بررسی قابلیت حذف فلز سنگین کادمیوم توسط سه گونه جلبک سندسموس آبلیکوس[1]، سندسموس اکیوتس[2]، سندسموس اینکراس اتیولس[3] از پساب‌های صنعتی

مهدی اعلایی [1]، احمد محمدی [*2]، حمید مشهدی [3] و فهیمه محمود نیا [4]

۱- دانشجوی دکتری گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران

۲ و ۳ - استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه آزاد اسلامی اراک، اراک، ایران

٤- گروه بیولوژی، دانشکده علوم دانشگاه فرهنگیان تهران

* ایمیل نویسنده مسئول: A-mohamady@iau-arak.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱۸- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۳۰)

چکیده

بحران آب در بخش کشاورزی از چالش‌های اساسی و بازیافت پساب یکی از روش‌های کنترل این بحران محسوب می‌شود. از محدودیت‌های استفاده از پساب‌ها در بخش کشاورزی آلودگی آن با فلزات سنگین است. از میان روش‌های مختلفی که برای حذف فلزات سنگین به‌کار می‌رود روشهای زیستی بسیار مورد توجه هستند. از این رو در این پژوهش توانایی سه میکروجلبک جنس سندسموس، *سندسموس آبلیکوس*، *سندسموس اکیوتس*، *سندسموس اینکراس اتیولس* در حذف کادمیم از پساب‌های صنعتی مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر میزان جذب میکروجلبک‌ها، میزان جذب در مقادیر مختلف pH (۳ تا ۷)، دما (۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد)، مقدار جاذب زیستی (۰/۲۵ تا ۲ گرم)، غلظت فلز (۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و زمان تماس جاذب (۳۰ تا ۱۵۰ دقیقه) مورد آزمایش قرار گرفت. تأثیر تمامی این پارامترهای مورد بررسی بر میزان جذب معنادار بود. بیشترین میزان جذب کادمیوم(۹۹٪) توسط میکروجلبک *سندسموس اینکراس اتیولس* در pH برابر با ٦، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار جاذب زیستی ۱/۵ گرم، غلظت فلز ۱۵۰ میلی گرم در لیتر و زمان تماس ۱۵۰ دقیقه مشخص شد. اما میزان جذب فلز کادمیوم توسط گونه‌های مختلف میکروجلبک تفاوت معنی‌دار نداشتند.

واژه‌های کلیدی: سندسموس اکیوتس، فلز سنگین، کادمیوم. میکرو جلبک

[1] Scenedesmus obliquus
[2] Scenedesmus acutus
[3] Scenedesmus incrass atulus

مقدمه

طبق جدیدترین برآورد «مؤسسه منابع جهانی[1]» در «اطلس خطرات آبی»، ایران در رده چهارم بعد از قطر، اسرائیل و لبنان در نزدیک شدن به «روز آخر» یعنی روزی که منابع آبی در آن ممکن است به پایان برسد، قرار دارد. با این وجود، متأسفانه در حال حاضر آب فقط یک‌بار استفاده می‌شود و بازچرخانی نمی شود. با توجه به این حجم از کمبود آب و روش‌های فعلیِ دفع فاضلاب در کشور، لزوم کنترل و هدایت پساب‌ها به‌منظور استفاده مجدد، کنترل آلودگی آب و خاک و جلوگیری از تداخل فاضلاب با سیستم تأمین آب آشامیدنی اجتناب‌ناپذیر است (Hofste *et al.*, 2019).

یکی از مهمترین کاربردهای فاضلاب ها و پسابهای تصفیه شده، استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی و گلخانه ها به شمار می آید. استفاده از پسابهای تصفیه شده در کشاورزی، به دلیل دارا بودن مواد مغذی مورد نیاز گیاه، – که سبب افزایش میزان تولید مصولات می شود، – بسیار مفید می باشد. می توان گفت که استفاده مجدد از پسابها، تنها منبع اقتصادی برای استفاده از آب در کشاورزی است (Binesh, 2008).

آلودگی محیط آبی با فلزات سنگین یکی از جدی ترین مسایل زیست محیطی قرن است. فلزات سمی که وارد آب می شوند علاوه بر اثرات سمی به علت تجمع زیستی در طول زنجیره غذایی می‌توانند منجر به خطرات جدی زیست محیطی شوند (Tobin & Roux, 1998).

کادمیوم یکی از مهمترین فلزات سمی است که نیمه عمر بیولوژیکی درحدود ۲۰ سال دارد (Rezaie *et al.*, 2017). این فلز در صنعت در باتری‌ها، پوشش‌ها، آبکاری، آلیاژ بلبرینگ، سخت رنگ‌ها، لحیم ها، لامپ تصویر تلویزیون‌های سیاه و سفید و رنگی و برخی نیمه‌هادی‌ها استفاده می‌شوند. در کشاورزی در کود و یا آفت‌کش‌ها کاربرد دارد (Arabi *et al.*, 2016). بعلاوه کاربرد گسترده‌ای به عنوان پوشش مقاوم در معدن‌کاری و تهیه سرامیک دارد (Niad & Abdollahi, 2018). عوارضی که توسط کادمیوم برای انسان ایجاد می‌شود عبارتست از: اسهال، شکم درد، استفراغ شدید، شکستگی استخوان،عقیم شدن و نازایی،آسیب سیستم عصبی مرکزی،آسیب سیستم ایمنی، ناهنجاری‌های روانی و آسیب احتمالی DNA یا سرطان (Derk, 1999).

روش‌هایی که برای حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی وجود دارد عبارتند از: رسوب دهی شیمیایی،انعقاد الکتریکی، استفاده از رزین‌های تعویض یونی، الکترودیالیز، الکتروکواگولاسیون، اسمز معکوس، تبخیر، فیلتراسیون و تثبیت پساب‌ها به وسیله سیمانی کردن(Lacour *et al.*, 2001; Maleki *et al.*, 2011). این روش‌ها نه تنها انرژی زیاد نیاز داشته بلکه با مشکلاتی از قبیل راندمان کم، تولید لجن زیاد و مشکلاتی نظیر دفع لجن حاوی مقادیر زیاد فلز سنگین روبرو بوده و نیاز به مواد شیمیایی خاص دارند(Lameiras *et al.*, 2008). جذب زیستی روش موثری برای حذف فلزات سنگین از پساب است. استفاده از جلبک درتصفیه کارآیی زیادی دارد. از مزایای این روش می‌توان به موثر بودن آن در کاهش زیاد غلظت یون‌های فلز سنگین ، بهره‌وری بالا در پساب‌های بسیار رقیق، عدم تولید لجن، استفاده مجدد از زیست توده، امکان بازیافت فلز،

[1] WRI (World Resources Institute)

ارزان بودن ماده جاذب زیستی و سرعت رشد بالای جاذب اشاره کرد(Cabuk *et al.*, 2006; Herrero *et al.*, 2006). میکروجلبک سندسموس متعلق به شاخه کلروفیتا بوده و از جلبک‌های سبز است و دارای توزیع گسترده در تمام محیط‌های آبی بوده و ازدیاد آن در شرایط آسانی صورت می‌گیرد(Bellinger & Sigee, 2010). این جلبک در مطالعات مختلف توانایی خود در حذف فلزات سنگین را نشان داده است. برای مثال (Rezaie *et al.*, 2017) از جلبک سندسموس برای جذب زیستی یون کادمیوم از محلول‌های آبی استفاده کردند و یا توده غیر زنده این جلبک برای جذب سطحی کادمیوم استفاده شده است (Arabi *et al.*, 2016). توانایی میکروجلبک *سندسموس آبلیکوس* در حذف فلز سنگین کادمیوم بررسی شده است و ضمن تائید حذف قابل قبول، میزان حذف تابع شرایط مختلف محیط از جمله دما و اسیدیته محیط بوده است(Chen *et al.*, 2014). علاوه بر این میکرو جلبک سندسموس توانسته است در جذب سرب (Derakhshan Brujeni & Mirghaffari, 2017; Gorjian Arabi etal., 2018) و کروم (Soltani *et al.*, 2015) از محلول‌های آبی به خوبی عمل کند.

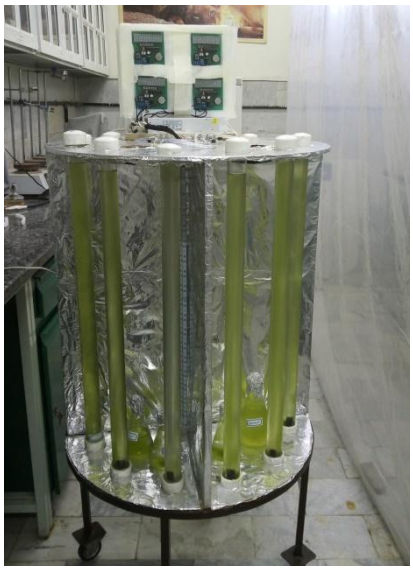
در این پژوهش نیز نه تنها توانایی سه گونه میکروجلبک متعلق به جنس *Scenedesmus*، گونه‌های *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus incrass atulus* و *Scenedesmus obliquus* در حذف کادمیم از پساب‌های صنعتی مورد آزمون قرار گرفت بلکه برای بهینه کردن میزان جذب شرایط مختلف محیطی از جمله دما، اسیدیته، زمان تماس با پساب، غلظت فلز و غلظت میزان جلبک استفاده شده مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده سازی میکروجلبک‌ها

سویه اولیه میکروجلبک‌های *سندسموس آبلیکوس*، *سندسموس اکیوتس*، *سندسموس اینکراس اتیولس* از شرکت آرین گستر تهیه شد. نمونه ها پس از انتقال به آزمایشگاه تخصصی میکروجلبک مرکز تحقیقات علوم گیاهان کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی اراک در محیط ایزوله نگاهداشته شده و پس از استریل کردن و آماده سازی محیط کشت BBM[1] (Andersen, 2005) به داخل آن منتقل شدند. کنترل عوامل محیطی در مرحله دوم تولید در فتوبیوراکتور لوله‌ای عمودی طراحی و ساخته شده در این آزمایشگاه انجام شد(Afsharbakhsh *et al.*, 2020). (شکل شماره ۱)

[1] Bold's Busal Medium



شکل ۱- فتوبیوراکتور لوله ای عمودی مورد استفاده در تحقیق

در طول ۱۳ روز هر سه میکروجلبک در محیط کشت یکنواخت با شرایط ذکر شده در جدول شماره۱ با میزان CO_2 ۱۵درصد در فتوبیوراکتور عمودی پرورش یافتند. پس از طی این مدت رشد، زیست توده جمع آوری شد. برای دوری از اثر نمک، زیست توده پنج بار با آب مقطر شسته شده و سپس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سانتریفوژ آبگیری شدند. سپس نمونه‌ها با مقادیر مشخص شده به عنوان جاذب در مرحله بعدی آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند

جدول ۱-شرایط اولیه تولید میکروجلبک جهت استفاده به عنوان جاذب عناصر سنگین

شدت روشنایی (لوکس)	مدت روشنایی (ساعت)	pH	دما (سانتی‌گراد)	ترکیب نیتراتی محیط کشت	محیط کشت
۳۰۰۰	۱٤	۸±۰.۵	۲۵	$NaNo_3$	BBM

جهت بهینه سازی میزان جذب فلز کادمیوم، پارامترهای pH، دما، مقدار جلبک، غلظت فلز و زمان تماس بر میزان جذب کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- متغیرهای مورد استفاده برای جذب فلز سنگین کادمیوم به وسیله میکروجلبک‌ها

پارامترها	غلظت فلز (میلی‌گرم بر لیتر)	مقدار جاذب زیستی (گرم)	pH	دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان تماس (دقیقه)
محدوده اجرایی	20,50,100,150,200	0.25,0.5,1,1.5,2	3,4,5,6,7	15,20,25,30,35	30,60,90,120,150

آماده سازی کادمیوم

با توجه به حساسیت صنایع از جمله صنایع پتروشیمی و پالایشگاهها در ارایه نمونه پسابهای صنعتی جهت بررسی میزان عناصر سنگین موجود ، مجبور شدیم مقادیر مختلفی که در گزارشها و تحقیقات گذشته ارایه شده بود را در آزمایشگاه شبیه سازی نماییم. برای تهیه محلول مادر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در آب مقطر دوبار تقطیر نمک $Cd(NO3)_2*4H2O$ (نیترات کادمیوم) استفاده شد. برای تهیه سایر محلول ها از این محلول مادر استفاده شد.

برای آزمایش میزان جذب، زیست توده جلبکی با غلظت های مشخص (جدول ۲) در داخل ارلن با یون‌های فلزی تماس داده شد. برای تنظیم pH محلول از اسید کلریدریک (HCl) یک دهم مولار و محلول هیدروکسید سدیم (NaOH) یک دهم مولار استفاده شد (Zulkali *et al.*, 2009).

با توجه به تعداد پارامترها و نوع طرح(فاکتوریل) برای مناسب سازی تعداد نمونه ها به نحوی که هم قابلیت استناد آماری داشته باشد وهم تعداد نمونه ها زیاد نباشد از بخش سطح پاسخ[6] در نرم افزار Design Expert استفاده شد. در آزمایش‌های انجام شده به ترتیب مقدار جاذب زیستی، pH محلول، درجه حرارت محلول و زمان قرارگرفتن در تماس با جاذب زیستی مورد بررسی قرار گرفت. حجم نمونه توسط نرم افزار ۲۳۰ نمونه مشخص شد که با توجه به حجم بالا در سه مرحله انجام گرفت. در هر مرحله تمامی شرایط برای یک نوع میکروجلبک اعمال و نتایج بررسی شد و سپس برای بقیه میکروجلبک ها این کار صورت گرفت. پس از انجام آزمایشات و در تماس قرار گرفتن میکروجلبک با فلز سنگین به ازای زمان‌های مختلف، نمونه‌ها جهت بررسی میزان جذب به آزمایشگاه جذب اتمی منتقل و توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer 3110 میزان جذب عناصر سنگین اندازه گیری شد.

سپس درصد جذب توسط میکروجلبک‌ها بر اساس پارامترهای مورد بررسی با رابطه زیر محاسبه شد:

$$B(\%)=\frac{c_f-c_i}{c_i}\times 100$$

در رابطه فوق B برابر با درصد جذب زیستی، C_i غلظت اولیه (میلی گرم بر لیتر)، C_f غلظت پایانی (میلی گرم بر لیتر) هستند (Mirghaffari *et al.*, 2015).

برداشت جلبک

برای برداشت جلبک‌ها از سانتریفوژ آرسان[7] با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه استفاده شد. پس از جمع آوری جلبک‌ها تغلیظ شده در قسمت داخلی روتور دستگاه، به ظروف استریل جداگانه منتقل شدند. با توجه به تعداد بالای نمونه‌ها، تکرار تیمارها حذف شد و برآیند سه تکرار جهت بررسی میزان زیست توده تولیدی استفاده شد.

آنالیز آماری

در این پژوهش، داده‌های به دست آمده از میزان جذب کادمیوم در شرایط مختلف دما، زمان تماس، اسیدیته محیط، غلظت جلبک و غلظت های مختلف فلز کادمیوم در سه تکرار برای تیمارها به صورت مقادیر میانگین محاسبه و اطلاعات و داده‌های به دست آمده در نرم‌افزار Design Expert وارد و تحلیل آماری نتایج با به کارگیری شاخص آنالیز واریانس برای مقایسهٔ داده‌ها در سطح معنی‌داری ۱ درصد و ۵ درصد و برای بررسی مقایسه میانگین‌ها

6 Response surface

7 Arsan separator, Cream

از آزمون توکی در نرم افزار SPSS21 استفاده شد(Soltani *et al*., 2015).

نتایج وبحث

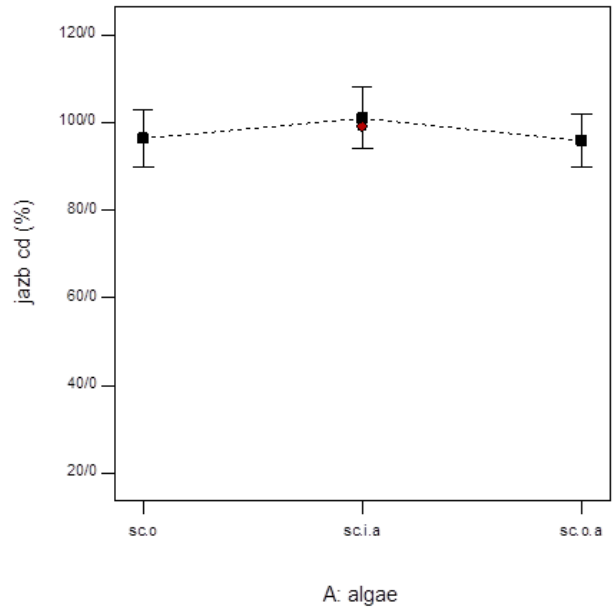
نتایج جدول تحلیل واریانس نشان می دهد که اکثر پارامترهای بررسی شده در خصوص میزان جذب کادمیوم تفاوت معناداری وجود دارد. هر چند در اثرات متقابل این پارامترها در برخی موارد تفاوت معناداری مشاهده نشده است. در بررسی تک تک این پارامترها مشاهده شد که میزان جذب کادمیوم توسط گونه‌های مختلف میکروجلبک سندسموس تفاوت معناداری با یکدیگر ندارد (جدول ۳).

به عبارت دیگر تفاوتی در انتخاب گونه های مختلف سندسموس جهت جذب عناصر سنگین ازجمله کادمیوم وجود ندارد. در ادامه بررسی ها با توجه به اینکه میزان جذب کادمیوم در جلبک سندسموس اینکراس اتیولس بالاتر بوده (شکل ۲) لذا از این گونه جهت بررسی تأثیر پارامترهای مختلف محیطی استفاده گردید.

جدول ۳- جدول تحلیل واریانس برای جذب کادمیوم

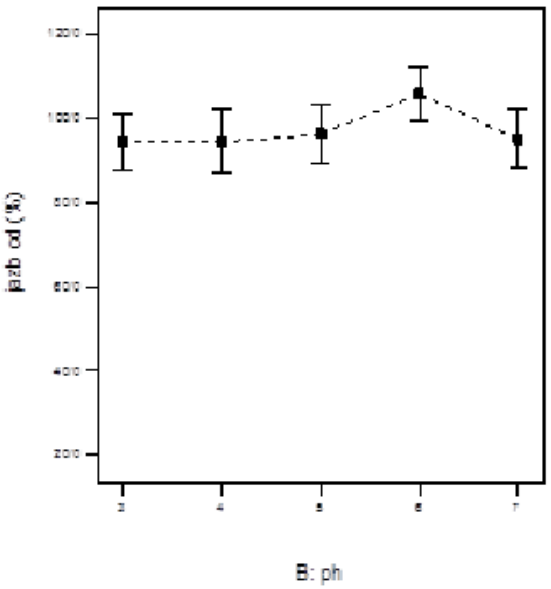
منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی
بلوک	٤٦/٥٤	۲	جلبک – زمان	٤/۳۳ ns	۸
مدل	۳۱٤۹/٤٥**	۲۲۲	دما – pH	۱٤/۰۲ ns	۱٦
جلبک ها	۳/۱۲ns	۲	تراکم جلبک – pH	۱۲/۹۱ ns	۱٦
pH	۱٥٥**	٤	تراکم فلز سنگین – pH	۱٥/۳۱ ns	۱٦
دما	۱۷/۳۷**	٤	زمان – pH	۸٤/۹۲**	۱٦
تراکم جلبک	۱٤/۲۰**	٤	دما – تراکم جلبک	۲٦/٦٦**	۱٦
تراکم فلز سنگین	۲۸/۸۸**	٤	دما – تراکم فلز سنگین	۱٤/۰٥ns	۱٦
زمان	۱٥۳۱/۸٥**	٤	دما – زمان	۲۳/۲۳**	۱٦
جلبک – pH	٥/۰٥ ns	۸	تراکم جلبک – تراکم فلز سنگین	۱٥/۹٤ns	۱٦
جلبک – دما	٦/۱۷ ns	۸	تراکم جلبک – زمان	۱۳/۳۷ ns	۱٦
جلبک – تراکم جلبک ها	۱/۷۳ ns	۸	تراکم فلز سنگین – زمان	۱٦/۹۷ ns	۱٦
جلبک – تراکم جلبک	٤/٦۸ ns	۸	مقادیر باقیمانده	۱/٤۹	٥
			مجموع	۳۱۹۷/٤۸	۲۲۹

ns ، ** و * به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ٥٪



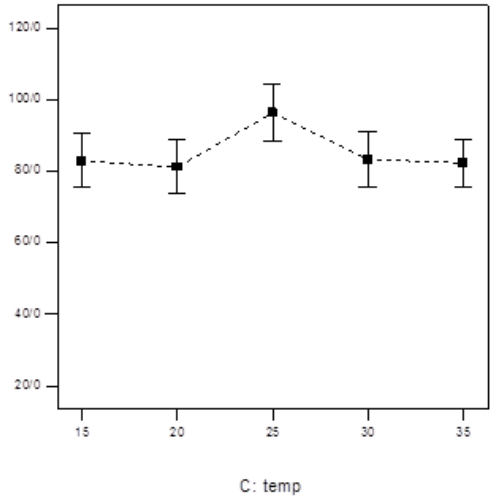
شکل ۲- میزان جذب کادمیوم توسط گونه‌های مختلف میکروجلبک

یکی از پارامترهای مهم که در جذب زیستی فلزات سنگین تأثیر قابل ملاحظه ای می گذارد، pH اولیه محلول است. اثر pH روی جذب فلزات توسط جلبک مورد مطالعه گرفت و نتایج حاصل حاکی از آن است که pH های خیلی پایین و خیلی بالا منجر به کاهش میزان جذب می شوند (Tunali *et al*,.2006) نتایج نشان میدهد که میزان جذب کادمیوم در pH های مختلف تفاوت معناداری داشته (جدول۳) و بیشترین میزان جذب کادمیوم در pH برابر با ٦ مشاهده شد (دمای ۲۵درجه سانتیگراد، غلظت جلبک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر ، دانسیته فلز میلی گرم در لیتر ۱۵۰، مدت زمان تماس ۱۲۰دقیقه) (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان می دهد که در بین pH های ۳،٤،۵ تفاوت معناداری در میزان جذب کادمیوم مشاهده نشده است. در pH های پایین‌تر و یا بالاتر میزان جذب کاهش می یابد. با توجه به اینکه در اکثر اوقات پسابهای صنعتی دارای محیط اسیدی بوده لذا در استفاده از میکرو جلبکها حتما بایستی حوضچه هایی در نظر گرفته شود به نام حوضچه متعادل کننده که در آن هم pH و هم دما در آن کنترل و متعادل گردد. در تحقیق جعفری و احمدی حداکثر حذف فلز کادمیوم محلول توسط بیومس درحد فاصل pH ۶تا ۷ می باشد (Jafari & Ahmadi, 2004). در مطالعه‌ای (Arabi *et al.*, 2016) بر روی جلبک های سندسموس انجام گرفت، بهترین pH برای جذب کادمیوم ۵ بود. در مطالعه سیدی و شکری شرایط بهینه برای جذب کادمیوم توسط جلبک اسپیروژیر pH برابر٦ با عنوان شده است (Sayadi & Shokri, 2017).



شکل ۳- جذب کادمیوم توسط گونه های مختلف سندسموس اینکراس اتیولس **در pH های مختلف**

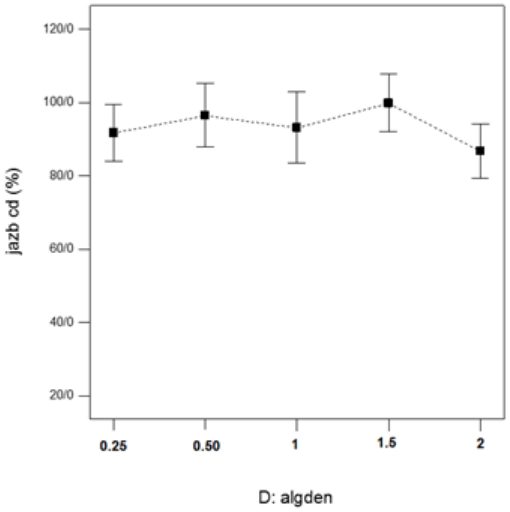
با افزایش دما مقدار جذب فلزات سنگین از جمله نیکل و کادمیوم توسط جاذب های بیولوژیکی افزایش می یابد. زیرا با افزایش دما تعداد برخوردها بین ذرات و سطح جاذب زیاد شده و میزان جذب افزایش می یابد (Holan &Volesky 1995). همانگونه که در شکل شماره ٤ مشاهده می شود بیشترین میزان جذب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد (pH=6، غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر میکروجلبک ، غلظت فلز میلی گرم در لیتر ۱۵۰و زمان تماس ۱۲۰دقیقه) رخ داد. میزان جذب در دماهای مختلف در جدول تجزیه واریانس تفاوت معناداری داشت (جدول ۳). اما نتایج مقایسه میانگین در دماهای بالاتر و پایین تر از ۲۵ درجه سانتی گراد تفاوت معناداری را نشان نداد. با توجه به اینکه در برخی موارد خروجی پساب ها دچار تغییرات دمایی شده و احتمال تخریب میکروجلبک ها وجود دارد لذا کنترل دما در عملکرد جلبکها تاثیر بسزایی دارد. در مطالعه‌ای انجام شده توسط (Arabi *et al.*, 2016) درجه حرارت بهینه برای جذب کادمیوم ۲۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. (Niad & Abdollahi, 2018) بر روی جلبک قرمز گراسیلاریا نشان داد که ، دمای۳۰ درجه سانتیگراد برای جذب کادمیوم بهینه است. بررسی جذب سطحی فلز کادمیوم از محلول‌های آبی به وسیله جلبک قهوه‌ای سیستوسرا ایندیکا نشان داد که بهترین درجه حرارت ٤۰ درجه سانتیگراد است(Jafari & Ahmadi Asbchin, 2014).



شکل ٤- میزان جذب کادمیوم توسط میکروجلبک سندسموس اینکراس اتیولس در دماهای مختلف

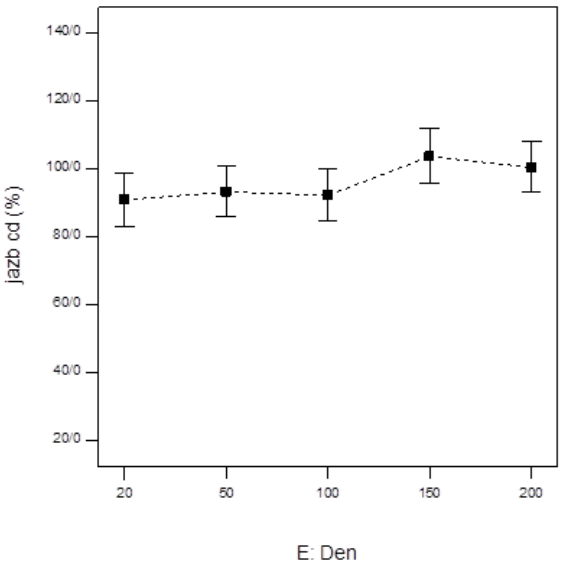
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می دهد که تراکم‌های متفاوت جاذب زیستی یا میکروجلبک تفاوت معنا داری در میزان جذب کادمیوم از خود نشان دادند (جدول ۱). بیشترین میزان جذب در تراکم ۱/۵ گرم جاذب(میکروجلبک سندسموس اینکراس اتیولس) در شرایط :دمای ۲۵درجه ساتیگراد، pH=6، غلظت فلز ۲۰۰ میلی گرم در لیتر ومدت زمان ۱۲۰دقیقه مشاهده شد (شکل ۵). (Arabi *et al.*, 2016) مقدار بهینه جاذب را برابر با ۰/۱ گرم پیشنهاد دادند. در مطالعه‌ای که توسط

(Rezaei *et al.*, 2017) بر روی جلبک‌های جنس *Scenedesmus* صورت گرفت بهترین میزان جاذب ۱ گرم به دست آمد. در مطالعه انجام شده بر روی جلبک قرمز Gracilaria و جذب کادمیوم مقدار بهینه جاذب برابر با ۵ میلی‌گرم به دست آمد (Niad & Abdollahi, 2018). شرایط بهینه برای جذب کادمیوم توسط جلبک اسپیروژیر نیازمند ۳ گرم جلبک بود (Sayadi & Shokri, 2017). بررسی جذب سطحی فلز کادمیوم از محلول‌های آبی به وسیله جلبک قهوه‌ای سیستوسرا ایندیکا نشان داد که بهترین میزان جاذب برابر با ۲/۵ گرم است (Jafari & Ahmadi Asbchin, 2014).



شکل ۵- میزان جذب کادمیوم توسط میکروجلبک سندسموس اینکراس اتیولس در تراکم‌های مختلف میکروجلبک

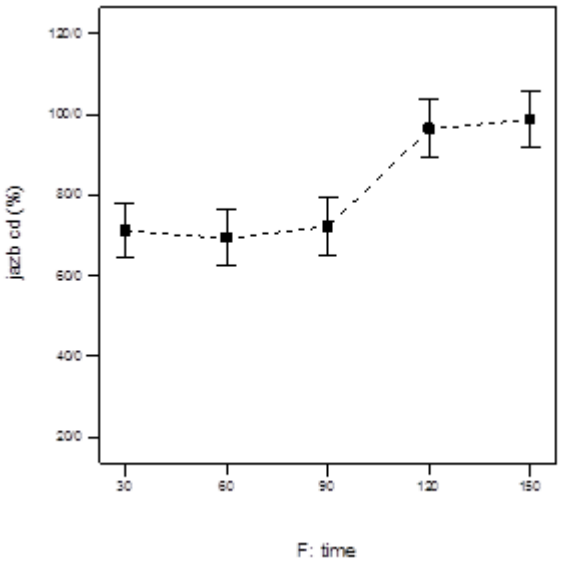
با توجه به اینکه میزان غلظت جلبک در میزان هزینه های تمام شده تصفیه پساب موثر است لذا تعیین بهترین میزان غلظت جلبک از اهمیت بالایی برخوردار است. شکل شماره ٦ نشان می دهد که میزان جذب کادمیوم در غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر در شرایط دمای ۲۵درجه سانتگیراد، pH=6، غلظت فلز ۱۵۰میلی گرم در لیتر ، در مدت تماس ۱۲۰دقیقه به بالاترین میزان خود رسید. نتایج جدول تجزیه واریانس معنا داری تاثیر تغییر تراکم فلز سنگین بر میزان جذب را نشان داد (جدول ۱). در حالیکه (Arabi *et al.*,2016) بر روی جلبک‌های سندسموس این غلظت ٤٠ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد. در مقایسه میانگین انجام شده غلظت های (۰/۲۵، ۱ و ۲) در یک سطح و غلظت های ۱/۵ و ۰/۵ در یک سطح قرار گرفتند اما با توجه به بررسی انجام گرفته در میزان تراکم سلولی ۱/۵ نتیجه بهتری گرفته شد. (Rezaie *et al.*, 2017) در مطالعه‌ای که بر روی جلبک سندسموس انجام دادند بهترین غلظت فلز را ۱۰ میلی‌گرم در لیتر پیشنهاد کردند. مطالعه انجام شده توسط (Niad & Abdollahi, 2018) بر روی جلبک قرمز گراسیلاریا و جذب کادمیوم غلظت اولیه کادمیوم را ۵۰ میلی‌گرم در لیتر پیشنهاد نمود



شکل٦- میزان جذب کادمیوم توسط میکروجلبک سندسموس اینکراس اتیولس در غلظت‌های متفاوت کادمیوم

با توجه به نتایج جدول شماره ۲ زمان نیز تأثیر معناداری بر میزان جذب کادمیوم توسط

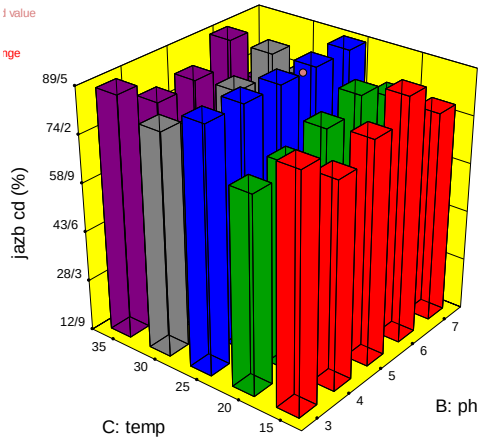
میکروجلبک‌ها داشت و بیشترین میزان جذب در زمان ۱۵۰ دقیقه در شرایط دمای ۲۵درجه سانتیگراد با pH=6، غلظت فلز و جلبک ۱۵۰میلیگرم در لیتر مشاهده گردید اما مقایسه میانگین جذب در ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه تفاوت معناداری را نشان نداد، لذا بهترین زمان ۱۲۰دقیقه بوده و افزایش مدت زمان بیشتر از این تاثیر معناداری بر میزان جذب کادمیوم ندارد(شکل ۷). درمطالعه‌ای عربی و همکاران بر روی جلبک‌های سندسموس بهترین زمان برای جذب ٤٥ دقیقه به دست آمد (Arabi *et al*,.2016). در مطالعه‌ای که توسط رضایی و همکاران بر روی جلبک *سندسموس* صورت گرفت مدت زمان تماس را ٦٠ دقیقه اعلام نمودند (.Rezayi *et al*,. 2017). مطالعه انجام شده توسط (Saied *et al.*, 2007) بر روی جذب کادمیوم توسط جلبک قهوه‌ای سارگاسوم نشان دهنده زمان ۱۲۰ دقیقه برای بالاترین جذب توسط جلبک است. مطالعه دیگری که بر روی جذب فلز کادمیوم از پساب توسط باکتری باسیلول و جلبک فوکوس سراتوس انجام شد مشخص گردید که بهترین زمان برای جذب کادمیوم توسط جلبک ٢٤٠ دقیقه است(Ahmadi Asbchin & Jafari, 2013). بررسی جذب سطحی فلز کادمیوم از محلول‌های آبی به وسیله جلبک قهوه‌ای سیستوسرا ایندیکا توسط جعفری و احمدی نشان داد که بهترین زمان تماس برای جذب فلز ۱۰ تا ٤٠ دقیقه است (Jafari & Ahmadi Asbchin, 2014).



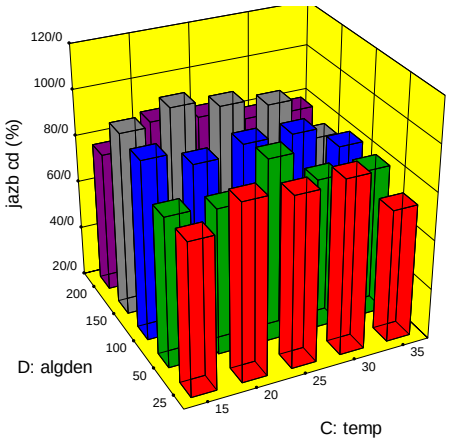
شکل ۷- تأثیر زمان بر میزمیزان جذب کادمیوم توسط میکروجلبک‌ها

با توجه به اینکه میزان جذب تابع شرایط زیادی ازجمله دما، اسیدیته محیط، مدت زمان تماس، غلظت فلز، میزان جاذب، شدت نور و مدت زمان نوردهی و اثرات متقابل این پارامترها می باشد، لذا در نظر نگرفتن هر یک از این پارامترها می تواند در نتایج بدست آمده تاثیر زیادی داشته باشد و این تفاوت در برخی نتایج با نتیجه تحقیق حاضر بیشتر به همین علت می باشد و در بسیاری از تحقیقات انجام گرفته تمامی پارامترها مورد بررسی قرار نگرفته یا برخی ثابت در نظر گرفته شده و یا اثرات متقابل آنها مورد بررسی قرار نگرفته است. برای بدست آوردن نتایج واقعی و طراحی سیستم و تولید تکنولوژی تصفیه بیولوژیکی بایستی تمامی پارامترها بصورت واقعی دخالت داده شده و تاثیرات آنها مورد بررسی قرار گیرد و در این تحقیق تاثیر کلیه عوامل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رابطه متقابل دما و تراکم جلبک، pH و دما و دما و زمان نیز تاثیر معناداری بر میزان جذب کادمیوم توسط میکروجلبک‌ها

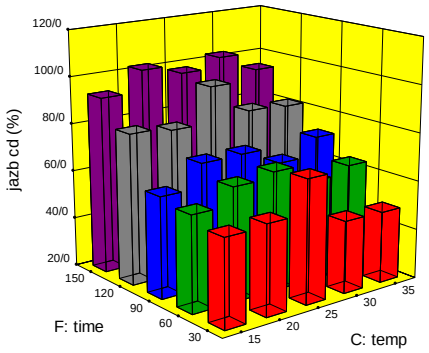
داشت (شکل ۸). به عبارت دیگر اثرات متقابل دما و غلظت میکروجلبک بکار رفته می تواند بر میزان جذب کادمیوم اثرات معناداری داشته باشد(شکل ۸ الف) در هر سه مورد ذکر شده دما وجود دارد که این نشان دهنده اثر بالای دما در میزان جذب عناصر سنگین از جمله کادمیوم می باشد. و کنترل این پارامتر می تواند در جذب تاثیر بسزایی داشته باشد. اثرات متقابل اسیدیته محیط و دما نیز معنادار بوده (شکل ۸ ب) و مدت زمان تماس میکروجلبک با دمای محیط نیز دارای اثرات متقابل معنادار می باشد(شکل ۸ ج) بنابر این با کنترل توام هر چهار پارامتر دما، اسیدیته محیط ، زمان تماس و غلظت جلبک می‌توان بهینه ترین میزان جذب کادمیوم را بدست آورده که در این تحقیق دمای ۲۵ درجه سانتیگراد با مدت زمان تماس ۱۵۰دقیه و غلظت جلبک ۱/۵گرم درpH برابر ٦ بدست آمد.



الف



ب



ج

شکل ۸- آثار متقابل تیمارها بر میزان جذب کادمیوم توسط جلبک سندسموس الف: (دما وpH) ب: (دما و غلظت جلبک) ج: (دما و زمان تماس)

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که تفاوتی در میزان جذب کادمیوم در سه گونه میکروجلبک مطالعه شده وجود ندارد و در انتخاب گونه های مختلف سندسموس محدودیتی وجود ندارد. با توجه به اهمیت تولید زیست توده بیشتر در شرایط یکسان برای استفاده از میکروجلبک به عنوان جاذب، میکروجلبک سندسموس اینکراس اتیولس دارای میزان زیست توده بالاتری بود لذا در ادامه تحقیق از

این‌گونه جهت بررسی و تعیین بهینه ترین شرایط برای جذب بالای کادمیوم استفاده شد که نتایج به دست آمده نشان داد که میزان جذب فلز کادمیوم در pH برابر با ٦ ، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان جلبک با ۱/۵ گرم در لیتر، غلظت فلز سنگین برابر با ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و زمان ۱۲۰ دقیقه دارای بیشترین مقدار(۹۹٪) می باشد.

قدردانی

از ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک و مرکز تحقیقات علوم گیاهان کاربردی برای تأمین هزینه‌های آزمایشگاهی این پایان‌نامه سپاسگزاری می‌شود.

REFRENCES

Afsharbakhsh M., Mohammadi, A., Mashadi, H., & Mahmoudnia, F. 2020. Effect of culture medium, temperature and pH on performance of micro algae of *Spirolina platensis* in vertical photobioreactor. *System Researches and Agriculture Mechanisation*, 21(76): 99-116. (In Farsi)

Ahmadi Asbchin, S., & Jafari, N. 2013. Comparison of biologic separation of cadmium from wastewater by Bacillus Bacteria and Fucus seratus algea. *Science and Technology of environment*, 15(2): 119-126. (In Farsi)

Arabi, G., M., Hosseini, A., Rezaie, H., Yusefi, H., & Meftah Halghi, M. 2016. Adsorption of cadmium by nonliving mass of algae *Scenedesmus* sp. From aquatic solutions: Isotherm, synthetic and Thermodynamic, *Marine Biology*, 8(30): 47-62. (In Farsi)

Arabi, G., M., Hosseini, S., Rezaie, H., Yusefi, H., & Meftah Halghi, M. (2018). Adsorption of lead by nonliving cell mass of Scenedesmus sp, from aquatic solutions. *Aquatic Animals Ecology*, 7(4): 124-136. (In Farsi)

Andersen, R.A. [ed.], 2005. Algal culturing techniques. Elsevier, Amsterdam, 578 pp.

Bellinger, E.D., & Sigee, D. 2010. Freshwater algae: identification and use as bioindicators. *John Wiley & Sons*, Ltd., UK. 271 p.

Binesh, Negin. 2008. The need for recycling and reuse of effluents and runoff in supplying the required water resources, *First International Conference on Water Crisis, Zabol*. https://civilica.com/doc/64290. (In Farsi)

Cabuk, A., Akar, T., Tunali, S., & Tabak, Ö., 2006. Biosorption characteristics of *Bacillus* sp. ATS-2 immobilized in silica gel for removal of Pb (II). *Journal of Hazardous Materials*, 136(2): 317-323.

Chen, B.Y., Chen, C.Y., Guo, W.Q., Chang, H.W., Chen, W.M., Lee, D.J., & 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.

Dai, C., Tao, J., Xie, F., Dai, Y.J., & Zhao, M.,2007. Biodiesel generation oleaginous yeast *Rhodotorula glutinis* with xylose assimilating capacity. *African Journal of Biotechnology*, 6(18), pp. 2130-2134.

Derakhshan Brujeni & Mirghafari, 2017. Characterization and comparison of biomass and bio chars of *Scenedesmus vadriquada* in elimination of lead from aquatic solutions. The Fifth Conference on International New Ideas in Agriculture, *Environment and Tourism*, 61-71. (In Farsi)

Derk, P., 1999. Guide to electrochemical technology. Southampton: Southampton University Electrosynthesis Company.

El-Fadaly, H., El-Ahmady, N., & Marvan, E.M., 2009. Single cell oil production by an oleaginous yeast strain in a low cost cultivation medium. *Research Journal of Microbiology*, 4(8), pp. 301-313.

Herrero, R., Cordero, B., Lodeiro, P., Rey-Castro, C., & 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.

Hofste, R., S. Kuzma, S. Walker, E.H. Sutanudjaja, et. al. 2019. "Aqueduct 3.0: Updated DecisionRelevant Global Water Risk Indicators." Technical Note. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at: https://www.wri.org/publication/aqueduct-30.

Holan Z.R., Volesky B.1995. Accumulation of cadmium,lead,and nickel by fungal and wood.,B., biosorbents. *Applied Biochemistry and Biotechnology*,53:133-146.

Jafari, N., & Ahmadi Asbchin, 2014. Adsorption of cadmium and lead from water solutions by biomass of brown algae *Cystocera indica*. *Journal of plant researches*, 27 (1): 23-31. (In Farsi)

Lacour, S., Bollinger, J.C., Serpaud, B., Chantron, P., & Arcos, R. 2001. Removal of heavy metals in industrial wastewaters by ion-exchanger grafted textiles, Anal. Chim. *Acta*. 428:121-132.

Lameiras, S., Quintelas, C. & Tavares, T., 2008. Biosorption of Cr (VI) using a bacterial biofilm supported on granular activated carbon and on zeolite. *Bioresource Technology*, 99: 801–806.

Maleki, A., Mahvi, A. H. & Rezaee, R., 2011. Cadmium adsorption using a bacterial biofilm supported on clinoptilolite from aqueous solution. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*, 16:65-75.

Mirghaffari, N., Moeini, E. & 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.

Naser Jafari, Salman Ahmadi Asbchin. 2014. Adsorption of cadmium and lead metals from aqueous solutions by the biomass of the brown alga Cystosera indica. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology) (Scientific), 27 (1), 23-31. doi: 2713. (In Farsi)

Niad, M., & Abdollahi, Z., 2018. Capacity of red algae Gracilaria for biosorption of cadmium, study of isotherm and response area. *Oceanography*, 9(35): 61-69. (In Farsi)

Rezaie, A., Hosseini, A., Ghorbani, R., & Rezaie, H. 2017. Biosorption of cadmium from aquatic solutions by using Scenedesmus sp. *Utilization and culture of aquatic animals*, 6(1): 75-83. (In Farsi)

Saiedi, R., Nadafi, K., & Nabizadeh, R, 2007. Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aquatic environments by Sargasum brown algae. *Journal of Health Faculty and Hygiene Research Institute*, 5(2): 13-24. (In Farsi)

Sayadi, M.. & Shokri, H., 2017. Biosorption of heavy metals of cadmium and lead from aquatic environments by using Sprogire algae. *Environment*, 43(3): 379-390. (In Farsi)

Soltani, N., Saberi Najafi, M., & Ameri, M. 2015. Effect of micro algae fixation *Scenedesmus quadricauda* ISC 109 on potential in decrease of Chrome pollution. *Aquatic Animals Ecology*, 5(3): 80-88. (In Farsi)

Tobin, J. M. & Roux, J. C., 1998. Mucor biosorbent for chromium removal. *Water Research*, 32(5):1407-1416.

Tunali S, Akar T, Ozcan AS, Kiran I, Ozcan A.2006. Equilibrium and kinetics of biosorption of lead (II) from aqueous solutions by *Cephalosporium aphidicola.* Separation and Purification Technology. 47(3): 105–112

Xin, L., Hong-Ying, H., Jia, Y., & Yin-Hu, W. (2010). Enhancement effect of ethyl-2-methyl acetoacetate on triacylglycerols production by a freshwater microalga, *Scenedesmus* sp. LX1. *Bioresource Technology*, 101(24):9819-21.

Zulkali, M.M.D., Ahmad, A.L., & Norulakmal, N.H. 2009. *Oryza sativa* L. husk as heavy metal adsorbent: Optimization with lead as model solution. *Bioresource Technology*. 97: 21-25.

.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 1/No.2/Summer 2021/P: 48-62

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Investigation of Ability of *Scenedesmus acutus, Scenedesmus incrassatulus* and *Scenedesmus obliquus* in the Absorption of Cadmium from Industrial Wastewaters

Mahdi Alayi [1], Ahmad Mohamadi *[2], Hamid Mashhadi [3] Fahimeh Mahmod nia[4]

[1] Ph. D. Student, Department of Mechanic of Bio- systems Engineering, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

[2] Assistant Professor, Department of Mechanic of Bio- systems Engineering, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

[3] Assistant Professor, Department of Mechanic of Bio- systems Engineering, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

[4] B.S.C, Department of Biology, Faculty of Science, Farhangian University, Tehran, Iran

* Corresponding Author's Email: A-mohamady@iau-arak.ac.ir

(Received: August. 9, 2021 – Accepted: September. 21, 2021)

ABSTRACT

The water crisis in the agricultural sector is one of the main challenges, and wastewater recycling is one of the ways to control this crisis. One of the limitations of using effluents in the agricultural sector is water pollution with heavy metals. Among the various methods used to remove heavy metals, biological methods are of great interest. Therefore, in this study, the ability of three microalgae of the genus *Sandsmus*, *Scenedesmus acutus*, *Scendesmus incrassatulus*, and Scenedesmus obliquus to remove cadmium from industrial effluents was studied. To investigate the effect of different parameters on the adsorption rate of microalgae, adsorption rate in different values of pH (3 to 7), temperature (15 to 35 ° C), amount of biosorbent (0.25 to 2 g), metal concentration (20 to 200 mg/L and adsorbent contact time (30 to 150 minutes) were tested. The effect of all these parameters on the absorption rate was significant. The highest rate of cadmium (99%) uptake by microalgae occurred at pH 6, temperature 25 $^{\circ C}$, 1.5 $_{g}$ of biosorbent, the metal concentration of 150 $_{mg/l}$, and contact time of 150 minutes. But the amount of cadmium uptake by different species of microalgae was not significantly different.

Keywords: Scenedesmus, Heavy metal, Cadmium. Microalgae.