Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
PSI
Phycological Society of Iran

Remediation of Pb from industrial wastewater using *Scenedesmusacutus*, *Scenedesmusincrassatulus*, and *Scenedesmusopliquus* microalgae

Mahdi Alayi[1], Ahmad Mohammadi[2*], Hamid Mashhadi [3], Fahimeh Mahmoudnia[4]

[1]Department of Bio-system mechanical, , Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Arak branch, Arak, Iran, E-mail: fonon_gostar@yahoo.com
[2] Department of Bio-system mechanical, , Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Arak branch, Arak, Iran, E-mail: ahmad.mohamady@gmail.com
[3] Department of Bio-system mechanical, , Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Arak branch, Arak, Iran, E-mail: h-mashhadi@iau-arak.ac.ir
[4]Department of Biology Science, Farhangian University, Tehran, Iran, E-mail: f.mahmoudnia@cfu.ac.ir

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 16.01.2022
Revised: 19.02.2022
Accepted: 28.02.2022
Published:24.06.2023

Keywords
Heavy metals
Lead
Scendesmus microalgae
biological removal
Industrial Waste

Abstract

Heavy metal pollution is one of the most serious environmental problems. There are several methods for removing heavy metals that require a lot of energy and expenses. Therefore, the use of adsorbents such as algae has been considered. In this study, the efficiency of three species of microalgae, namely *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus incrassatulus*, and *Scenedesmus obliquus* in adsorption of lead-heavy metal was investigated under, pH (3 - 7), algal density (0.25 - 2 g), contaminant concentration (20 - 200 mg l^{-1}), time (30 - 150 minutes), and temperature (15 - 35 ℃). Results showed that the rate of absorption of heavy metals by these three species of algae was not significantly different. However, pH, algal density, pollutant concentration, time, and the temperature had a significant effect on the heavy metal removal efficiency of these algae species from the environment. The highest concentration of lead uptake by microalgae occurred at pH 6, 25 ℃, adsorbent level of 0.5 g, contact time of 120 minutes, and lead density of 150 mg l^{-1}. Lead uptake had no effect on lipid and biodiesel production by these microalgae.

Cite this article as: Alayi, M., Mohammadi, A., Mashhadi, H., Mahmoudnia, F. (2023). Remediation of Pb from industrial wastewater using *Scenedesmusacutus*, *Scenedesmusincrassatulus*, and *Scenedesmusopliquus* microalgae. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 70(2): 127-137.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2022.1950005.1764 Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.70.1.1

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

حذف فلز سنگین سرب از پساب صنعتی با استفاده از سه گونه میکروجلبک *Scenedesmus acutus*، *Scenedesmus incrassatulus* و *Scenedesmus opliquus*

مهدی اعلایی[۱]، احمد محمدی[۲]*، حمید مشهدی[۳]، فهیمه محمودنیا[٤]

[۱] گروه مکانیک بیوسیستم،دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، رایانامه: fonon_gostar@yahoo.com
[۲] گروه مکانیک بیوسیستم،دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، رایانامه:ahmad.mohamady@gmail.com
[۳] گروه مکانیک بیوسیستم،دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، رایانامه: h-mashhadi@iau-arak.ac.ir
[٤] گروه بیولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه فرهنگیان تهران، تهران، ایران، رایانامه: f.mahmoudnia@cfu.ac.ir

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۱۰/۲٦
تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۱۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۱۲/۰۹
تاریخ چاپ: ۱٤۰۲/۰٤/۰۳

واژه‌های کلیدی:
فلزات سنگین
سرب
میکرو جلبک سندسموس
حذف بیولوژیکی
پساب صنعتی

چکیده

آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین یکی از جدی ترین مشکلات زیست محیطی است. روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین وجود دارد که به انرژی زیادی نیاز داشته و پر هزینه هستند. بنابراین استفاده از جاذب‌هایی نظیر جلبک‌ها مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش کارآیی سه گونه میکروجلبک‌های *Scenedesmus acutus*، *Scenedesmus incrassatulus* و *Scenedesmus opliquus* در جذب فلز سنگین سرب بررسی شد. بدین منظور پارامتر pH (۳ تا ۷)، تراکم جلبک (۰/۲۵ تا ۲ گرم)، غلظت آلاینده (۲۰ تا ۲۰۰ میلیگرم در لیتر)، زمان (۳۰ تا ۱۵۰ دقیقه) و دما (۱۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان جذب فلزات سنگین توسط این سه گونه تفاوت معنی داری نداشت. اما میزان pH ، تراکم جلبک، غلظت آلاینده، زمان و دما تاثیر معناداری بر کارآیی جلبکها در حذف مواد آلاینده از محیط داشت. به نحوی که بیشترین میزان جذب سرب توسط میکروجلبک‌ها در pH برابر با ٦، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان جاذب برابر با ۰/۵ گرم، مدت زمان تماس ۱۲۰ دقیقه و تراکم ۱۵۰ میلی گرم در لیتر سرب رخ داد. جذب سرب بر تولید لیپید و بیودیزل توسط میکروجلبک‌ها تاثیری نداشت. لذا امکان تولید بیودیزل همزمان با حذف عناصر سنگین امکانپذیر است.

استناد: روئین، علی؛ باقی‌زاده، امین؛ رقامی، محمود؛ موسوی، امیر. (۱٤۰۲). حذف فلز سنگین سرب از پساب صنعتی با استفاده از سه گونه میکروجلبک *Scenedesmus acutus*، *Scenedesmus incrassatulus* و *Scenedesmus opliquus*. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۷۰ (۲)، ۱۳۷-۱۲۷.

Doi: 10.30495/iper.2022.1950005.1764
Dor: 20.1001.1.24237671.1402.18.70.1.1

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین یکی از جدی‌ترین مشکلات زیست محیطی است. پدیده‌ای نظیر تجمع زیستی حضور این فلزات سنگین در محیط‌های آبی را حتی در غلظت‌های کم مشکل ساز می‌کند (Tobin and Roux, 1998). فلزات سنگینی مانند کروم، کادمیوم، سرب، روی و مس از صنایع مختلف به آب‌های سطحی و آشامیدنی وارد شده و تبدیل به تهدیدی جدی برای سلامت بشر شده است (Sivakumar, 2015).

طبق جدیدترین برآورد «مؤسسه منابع جهان[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 نمی‌گردد. 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 (WRI, 2019).

سرب معمولا در انواع پساب‌های صنعتی یافت می‌شود. سرب در کاربردهای صنعتی نظیر کابل سازی، باتری‌های قابل شارژ، تولید رنگ، چاپ، سوخت، مواد عکاسی،ساخت مواد منفجره، تولید تترا اتیل سرب و سرامیک و شیشه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jalali et al., 2002). برای حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی روش‌های مختلفی وجود دارد که عبارتند از: انعقاد، رسیب، تبادل یون، الکتروکواگولاسیون، اسمز معکوس و تبخیر و فیلتراسیون (Maleki et al., 2011). این روش‌ها به انرژی زیاد نیاز داشته، مقادیر زیادی لجن تولید می‌کنند که حاوی مقادیر زیادی فلزات سنگین می‌باشد و پر هزینه هستند (Lamerias 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 زیادغلظت یون‌های فلز سنگین ، بهره وری بالا در پساب‌های بسیار رقیق، عدم تولید لجن، استفاده مجدد از زیست توده، امکان بازیافت فلز، ارزان بودن ماده جاذب زیستی و سرعت رشد بالای جاذب اشاره کرد (Cabuk et al., 2006; Herrero et al., 2006).

در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌های طبیعی همچون باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و مواد زاید کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. جلبک‌ها به دلیل فراوانی در اکوسیستم‌های مختلف و توانایی بالا در سازگاری با شرایط محیطی معمولا برای پایش زیست محیطی استفاده می‌شوند (Rajfur et al., 2011). میزان حذف کادمیوم دو ظرفیتی از محلول‌های آبی توسط میکروجلبک *Scendesmuscerevisiae* نیز بررسی شده است (Hilhore et al., 2014). در مطالعه انجام شده توسط Perales- Vela و همکاران (۲۰۰۶) مشخص شده است که جلبک *Scendesmus* توانایی حذف کادمیوم دوظرفیتی، مس دوظرفیتی و روی دوظرفیتی را دارد. در این پژوهش کارآیی سه گونه میکروجلبک‌های *Scenedesmusincrassatulus* ، *Scenedesmusacutus* و*Scenedesmusopliquus* در جذب سرب بررسی شد. همچنین تاثیر جذب سرب بر تولید لیپید و بیودیزل توسط جلبک‌ها بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

آماده سازی فلزات سنگین: برای تهیه محلول مادر فلز سنگین سرب از Pb (NO3)2 استفاده شد. در این

1. WRI(World Resources Institute)

روش غلظت تهیه شده از فلز mg/L ۱۰۰۰ بود که با حل شدن در آب دوبار تقطیر بدست آمد. برای تهیه سایر محلول‌ها از این محلول مادراستفاده گردید.

آماده سازی جاذب: مقادیر مورد نیاز استوک میکروجلبک‌های *Scenedesmusacutus*، *Scenedesmusincrassatulus* و *Scenedesmusopliquus* از شرکت آرین گستر تهیه گردید. این استوکها پس از انتقال آزمایشگاه با توجه به حساسیت استوک‌ها در محیط ایزوله نگهداری و بعد از استریل کردن محیط و آماده سازی محیط کشت به داخل محیط کشتها که همگی از BBM استفاده شده بود (Andersen, 2005) منتقل گردید. به منظور کنترل عوامل محیطی در مرحله دوم تولید از فتوبیوراکتور لوله ای عمودی (شکل ۱) استفاده شد (افشار بخش و همکاران، ۱۳۹۹). در طول ۱۵ روز کلیه عوامل مطابق با جدول (۱) تنظیم و کنترل گردید (فرهادیان و جعفری، ۱۳۹٤).

شکل ۱: فتوبیوراکتور لوله ای عمودی

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

نوع جلبک	محیط کشت	ترکیب نیتراتی محیط کشت	زمان‌برداشت (روز)	دما (سانتیگراد)	pH	مدت‌روشنایی (ساعت)	شدت روشنایی (لوکس)	میزان CO_2 (درصد)
Scenedesmusacutus	BBM	$NaNo_3$	۱۳	۲۵	۰،۵±۸	۱٤	۳۰۰۰	۱۵
Scenedesmusincrassatulus	BBM	$NaNo_3$	۱۳	۲۵	۰،۵±۸	۱٤	۳۰۰۰	۱۵
Scenedesmusopliquus	BBM	$NaNo_3$	۱۳	۲۵	۰،۵±۸	۱٤	۳۰۰۰	۱۵

طی دوره رشد دوهفته‌ای، زیست توده جمع‌آوری شده و زیست توده جلبک برای اجتناب از هرگونه اثر نمک پنج بار با آب مقطر شسته شد. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ آبگیری وسپس در آون

در دمای ٤٠ درجه خشک، آسیاب و از طریق یک الک ۲۰۰ میکرون غربال شد و به‌عنوان جاذب در مراحل بعدی آزمایش مورد استفاده قرارگرفت. پس از آماده سازی جاذب‌ها برای بررسی میزان جذب سرب به‌وسیله میکروجلبک‌های مورد مطالعه متغیرهایی استفاده شده که در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲: متغیرهای مورد استفاده برای جذب فلزات سنگین به وسیله میکروجلبکهای انتخابی

متغیر	غلظت فلز (میلی گرم بر لیتر)	مقداربیوجاذب (گرم)	pH	دما (سانتی‌گراد)	زمان تماس (دقیقه)
محدوده	۲۰،۵۰،۱۰۰،۱۵۰،۲۰۰	۲، ۱/۵، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵	۳،٤،۵،٦،۷	۱۵،۲۰،۲۵،۳۰،۳۵	۳۰،٦۰،۹۰،۱۲۰،۱۵۰

تمام آزمایش‌های جذب ازطریق تماس زیست توده با یونهای فلزی مشخص شده در ارلن انجام شد. به منظور تنظیم pH محلول‌های فلزی از کلریدریک اسید HCL یک دهم مولار و محلول سدیم هیدروکسید NaOH یک دهم مولار استفاده گردید (Zulkali et al., 2009). سپس مقادیرمشخص از جلبک‌های مورد نظر به محلولهای فلزی با غلظت‌های مشخص اضافه شد. درآزمایش‌های صورت گرفته به‌ترتیب غلظت، مقدار بیوجاذب، pH محلول، درجه حرارت محلول و زمان قرارگرفتن بیوجاذب مورد بررسی قرارگرفت .بدین صورت که ابتدا فلز با غلظت‌های متغیر۲۰ تا۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر که در جدول بالامشخص است در نظرگرفته شد و بقیه عوامل ثابت بودند و از شیکرانکوباتور۱۵۰ دور در دقیقه برای یکنواخت شدن استفاده گردید تا بهترین غلظت برای جذب به دست آید و سپس با توجه به‌ترتیبی که در بالا ذکر شده برای بقیه متغیرها این کار صورت پذیرفت. پس از انجام آزمایشات نمونه‌های جهت بررسی میزان جذب به آزمایشگاه جذب اتمی[1] منتقل و توسط دستگاه جذب اتمی مدل Elmer 3110 Perkin میزان جذب عناصر سنگین اندازه‌گیری شد. برای محاسبه درصد جذب از فرمول زیراستفاده شد:

$$\text{Biosorption}(\%) = \frac{C_f - C_i}{C_i} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن C_i غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)، C_f غلظت پایانی (میلی گرم بر لیتر) هستند (Mirghaffari et al., 2015).

برداشت جلبک: در این تحقیق از روش مکانیکی سانتریفوژ استفاده گردید.در این روش جمع‌آوری جلبکها توسط سانتریفیوژ Arsan Cream Turkey, separator جداسازی ترکیبات معلق محلول که در واقع نوعی دستگاه خامه گیر با حجم بالا و شتاب ۱۲۰۰۰گرم بود صورت پذیرفت. پس از رسوب و جمع‌شدن جلبک‌ها در قسمت داخلی روتور دستگاه، جلبک‌های تغلیظ شده جمع آوری و به ظروف استریل جداگانه منتقل شدند. با توجه به تعداد بالای نمونه‌ها تکرارها حذف و برایند سه تکرار جهت بررسی میزان زیست توده تولیدی، میزان لیپید و بیودیزل استفاده گردید.

استخراج لیپید: در فرایند استخراج، زیست توده ریزجلبکی در تماس با یک حلال قرار می‌گیرد تا روغن از ساختار سلولی آن خارج شود. استخراج لیپید از ریزجلبک معمولاً به روش‌های شیمیایی و مکانیکی انجام می‌شود. از میان این روش‌ها، استخراج با استفاده از دستگاه سوکسله (شکل ۲) مورد استفاده قرار گرفته شد.

1. Atomic absorption

شکل ۲: دستگاه سوکسوله اتوماتیک

۱۰گرم از هر نمونه زیست توده خشک شده، به آرامی توسط‌هاون یکنواخت گردید و استخراج لیپید از آن توسط دستگاه سوکسله مدل Soxtec 2050 انجام شد. به‌نحوی که هر سیکل شامل جوشیدن ۲۵ دقیقه، استخراج لیپید ٤٠ دقیقه و بازیابی حلال ۱۵ دقیقه بود. استخراج تمامی نمونه‌ها بطور یکسان در سه سیکل انجام شد. جهت استخراج از سه حلال متداول دی اتیل اتر، ان هگزان و ان پنتان با دمای جوش متفاوت و درجه خلوص بالا (HPLC grade) استفاده شد. جهت حذف بقایای میکروجلبک، لیپید استخراج شده توسط فیلتر µm ٤٥ صاف گردید. هرکدام از مراحل خشک نمودن و استخراج لیپید با سه بار تکرار انجام شد و سپس نتایج به صورت میانگین محاسبه گردید. پس از تعیین مقدار لیپید، لیپید بدست آمده را در٤ میلی لیتر ایزوپروپیل الکل حل نموده و مقدار تری گلیسرید آن اندازه گیری گردید (Xin et al., 2010).

برای تعیین درصد تولید لیپید از فرمول زیر استفاده گردید (El-Fadaly et al., 2009).

۱۰۰× وزن خشک بیومس / وزن روغن استخراج شده = درصد تولید لیپید یا محتوای لیپیدی

استخراج بیودیزل

جهت استخراج بیودیزل از لیپید ایتدا: ترنس استریفیکاسیون اسیدهای چرب در فلاسک‌های حاوی سولفوریک اسید به عنوان کاتالیزور با نسبت مولی ۱:٤٠ متانول به روغن استخراج شده در۱۸۰ دور بر دقیقه به‌مدت ۵ ساعت صورت گرفت. پس از آن دو لایه تشکیل شد که لایه بالایی حاوی بیودیزل بوده و به واسطه پترولیوم اتر جداسازی گردید (Dai et al., 2007). برای تعیین میزان درصد بیودیزل تولید شده از فرمول زیر استفاده گردید.

۱۰۰× وزن لیپید / وزن بیودیزل استخراج شده = درصد تولید بیودیزل

آنالیز آماری

طرح مورد استفاده فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی بوده و داده‌های به‌دست آمده از میزان جذب سرب در شرایط مختلف دما، زمان تماس؛ اسیدیته محیط، غلظت جلبک و غلظت‌های مختلف فلز سرب در تکرارهای مساوی 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 یک درصد و ۵ درصد انجام شد (Soltani et al., 2015). جهت بررسی تاثیر جذب فلزسنگین بر میزان لیپید و بیودیزل تولیدی، مقدار آن قبل و بعد از جذب فلز سنگین اندازه گیری و تفاوت آن از نظر آماری تجزیه و تحلیل گردید.

نتایج

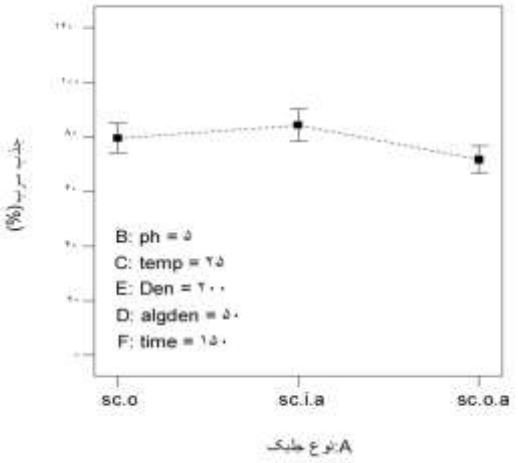
نتایج تحلیل واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد که در اکثر پارامترهای بررسی شده در خصوص میزان جذب سرب تفاوت معناداری وجود دارد هر چند در اثرات متقابل این پارامترها در برخی موارد تفاوت معناداری مشاهده نشده است. در بررسی تک تک این پارامترها مشاهده گردید که میزان جذب سرب توسط گونه‌های مختلف میکروجلبک تفاوت معناداری با یکدیگر ندارد (شکل ۳). به عبارت دیگر تفاوتی در انتخاب گونه‌های مختلف سندسموس جهت جذب عناصر سنگین ازجمله سرب وجود ندارد.

جدول ۳: جدول تحلیل واریانس برای جذب سرب

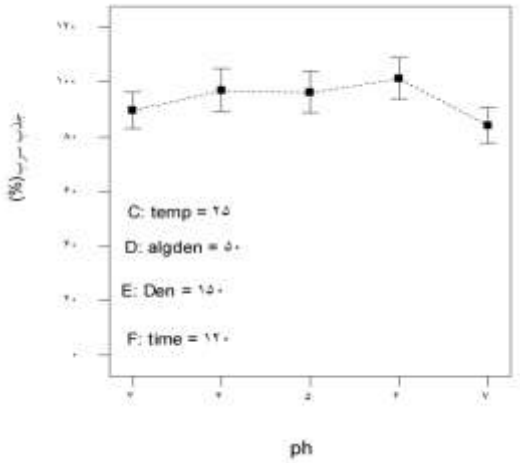
منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی
بلوک	۱/۱	۲	جلبک – زمان	۰/۱ ns	۸
مدل	۷۵/۹**	۲۲۲	دما – pH	۰/۳ ns	۱۶
جلبک‌ها	۰/۰۹ ns	۲	تراکم جلبک – pH	۰/۳۱ ns	۱۶
pH	۳/۹۵**	٤	تراکم فلز سنگین – pH	۰/٤۱ns	۱۶
دما	۰/٤۹**	٤	زمان – pH	۲/۳۱**	۱۶
تراکم جلبک	۰/۳۲**	٤	دما – تراکم جلبک	۰/۷*	۱۶
تراکم فلز سنگین	۰/٦۸**	٤	دما – تراکم فلز سنگین	۰/۳ns	۱۶
زمان	۳٦/۱۹**	٤	دما – زمان	۰/٥٤*	۱۶
جلبک – pH	۰/۱۲ ns	۸	تراکم جلبک – تراکم فلز سنگین	۰/۳٦ns	۱۶
جلبک – دما	۰/۱۲ ns	۸	تراکم جلبک – زمان	۰/۳ns	۱۶
جلبک – تراکم جلبک‌ها	۰/۰٦ ns	۸	تراکم فلز سنگین – زمان	۰/۳۹ns	۱۶
جلبک – تراکم فلز	۰/۱ ns	۸	مقادیر باقیمانده	۰/۰۳۵	۵
			مجموع	۷۷/۰۱	۲۲۹

اما میزان pH، دما، تراکم جلبک، غلظت فلز سنگین و زمان تاثیر معناداری بر میزان جذب فلز داشت. بیشترین میزان جذب در pH برابر با ٦ و کمترین جذب در pH برابر با ۷ رخ داد (شکل ٤). در دماهای مختلف میزان جذب متفاوت بود و بیشترین میزان جذب سرب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد (شکل ۵). مناسبترین تراکم جلبک برای جذب سرب ۰/۵ گرم جلبک بود (شکل ٦). بیشترین میزان جذب سرب در تراکم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سرب اتفاق افتاد (شکل ۷). بیشترین جذب سرب

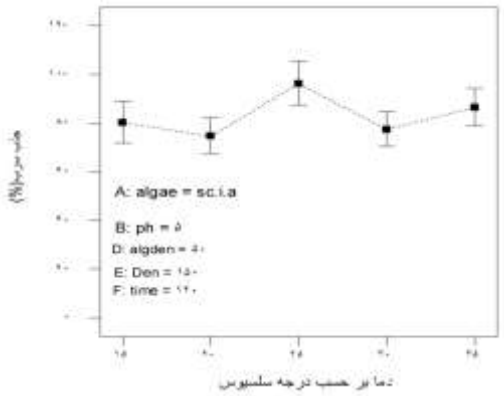
توسط میکروجلبکها در ۱۲۰ دقیقه پس از تماس با آلاینده رخ داد (شکل ۸). اثر متقابل pH و زمان، دما و تراکم جلبک و دما و زمان بر میزان جذب سرب معنا دار بود (شکل ۹).



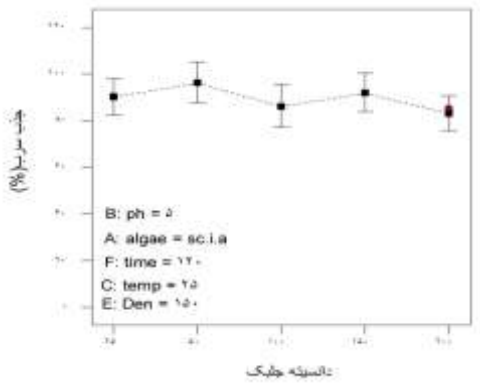
شکل ۳: میزان جذب سرب توسط گونه‌های مختلف جلبک



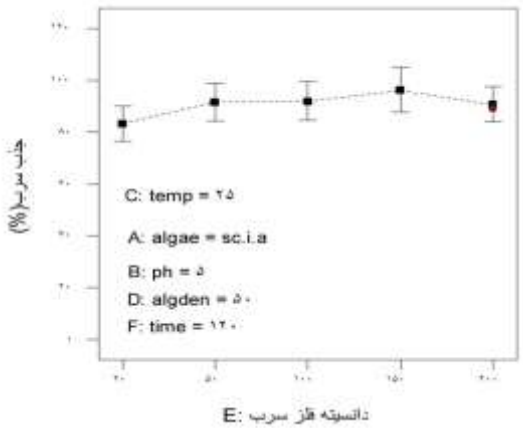
شکل ٤: میزان جذب سرب توسط جلبک در pHهای مختلف



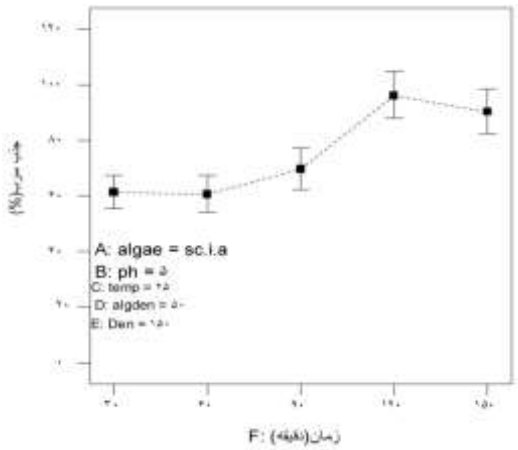
شکل ۵: میزان جذب سرب توسط جلبک در دماهای مختلف



شکل ٦: میزان جذب سرب توسط جلبک در تراکم‌های مختلف جلبک بر حسب گرم



شکل ۷: میزان جذب سرب توسط جلبک در غلظت‌های مختلف سرب (میلی گرم در لیتر)



شکل ۸: میزان جذب سرب توسط جلبک با گذشت زمان (دقیقه)

مقایسه لیپید و بیودیزل تولید شده قبل و بعد از جذب سرب نشان داد که تفاوت معنا داری بین این دو دسته وجود ندارد و مقدار لیپید و بیودیزل تولید شده توسط جلبک‌هایی که برای جذب سرب بکار می‌روند و جلبک‌هایی که برای جذب سرب بکار نمی روند تفاوت معنی‌داری ندارد ($P>0.05$).

بحث

سه میکروجلبک مورد بررسی در میزان جذب فلزات سنگین تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند. بررسی تیمارها نشانگر اثر گذاری عواملی نظیر pH، دما، زمان، تراکم جاذب و تراکم فلزات سنگین بر روی میزان جذب بود. بهترین عملکرد میکروجلبک *Scenedesmusquadricauda* در pH برابر با ۵، مقدار جاذب ۱ گرم در لیتر و مدت زمان ٦٠ دقیقه بود. در مطالعه انجام شده توسط گرجیان عربی و همکاران (۱۳۹۷)، مقدار pH مناسب برای جذب برابر با ٤ بود در حالیکه در این پژوهش میزان pH مناسب برابر با ٦ بود.این تفاوت می‌تواند ناشی از نوع جلبک انتخابی باشد. Malakootian و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند در pH ۵ تا ۸ به‌دلیل بالا بودن راندمان جذب به وسیله جلبک، سطح جذب در محیط‌های اسیدی کاهش می یابد در حالی که در این پژوهش بیشترین میزان جذب در pH برابر با ٦ مشاهده شد. در دیگر مطالعات انجام شده بهترین pH برای جذب سرب در جلبک سبز *Microcystisnovacekii* برابر با ۵ بود (Ribeiro et al., 2010). بنابراین جلبک‌های بکار رفته در این مطالعه در pH بالاتر از سایر جلبک‌ها قادر به جذب بالای سرب بودند. در این مطالعه بیشترین میزان جذب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ داد در حالیکه در مطالعه انجام شده توسط Gorjian Arabi و همکاران (۲۰۱۸) بهترین دما برای جذب سرب ۳۰ درجه بود. همچنین در مطالعه انجام شده بر روی جلبک سبز *Ulothrixzonata* (Malakootian et al., 2011) و مطالعه انجام شده بر روی جلبک‌های سبز *Ulvalactuca* و *Cladophoraglomerata* بهترین دما ۳۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Jalali et al., 2002).دمای ۲۵ درجه سلسیوس نه تنها می تواند جذب بالای سرب را ایجاد نماید بلکه شرایط رشد جلبک را نیز را فراهم می‌نماید. بنابر این دمای بدست آمده بهینه‌ترین شرایط را برای استفاده همزمان جلبک برای حذف فلز سنگین و تولید زیست توده فراهم نموده است. در مطالعه Gorjian Arabi و همکاران (۲۰۱۸) بهترین تراکم جاذب برای جذب سرب ۰/۰۵ گرم بود در حالی که در این پژوهش بهترین تراکم جلبک برای جذب سرب برابر با ۰/۵ گرم بود. لذا تراکم بالای جلبک که خود ناشی از شرایط بهینه تولید زیست توده می باشد در میزان جذب نیز تاثیری مثبتی دارد. زمان مناسب برای جذب سرب در این پژوهش برابر با ۱۲۰ دقیقه بود در حالیکه در مطالعه Gorjian Arabi و همکاران (۲۰۱۸) مناسب ترین زمان ۲۰ دقیقه بود. Jalali و همکاران (۲۰۰۲) بهترین مدت زمان جذب را برای جلبک *Ulvalactuca* ۳۰ دقیقه اعلام کردند. همچنین مطالعه انجام شده بر روی جلبک سبز *Caulerpalentillifera* بهترین زمان جذب را ۳۰ دقیقه اعلام نمود (ApiratikulandPavasant, 2009). با توجه به تفاوت قابل ملاحظه در نتیجه بدست آمده از این تحقیق با نتایج دیگر محققان می توان گفت که جلبک‌های بکار رفته تحمل بالایی نسبت به گونه‌های دیگر داشته و در زمان بالاتری قادر به جذب بالای فلز سنگین بوده و توانسه میزان زیست توده بالایی را تولید نماید تا بتوان در تولید بیودیزل از آن استفاده نمود. جلبک‌های بکار رفته در این مطالعه کارآیی بالایی در جذب سرب داشتند که تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند و از هر یک از این سه گونه برای جذب سرب می‌توان استفاده نمود.با توجه به اینکه هدف نهایی

استفاده از زیست توده در تولید بیودیزل می باشد لذا نتایج نشان داد که زیر سویه سندسموس آبلیکوس گزینه مناسبتری نسبت به بقیه می‌باشد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان داد که اختلافی در میزان جذب سرب در سه گونه میکروجلبک مطالعه شده وجود ندارد و در انتخاب گونه‌های مختلف سندسموس محدودیتی وجود ندارد. تنها پارامترهای اهمیت در انتخاب گونه‌ها میزان زیست توده تولید شده در دوره یکسان می باشد که در این بین میکروجلبک سندسموس آبلیکوس گزینه مناسبتری می‌باشد. با توجه به هدف تحقیق بهینه ترین شرایط برای جذب بالای سرب توسط این گونه‌ها در pH برابر با ٦، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان جلبک با ۰/۵ گرم در لیتر، غلظت فلز سنگین برابر با ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و زمان ۱۲۰ دقیقه می‌باشد. همچنین در این پژوهش تفاوت معناداری در میزان لیپید و بیودیزل تولید شده بین جلبک‌هایی که برای تصفیه پساب استفاده شده بودند و آنهایی که استفاده نشده بودند مشاهده نشد. بنابراین این میکروجلبک‌ها می توانند پس از جذب فلزات سنگین جهت استخراج بیودیزل مورد استفاده قرار گیرند.

تشکر و قدردانی

از ریاست محترم مرکز تحقیقات علوم گیاهان کاربردی دانشگاه آزاد اراک برای همکاری و هماهنگی در انجام این تحقیق در آزمایشگاه زیست فناوری قدردانی می‌گردد.

References

Afsharbakhsh, M.H., Mohammadi, A., Mashhadi, H. and Mahmoudnia, F. (2020). Evaluation of the effect of environmental factors on the production of microalgae *Nanochloropsis oculata* in a vertical photobioreactor. Agricultural Mechanization and System Research. 21(76):99-116

Andersen, R.A. (2005). Algal culturing techniques. Elsevier, Amsterdam, 578 pp.

Cabuk, A., Akar, T., Tunali, S., and 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.

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

El-Fadaly, H., El-Ahmady, and Nand 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):301-313.

Farhadian, A. and Jafari, A. (2015). Effects of hardness of culture on purification and making colonies in green algae Scenedesmusquadricauda. Journal of Plant Researches. 28(5):1066-1076

Gorjian Arabi, M., Hosseini, A., Yousefi, H. and Meftah halghi, M. (2018). Surface absorption of Pb by no alive Scenedesmussp microalgae lump of water dissoluble. Aquaria Ecology Journal. 7(4):124-136.

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. Marine Chemistry 99:106-116.

Hlihor, R.M., Bulgariu, L., Sobariu, D.L., Diaconu, M., Tavares, T., and Gavrilescu, M. (2014). Recent advances in biosorption of heavy metals: Support tools for bio sorption equilibrium, kinetics and mechanism. Revue Roumaine de Chimie, 59: 527-538.

Jalali R, Ghafourian H, Asef Y, Davarpanah S.J. and Sepehr S. (2002). Removal and recovery of lead using non-living biomass of marine algae. Journal of Hazardous Materials, 92:253–262.

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

Malakootian, M., Toolabi, A., Moussavi, S.G and Ahmadian, M. (2011). Equilibrium and kinetic modeling of heavy metals biosorption from three different real industrial wastewaters onto *UlothrixZonata*algae. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 5(12): 1030-1037.

Maleki, A., Mahvi, A. H. and 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. and Farhadian, O. (2015). Biosorption of Cd and Pb ions from aqueous solutions by biomass of the green microalga, *Scenedesmusquadricauda*. Journal of Applied Phycology, 27(1):311-320.

Perales-Vela, H.V., Peña-Castro, J.M and Canizares-Villanueva, R.O. (2006). Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. Chemosphere. 64(1): 1-10.

Rajfur, M., Klos, A. and Waclawek, M. (2011). Algae utilization in assessment of the large Turawa lake (Pland)pollution with heavy metals. Journal of Environmental Science and Health Part A, 46:1401-1408.

Sivakumar, D. (2015). Hexavalent chromium removal in a tannery industry wastewater using rice husksilica. Global Journal of Environmental Science and Management. 1(1): 27-40.

Tobin, J. M. and Roux, J. C. (1998). Mucorbiosorbent for chromium removal. Water Research, 32(5):1407-1416.

Xin, L., Hong-Ying, H., Jia, Y and 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 and Norulakmal, N.H. (2009). *Oryza sativa* L. husk as heavy metal adsorbent: Optimization with lead as model solution. Bio resource Technology. 97: 21-25.