یون‌های فلزی باعث بالا رفتن تعداد برخورد‌های بین یون‌های فلزی و جاذب می‌گردد که فرآیند جذب را تسریع می‌کند (کومار و همکاران، ۲۰۰۸).

با افزایش میزان جاذب، سایت‌های بیشتری برای جذب در دسترس خواهند بود، بنابراین با افزایش جاذب میزان جذب بیشتر می‌شود اما آنچه دارای اهمیت است یافتن میزان بهینه و اقتصادی جاذب برای حذف فلز است (زوار موسوی و لطفی، ۲۰۱۵). با توجه به ثابت بودن غلظت اولیه کادمیوم، با افزایش جاذب درصد حذف افزایش یافت، اما ظرفیت جذب یعنی مقدار کادمیوم جذب شده به ازای واحد جرم جاذب کاهش یافت. کاهش ظرفیت جذب نیز در اثر اشباع نشدن جایگاه‌ها در واکنش‌های جذبی است (بهرامی و همکاران، ۲۰۱۲).

نتیجه‌گیری کلی

فلزات سنگین به‌عنوان آلاینده‌های پایدار و غیرقابل تجزیه بیولوژیکی روی محیط زیست و انسان اثرات مخربی دارند. لزوم حذف این مواد از مهم‌ترین برنامه‌های محیط زیست می‌باشد. ساده بودن عملکرد در جذب زیستی سبب شده که این روش یکی از بهترین روش‌های حذف مواد سمی از طبیعت باشد. پژوهش‌های مختلف نشان داده است که روش‌های بیولوژیکی می‌تواند شرایط اقتصادی‌تر و کارآمدتری را در مقایسه با بسیاری از روش‌های فیزیکوشیمیایی فراهم نماید.

نتایج این پژوهش بیانگر این موضوع می‌باشد که توانایی جلبک سندسموس در جهت حذف فلز

جلبک توانایی خوبی برای جذب این فلزات دارند و جاذب‌های اقتصادی و سازگار با محیط زیست به حساب می‌آیند.

معمولاً در جاذب‌های مختلف، در صورت افزایش غلظت آلاینده مقدار جذب افزایش و درصد جذب کاهش می‌یابد. اما میزان این تغییرات در آلاینده‌های مختلف متفاوت می‌باشد. نتایج این تحقیق، این مطلب را تأیید کرد و با افزایش غلظت یون‌های فلز کادمیوم مقدار جذب افزایش یافت. اما به دلیل این که مقدار جاذب نسبت به غلظت اولیه یون فلز ثابت بوده است، درصد حذف کاهش یافته است. وجود سایر نمک‌ها، کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محلول فلز سنگین سبب تأثیر گذاری در میزان جذب خواهند شد. به‌طور مثال، در محلول‌هایی که حاوی کاتیون‌هایی همانند کلسیم هستند شاهد کاهش میزان جذب کادمیوم خواهیم بود (برینزا و همکاران، ۲۰۰۷).

پارامترهای مختلفی در تعیین میزان جذب بیولوژیکی دخالت دارند مثل ویژگی‌های ساختاری بیومس، مقدار جاذب، غلظت اولیه فلز و حضور یون‌های دیگر در داخل محلول که ممکن است با یون‌های موردنظر در اتصال به سطح بیومس رقابت کنند (ریدوان و همکاران، ۲۰۰۰). با افزایش سطح تماس مقدار جذب فلزات سنگین افزایش می‌یابد، بهترین جذب کننده‌ها موادی هستند که ذرات ریزتری داشته باشند.

در تحقیق حاضر تا زمان ۶۰ دقیقه تمام جایگاه‌های فعال روی جاذب اشغال نشده و در دسترس هستند. بنابراین، میزان بیشتری از مولکول‌های کادمیوم را جذب می‌نماید. در حالی که پس از زمان ۶۰ دقیقه میزان جایگاه‌های فعال در دسترس کاهش می‌یابد. به همین دلیل میزان جذب پس از ۶۰ دقیقه تقریباً ثابت است. افزایش زمان تماس جاذب با محلول به دلیل امکان تماس بیشتر یون

پیشنهاد می‌شود با توجه کارایی بالای جلبک سندسموس در حذف فلزات بهتر است در تصفیه‌خانه‌های صنعتی به جای روش‌های فیزیکوشیمیایی از روش‌های بیوجذب به وسیله ریزجلبک‌ها استفاده شود.

سنگین کادمیوم بسیار مطلوب و بالا است، بهینه‌ها بدین صورت بود که در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر شاهد ۹۳/۵۰ درصد حذف و در دوز جاذب ۰/۷۵ گرم شاهد ۹۱/۰۸ درصد حذف و در زمان تماس ۶۰ دقیقه شاهد ۹۰/۸۰ درصد حذف بودیم. بنابراین با توجه به وجود آلودگی در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌توان از این جلبک در سطح وسیع و گسترده در جهان برای زدودن آلودگی آب‌ها استفاده نمود.

منابع

1. Abdel Ghafar, H., Abdel-Aty A., Ammar N.S., and Embaby, M. 2014. Lead biosorption from aqueous solution by raw and chemically modified green fresh water algae *Scenedesmus obliquus*. *Journal of Desalination and Water Treatment*. 52(40-42): 7906-7914.
2. Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A.A., and Ibraheem, I.B.M. 2012. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 19: 3. 257-275.
3. Adedirin, O., Adamu, U., and Nnabuk, O. 2011. Removal of Cd (II) from aqueous solution using *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* immobilized in agarose gel: equilibrium, kinetics and thermodynamic study. *Scholars Research Library*. 3: 3. 59-76.
4. Aksu, Z. 2002. Equilibrium and kinetic modeling of cadmium (II) biosorption by *C. vulgaris* in a batch system: effect of temperature, *Sep. Purif. Technol*. 21: 285-294.
5. Bahrami, M., Boroomandnasab, S., Kashkooli, H.A., Farrokhian Firoozi, A., and Babaei, A.A. 2012. Synthesis of Magnetite Nanoparticles (Fe_3O_4) and its Efficiency in Cadmium Removal from Aqueous Solutions. *Journal of Water and Wastewater*. 3: 52-64. (in Persian)
6. Brinza, L., Dring, M., and Gavrilesco, M. 2007. Marine Micro and Macro Algal Species as Biosorbents for Heavy Metals. *Journal of Environmental Engineering and Management*. 6: 3. 237-251.
7. Chen, B.Y., Chen, C.Y., Guo, W.Q., Chang, H.W., Chen, W.M., Lee, D.J., and Chang, J.S. 2014. Fixed-bed biosorption of cadmium using immobilized *Scenedesmus obliquus* CNW-N cells on loofa (*Luffa cylindrica*) sponge. *Bioresource technology*, 160: 175-181.
8. Chevalier, P., and De la Noue, J. 1985. Efficiency of immobilized hyperconcentrated algae for ammonium and orthophosphate removal from wastewaters. *Biotech. Lett*. 7: 395-400.
9. Dermentzis, K., Christoforidis, A., and Valsamidou, E. 2011. Removal of nickel, copper, zinc and chromium from synthetic and industrial wastewater by electrocoagulation, *J. Environmental Sciences*. 1: 5. 112-119.
10. Han, X., Wong, Y.S., Wong, M.H., and Tam, N.F.Y. 2007. Biosorption and bioreduction of Cr (VI) by a microalgal isolate *Chlorella miniata*. *Journal of Hazardous Materials*. 146: 1-2. 65-72.
11. Herrero, R., Cordero, B., Lodeiro, P., Rey-Castro, C., and Sastre de Vicente, M.E. 2006. Interactions of cadmium (II) and protons with dead biomass of marine algae *Fucus* sp. *Mar. Chem.*, Volume 99, Pp: 106-116.
12. Hlihor, R.M., Bulgariu, L., Sobariu, D.L., Diaconu, M., Tavares, T., and Gavrilesco, M. 2014. Recent advances in biosorption of heavy metals: Support tools for biosorption equilibrium, kinetics and mechanism. *Revue Roumaine de Chimie*, 59: 527-538.
13. Holan, Z.R., Volesky, B., and Prasetyo, I. 1993. Biosorption of cadmium by biomass of marine algae. *Biotechnologie. Bioengineering*. 41: 819-825.

14. Kizilkaya, B., Türker, G., Akgül, R., and Doğan, F. 2012. Comparative Study of Biosorption of Heavy Metals Using Living Green Algae *Scenedesmus quadricauda* and *Neochloris pseudoalveolaris*: Equilibrium and Kinetics. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 33(3): 410-419.
15. Kumar, R., Bishnoi, N.R., and Garima Bishnoi K. 2008. ((Biosorption of chromium (VI) from aqueous solution and electroplating wastewater using fungal biomass)). *Chemical Engineering Journal*. 135: 202-208.
16. Lacour, S., Bollinger, J.C., Serpaud, B., Chantron, P., and Arcos, R. 2001. Removal of heavy metals in industrial wastewaters by ion-exchanger grafted textiles, *Anal. Chim. Acta*. 428: 121-132.
17. Mahdavi, S., Jalali, M., and Afkhami, A. 2012. Heavy Metals Removal from Aqueous Solutions Using TiO₂, MgO, and Al₂O₃ Nanoparticles. *Journal of Taylor and Francis Group*. 200:3. 448-470.
18. Mauskar, J.M. 2007. Cadmium– An Environment Toxicant central pollution control Board. Ministry of Environment and Forests, Govt of India, parivesh Bhawan, East Arjun Nagar, Delhi -110032.
19. Mirghaffari, N., Moeini, E., and Farhadian., O. 2015. Biosorption of Cd and Pb ions from aqueous solutions by biomass of the green microalga, *Scenedesmus quadricauda*, *Journal of Applied Phycology*. 27(1): 311-320.
20. Moodley, K., Singh, R., Musapatika, E., Onyango, M., and Ochieng, A. 2010. Removal of nickel from wastewater using an agricultural adsorbent, *J. Chemical engineering*. 37: 1. 45-53.
21. Nichols, H.W. 1973. Growth media-freshwater. In: Stein, J.R. (Ed.), *Handbook of Phycological Methods– Culture Methods and Growth Measurements*. Cambridge University Press, Cambridge, page, 7-24.
22. Perales-Vela, H.V., Peña-Castro, J.M., Canizares-Villanueva, R.O. 2006. Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. *Chemosphere*. 64: 1. 1-10.
23. Rawat, I., Ranjith Kumar, R., Mutanda, T., and Bux, F. 2011. Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy*. 88: 10. 3411-3424.
24. Ridvan, S., Adil D., and Yakup Arica M. 2000. Biosorption of cadmium, lead and copper with the filamentous fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource Technology*. 76: 2001. 67-70
25. Taieban, S.M.R., Torabi, L., Najafpoor, A.A., Alidadi, H., and Zezoli, M.A. 2012. Survey of Biosorption Chromium and Cadmium from industrial effluent, by using agricultural waste material-A Review Article. 16: 58. (in Persian)
26. Visa, M., Carcel, R., Andronic, L., and Duta, A. 2009. Advanced treatment of wastewater with methyl orange and heavy metals on TiO₂, fly ash and their mixtures. *Journal of Catalysis Today*. 144: 1. 137-142.
27. Voltolina, D., Gmez-Villa, H., and Correa, G. 2004. Biomass production and nutrient removal in semicontinuous cultures of *Scenedesmus sp.* (Chlorophyceae) in artificial wastewater, under a simulated day-night cycle. *Vie Milieu*. 54: 21-25.
28. Zavar Mousavi, L., and Lotfi, Z. 2015. Removal of Nickel and Cadmium from Aqueous Solution by Modified Magnetic Nanoparticles. *Journal of Water and Wastewater*. 1: 26. 2-11. (in Persian)
29. Zhang, E., et al. 2008. Ammonia-nitrogen and orthophosphate removal by immobilized *Scenedesmus sp.* isolated from municipal wastewater for potential use in tertiary treatment, *Bioresource Technology*, 99: 3787-93.

