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

Comparison of Two Biofilm and Suspension Methods in the Removal of Heavy Metals (lead) from Industrial Wastewater with *Scenedesmus Obliquus* and *Chlorella Vulgaris*

Mohsen Mohebbi[1], Mohammad Gholami Parashkoohi[2]*, Ahmad Mohammadi[3]

[1] Department of Biosystem Engineering, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
Email: mohebimohsen66@gmail.com

[2] Department of Mechanical Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Email: gholamihassan@yahoo.com

[3] Department of Mechanical Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Email: ahmad.mohamady@gmail.com

Article type:

Research article

Article history

Received: 09.06.2023
Revised: 02.10.2023
Accepted: 07.10.2023
Published: 23.11.2024

Keywords

Microalgae,
Scenedesmus obliquus
Chlorella vulgaris
Biofilm
Suspension

Abstract

Heavy metals are the first pollutant in water. Lead is one of the most dangerous heavy metals in the environment, which is known as one of the most toxic heavy metals due to its harmful effects on the human nervous system, circulatory system, kidney, and reproductive system. Among the various methods of removing heavy metals, we can mention biological absorbents such as microalgae. In this research, the bioabsorption capability of lead was measured by two microalgae, *Scenedesmus opliquus*, and *Chlorella vulgaris*, and the effect of parameters such as acidity, light intensities temperature, density, and culture method on the amount of heavy metal absorption was investigated. Also, the ability of two microalgae production methods, biofilm, and suspension, were compared. The results showed that Sandesmus algae were a better absorbent than *Chlorella vulgaris* algae. Also, the biofilm production method had higher lead absorption compared to the suspension method in both In both microalgae algae. As the temperature increased, the absorption of lead in microalgae increased. In both production methods, lead absorption had a uniform trend with increasing pH. At a density of 20 to 60 in both algae, a decreasing trend in lead absorption was observed, but from a density of 60 onwards in the suspension method and 80 onwards in the biofilm method, an increasing trend in lead absorption was observed in microalgae. With the increase of contact time from 60 to 110 minutes in both suspension and biofilm methods and in Chlorella and Sandesmus algae, the amount of lead absorption increased. In the end, the method of biofilm and *Scenedesmus obliquus* algae was suggested for lead absorption.

Cite this article as: Mohebbi M, Gholami Parashkoohi M, Mohammadi A. *(2024).* Comparison of Two Biofilm and Suspension Methods in the Removal of Heavy Metals (Lead) from Industrial Wastewater with *Scenedesmus Obliquus* and *Chlorella Vulgaris* Microalgae. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 19(3): 99-114.

©The autor (s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan Branch
Doi: https://doi.org/10.71890/iper.2024.984430

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

مقایسه حذف فلز سنگین سرب به دو روش بیوفیلم و سوسپانسیون از پساب صنعتی با ریز جلبک‌های *Scenedesmus obliquus* و *Chlorella vulgaris*

محسن محبی[۱]، محمد غلامی پرشکوهی [۲]*، احمد محمدی[۳]

[۱] گروه مهندسی بیوسیستم، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران، رایانامه:mohebimohsen66@gmail.com
[۲] گروه مهندسی مکانیک، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه:gholamihassan@yahoo.com
[۳] گروه مهندسی مکانیک، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، رایانامه:ahmad.mohamady@gmail.com

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵
تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۰۹/۳

واژه‌های کلیدی:
روش بیوفیلم
روش سوسپانسیون
ریز جلبک
Scenedesmus Obliquus
Chlorella Vulgaris

چکیده

فلزات سنگین رتبه نخست آلاینده‌ها در آب را به خود اختصاص داده‌اند. سرب از جمله فلزات سنگین خطرناک در محیط زیست محسوب می گردد که به علت اثرات مضر بر روی سیستم عصبی انسان،سیستم گردش خون، کلیه و سیستم تناسلی به عنوان یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین شناخته شده‌است. از روش‌های مختلف حذف فلزات سنگین می‌توان به جاذب‌های زیستی نظیر میکروجلبک‌ها اشاره نمود. در این پژوهش قابلیت جذب زیستی فلز سرب توسط دو میکروجلبک *Scenedesmus obliquus* و *Chlorella vulgaris* اندازه گیری شد و تاثیر پارامترهایی نظیر اسیدیته، شدت تابش نور، دما، تراکم و روش کشت بر میزان جذب فلز سنگین بررسی شد. همچنین قابلیت دو روش تولید ریز جلبک بیوفیلم و سوسپانسیون با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد که جلبک *Scenedesmus obliquus* روش تولید، با افزایش pH جذب سرب روند یکنواختی داشت. در تراکم ۲۰ تا ۶۰ در هر دو جلبک، روند کاهشی در جذب سرب نسبت به جلبک *Chlorella vulgaris* جاذب بهتری بود. همچنین روش تولید بیوفیلم جذب سرب بالاتری نسبت به روش سوسپانسیون در هر دو جلبک *Scenedesmus obliquus* و *Chlorella vulgaris* داشت. با افزایش دما میزان جذب سرب در ریز جلبک‌ها افزایش یافت. در هر دو در تراکم‌های بالاتر از ۶۰ در روش سوسپانسیون و بالاتر از ۸۰ در روش بیوفیلم، روند افزایشی جذب سرب مشاهده شد. با افزایش زمان تماس از ۶۰ تا ۱۱۰ دقیقه در هر دو روش سوسپانسیون و بیوفیلم و در دو جلبک *Chlorella vulgaris* و *Scenedesmus obliquus* میزان جذب سرب افزایش یافت. در پایان روش بیوفیلم و جلبک *Scenedesmus obliquus* برای جذب سرب پیشنهاد گردید.

استناد: محبی محسن، غلامی پرشکوهی محمد، محمدی احمد. (۱۴۰۳). مقایسه حذف فلز سنگین سرب به دو روش بیوفیلم و سوسپانسیون از پساب صنعتی با ریز جلبک‌های *Scenedesmus obliquus* و *Chlorella vulgaris*. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۹(۳)، ۱۱۴-۹۹.

Doi: https://doi.org/10.71890/iper.2024.984430

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

فلزات سنگین رتبه نخست آلاینده‌ها در آب را به خود اختصاص داده‌اند. صنایع، فلزات سنگین بسیاری نظیر سرب را وارد محیط می‌کنند در حالیکه بسیاری از این فلزات حتی در غلظت‌های کم، سمی به شمار می‌آیند. سرب از جمله فلزات سنگین خطرناک در محیط زیست محسوب می گردد که از طریق سوخت بنزین در اتومبیل‌ها، پساب صنایعی نظیر رنگ رزی‌ها و صنایع نساجی، صنایع نظامی و کارخانجات پتروشیمی وارد محیط می شود. سرب به علت اثرات مضر بر روی سیستم عصبی انسان، سیستم گردش خون، کلیه و سیستم تناسلی به عنوان یکی از سمی ترین فلزات سنگین شناخته شده‌است (Gorjian Arabi et al., 2018). از روش‌های مختلف حذف فلزات سنگین می‌توان به اسمز معکوس، تبادل یونی، انعقاد، اکسیداسیون و الکترودیالیز اشاره نمود (Pan et al., 2009). این روش‌ها دارای معایبی چون عدم حذف کامل فلزات، هزینه و انرژی مصرفی بالا، تولید لجن و مواد سمی هستند. عوارض جانبی فلزات سنگین بر روی محیط زیست و افزایش آنها از طریق زنجیره غذایی سبب توسعه تحقیقات در زمینه دستیابی به تکنیک‌های کارآمد و کم هزینه در زمینه تصفیه فاضلاب شده است (Sahan et al., 2010). مزایایی از قبیل پایین بودن هزینه راهبری، پایین بودن لجن زیستی و شیمیایی دفعی، راندمان حذف بالای فلزات از پساب و همچنین عدم نیاز به مواد مغذی سبب شده است که جاذب‌های زیستی به عنوان یک روش جدید جهت حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به اینکه صنعت به دنبال روشی ارزان و مناسب است بنابراین در چند سال اخیر روش‌های زیستی و میکروبی جهت حذف فلزات سنگین سمی به‌کار می‌روند.

ریز جلبک‌ها گروه متنوعی از میکروارگانیسم‌ها هستند که بیشتر تک سلولی و فتوتروف بوده و از تولید کنندگان اصلی اقیانوس‌ها و آب شیرین محسوب می شوند (Hoa et al., 2011). ریز جلبک‌ها مصارف مختلفی دارند که از مهم ترین آنها می توان به کابرد تغذیه ای برای انسان، علوم پزشکی، علوم دارویی، کشاورزی و تصفیه آب اشاره نمود (Ganjian Khonari et al., 2013). در بین جلبک‌های متعلق به گونه‌های مختلف، جنس سندسموس در علم لیمنولوژی معادل موش آزمایشگاهی بوده و در تحقیقات بسیاری به کار می‌رود. سندسموس از خانواده Scendesmaceae و بر اساس کلیدهای معتبر شناسایی این خانواده بیش از دو جنس دارد که جنس سندسموس[1] مهمترین جنس آن می‌باشد. تا کنون از این جنس بیش از ۱۷۱ گونه شناسایی شده است. این جلبک‌ها به عنوان میکروارگانیسم‌های استاندارد در بسیاری از پژوهش‌های علوم دریایی و آبی، تکنولوژی و مدیریت آب‌ها مطرح هستند (Zachleder et al., 1986). Derakhshan Borujeni و Mir ghaffari (۲۰۱۷) با استفاده از جلبک *Scenedesmus Quadricauda* به حذف سرب از محلول‌های آبی پرداختند. Rezayi و همکاران (۲۰۱۷) نیزجذب یون کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از جلبک سبز سندسموس را مورد بررسی قرار دادند. Alayi و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی قابلیت سه ریز جلبک *Scenedesmus acutus*، *Scenedesmus incrassatulus* و *Scenedesmus obliquus* در جذب فلز سنگین کادمیوم پرداختندو دریافتند جذب سرب بر تولید بیودیزل در میکروجلبک‌ها تاثیری ندارد.

Kabir و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی کارآیی ریز جلبک *Scenedesmus obliquus*[2] در حذف فسفات و

[1] *Scenedesmus*

نیترات از پساب مزارع پرورش میگو گمیشان را مورد مطالعه قرار دادند. همچنین Gorjian Arabi و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی جذب سطحی فلز سرب توسط توده سلولی غیر زنده ریز جلبک سندسموس از محلول‌های آبی پرداختند. نتایج نشان داد این جلبک توانایی خوبی در حذف فلز کادمیوم دارد.

جلبک سبز کلرلا ولگاریس (*Chlorella vulgaris*) از گونه‌های مهم جلبک سبز در اکوسیستم‌های آبی است. این گونه از لحاظ غذایی بسیار با ارزش بوده و حاوی مقادیر زیادی پروتئین، چربی و ویتامین است. به عنوان بهترین سم زدای طبیعی علیه فلزات سنگین نظیر کادمیوم و کروم، حشره کش‌ها و سایر سموم شناخته شده است (Habibi et al., 2010). جلبک‌هایی نظیر کلرلا به دلیل کلونیزه شدن داخل استخر، رشد سریع، کشت ساده و توانایی بالا در جدا سازی مواد غذایی به طور عمده جهت تصفیه فاضلاب به کار رفته اند (Chevalier و همکاران ،2000). Afkar و همکاران (۲۰۱۰) به پاسخ سم شناسی جلبک سبز *Chlorella vulgaris* به برخی فلزات سنگین پرداختند. غلظت‌های کم این عناصر اثر محرک بر رشد جلبک داشت.. Senturk و Yildiz (۲۰۱٦) اثر جذبی *Chlorella vulgaris* و *Scenedesmus sp.* در حذف برخی از فلزات سنگین و مواد غذایی را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو گونه جلبک توانایی قابل توجهی در حذف مواد غذایی اضافی و فلزات سنگین در شرایط آزمایشگاهی دارند. ریز جلبک‌های سبز برای حذف آنتیموان، منگنز، مس، نیکل، فسفات و نیترات در محلول آبی بکار بردند. Subashini و Rajiv (۲۰۱۸) به بررسی قابلیت *Chlorella vulgaris* در حذف مواد شیمیایی و کاهش فلزات سنگین از پساب دباغخانه پرداختند. Kumar و همکاران (۲۰۲۰) توانایی جلبک *Chlorella vulgaris* را در حذف جیوه از محلول آبی بررسی کردند.

در این پژوهش از ریز جلبک *Scenedesmus obliquus* و *Chlorella vulgaris* برای حذف فلز سنگین سرب از پساب استفاده می‌شود. همچنین برای نخستین بار مقایسه کارایی دو روش تولید جلبک به صورت بیوفیلم و سوسپانسیون در حذف فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های ریز جلبکی: سویه‌های ریز جلبک‌های *Chlorella* vulgaris و *Scenedesmus obliquus* از مرکز تحقیقات علوم گیاهی کاربردی اراک تهیه گردید. این سویه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، در محیط‌های ایزوله نگهداری شده و سپس به محیط‌های کشت استریل BBM (Andersen, 2005) منتقل شدند.پس از کشت‌های متوالی به روش آزمایشگاهی پرورش جلبک‌ها و اطمینان از خالص بودن آنها، نمونه‌ها جهت ازدیاد حجم به ارلنهای ۲ لیتری منتقل شدند. محیط کشت مورد استفاده برای پرورش سندسموس و کلرلاBBM بود. به منظور کنترل عوامل محیطی در مرحله دوم تولید از فتوبیوراکتور لوله ای عمودی استفاده شد. در طول ١٤ روز کلیه عوامل مطابق با جدول (۱) تنظیم و کنترل گردید (Farhadian et al., 2016).

فتوبیوراکتور موجود دارای ۱۲ لوله در ٤ محفظه جدا که گنجایش هر لوله ۸۰۰ سی سی می‌باشد و تمامی فاکتورهای محیطی به صورت کاملا اتوماتیک قابل تنظیم است. در هر دوره کشت ١٤ روزه از یکی از میکروجلبک‌ها استفاده شد.

تهیه تیمار فلز سنگین: از آنجا که امکان تهیه پساب از پالایشگاه و پتروشیمی میسر نشد این بخش به صورت سنتتیک در آزمایشگاه آماده شد. تیمار فلز سرب با استفاده از نیترات سرب تهیه شد. به این ترتیب، ابتدا غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر از آن در

آب دوبار تقطیر تهیه و سایر محلولها از این سویه آماده شدند.

جدول ۱: شرایط اولیه تولید ریز جلبک جهت استفاده به عنوان جاذب فلز سرب

سیستم تولید	میزان CO_2 (٪)	شدت روشنایی (لوکس)	مدت روشنایی (ساعت)	PH	دما (سانتیگراد)	زمان برداشت (روز)	ترکیب نیتراتی محیط کشت	محیط کشت	نوع جلبک
فتوبیوراکتور عمودی	۱۵	۳۰۰۰	۱۴	۸±۰,۵	۲۵	۱۴	$NaNo_3$	BBM	*Chlorella vulgaris*
فتوبیوراکتور عمودی	۱۵	۳۰۰۰	۱۴	۸±۰,۵	۲۵	۱۴	$NaNo_3$	BBM	*Scenedesmus opliquus*

برداشت: پس از طی دوره رشد دو هفته ای، زیست توده جمع‌آوری شد. زیست توده‌های جلبکی برای اجتناب از هر گونه اثر نمک پنج بار با آب مقطر شسته شدند. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ آبگیری و سپس در آون در دمای ۳۷ درجه خشک و در مراحل بعدی آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند.

روش‌های برداشت به سه گروه شیمیایی، مکانیکی و الکتریکی تقسیم می‌شوند. روش شیمیایی شامل منعقدسازی و تراکم سازی است که این دو فرایند برای برداشت ریز جلبک از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشند. در روش‌های برداشت مکانیکی، سانتریفوژ روشی متداول است و بازدهی برداشت نسبتا بالایی دارد اما به‌دلیل مصرف بالای انرژی، هزینه بر و زمان بر می باشد. در روش الکتریکی، انعقاد الکتریکی روشی جدید برای برداشت ریزجلبک است که در مقایسه با روش‌های دیگر بازدهی برداشت بالاتری دارد و انرژی کمتری مصرف می کند. در این تحقیق از روش مکانیکی سانتریفوژ استفاده گردید. برداشت محصول ریزجلبک رشد کرده که به صورت یک سوسپانسیون رقیق است توسط استخراج مایع – جامد به روش‌های سانتریفیوژ، فیلتراسیون، لخته سازی و ته نشینی انجام می گیرد تا آب آن جدا شود و بعد آن را به صورت خمیر یا ذرات کروی ریز تبدیل می کنند و یا به صورت پودرهای آسیاب شده در می‌آورند. در میان این روش‌ها روش لخته‌سازی بدلیل مصرف انرژی کمتر به صرفه تر می‌باشد.

اندازه گیری میزان جذب فلز سرب: برای اندازه‌گیری و تعیین میزان سرب موجود در پساب و کشت جلبکها در پساب صنعتی از دستگاه GC mass مدلAlton F استفاده شد. نمونه‌ها در معرض پساب قرار گرفته و پس از مدت زمان مشخص شده جهت بررسی میزان فلز موجود در پساب توسط دستگاه GC MASS مورد آنالیز قرار گرفتند. با توجه به مشخص بودن میزان فلز قبل از اضافه کردن جاذب میزان تفاوت موجود نشان دهنده میزان جذب فلزات توسط ریز جلبک‌ها می‌باشد (Mirghaffari et al., 2015).

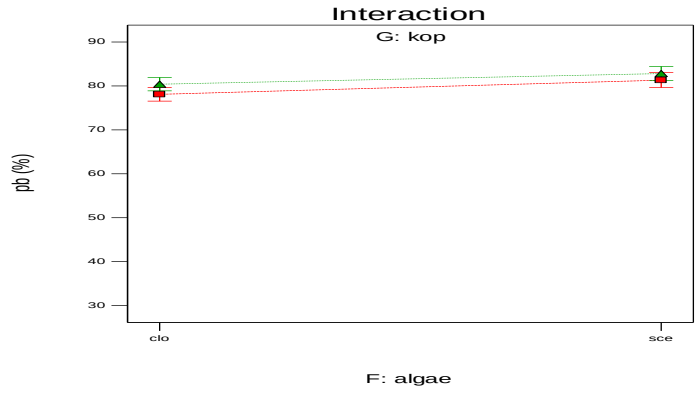
آنالیز آماری: در این پژوهش، داده‌های بدست آمده شامل میزن جذب فلز سنگین سرب، میزان بیوماس و لیپید تولیدی در تکرارهای مساوی به صورت مقادیر میانگین محاسبه و اطلاعات و داده‌های بدست آمده در نرم افزارExcel وارد شد. با توجه به اینکه طرح مورد نظر در قالب فاکتوریل طرح کاملا تصادفی بود برای بررسی میزان تاثیر پارامترها از جدول تجزیه واریانس استفاده شد. تحلیل آماری نتایج در برنامه DESIGN EXPERT و با بکارگیری آزمون‌های پارامتری (آنالیز واریانس) جهت مقایسه داده‌ها در سطح معنی داری ۱٪ و ۵٪ انجام شد.

نتایج

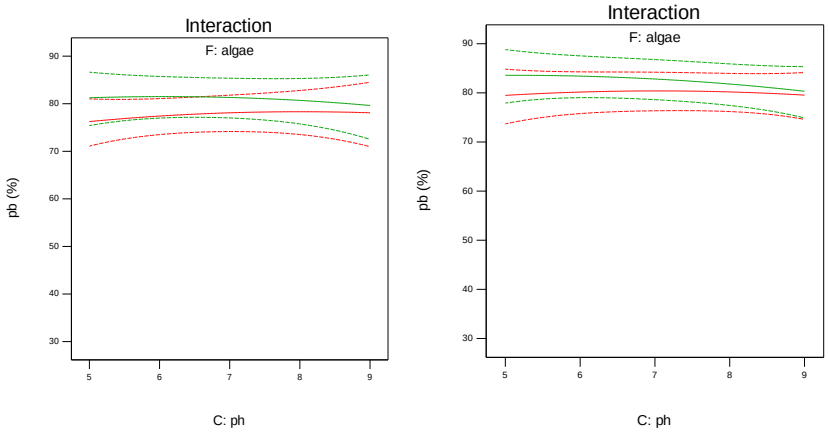
براساس تجزیه واریانس تاثیر پارامترهای زمان تماس، درجه حرارت، pH، نوع جلبک و روش تولید جلبک معنی‌دار بودند. همچنین اثر متقابل زمان تماس- جلبک، زمان تماس-روش تولید جلبک، درجه حرارت-تراکم، درجه حرارت-نوع جلبک، تراکم-نوع جلبک، تراکم- روش تولید،شدت نور-نوع جلبک و نوع جلبک-روش تولید جلبک نیز معنی¬دار بودند. بررسی تاثیر نوع جلبک بر میزان جذب سرب در هر دو روش بیوفیلم و سوسپانسیون در PH 7، زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، شدت تابش نور ۳۵۰۰ لوکس و تراکم ٦۰ نشان می‌دهد که بیشترین جذب سرب متعلق به جلبک *Scenedesmus opliquus* است (شکل ۱). همچنین بر اساس شکل ۱ روش تولید بیوفیلم جذب سرب بالاتری نسبت به روش سوسپانسیون در هر دو جلبک سندسموس و کلرلا ولگاریس دارد. در هر دو روش بیوفیلم و سوسپانسون، جلبک سندسموس دارای جذب سرب بالاتری است و در هر دو روش تولید، با افزایش pH جذب سرب روند یکنواختی دارد (شکل ۲).

در مورد تاثیر دما و روش تولید بر میزان جذب سرب در جلبک‌های *Scenedesmus opliquus* و *Chlorella vulgaris* در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH برابر ۷، شدت تابش نور ۳۵۰۰ لوکس و تراکم ٦۰ نشان می‌دهد در روش سوسپانسون، با افزایش دما از ۲۰ تا ۲٦ درجه سانتی‌گراد و در روش بیوفیلم با افزایش دما از ۲۰ تا ۲٦/۵ درجه سانتی‌گراد میزان جذب سرب در هر دو جلبک *Chlorella vulgaris* و *Scenedesmus opliquus* روند افزایشی دارد و در هر دو روش تولید، جلبک *Scenedesmus opliquus* دارای جذب سرب بالاتری است.

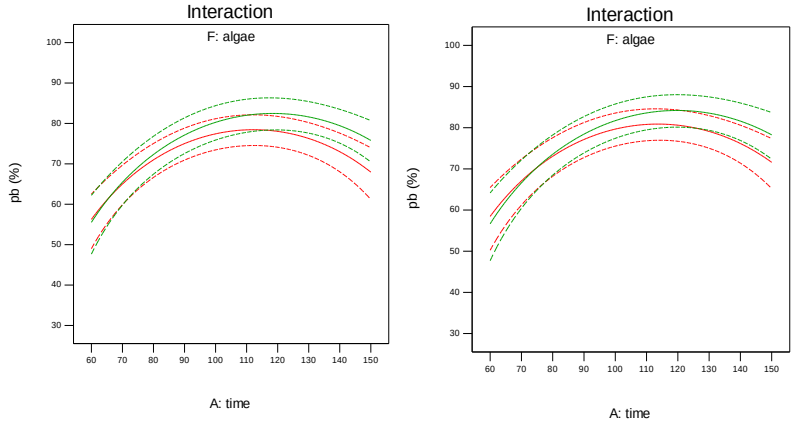
در خصوص اثر متقابل روش تولید و نوع جلبک بر میزان جذب سرب در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH برابر ۷، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، شدت تابش نور ۳۵۰۰ لوکس و تراکم ٦۰ نتایج به دست آمده نشان داد که بالاترین جذب سرب با میزان ۸۲ درصد در روش بیوفیلم توسط جلبک *Scenedesmus opliquus* مشاهده می‌شود (شکل ۳).



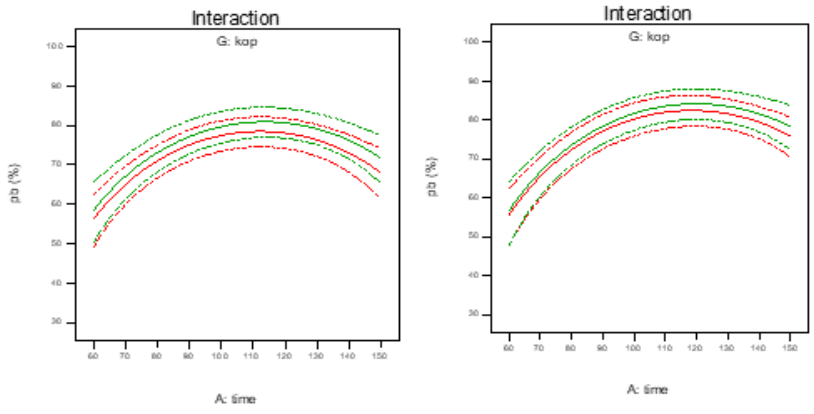
شکل ۱: تاثیر نوع جلبک بر میزان جذب فلز سرب



شکل ۲: تاثیر pH بر میزان جذب سرب توسط میکروجلبک‌ها در دو روش تولید بیوفیلم (سمت راست) و سوسپانسیون (سمت چپ)



شکل ۵: تاثیر زمان تماس با جاذب بر جذب فلز سنگین سرب در دو روش تولید بیوفیلم (سمت راست) و سوسپانسیون (سمت چپ)



شکل ٦: بررسی اثر متقابل زمان تماس و روش تولید بر میزان جذب سرب در جلبک‌های کلرلا (سمت چپ) و سندسموس (سمت راست)

در مورد تاثیر تراکم فلز سرب و روش تولید بر میزان جذب سرب در جلبک‌های *Scenedesmus opliquus* و *Chlorella vulgaris* در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH برابر ۷، شدت تابش نور ۳۵۰۰ لوکس و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد در روش سوسپانسون و بیوفیلم، در تراکم ۲۰ تا ٦۰ در هر دو جلبک روند کاهشی در جذب سرب مشاهده می‌شود اما در تراکم‌های بلاتر از ٦۰ در روش سوسپانسیون و بالاتر از ۸۰ در روش بیوفیلم، در نمونه‌های مورد بررسی، روند افزایشی در جذب سرب مشاهده می‌شود (شکل ٤). در مورد تاثیر زمان تماس و روش تولید بر میزان جذب سرب در جلبک‌های *Scenedesmus opliquus* و *Chlorella vulgaris* در شرایط pH ۷، تراکم ٦۰، شدت تابش نور ۳۵۰۰ لوکس و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد در هر دو روش سوسپانسون و بیوفیلم و در دو جلبک مورد مطالعه با افزایش زمان تماس از ٦۰ تا ۱۱۰ دقیقه میزان جذب سرب افزایش باید و سپس از زمان تماس ۱۱۰ دقیقه به بعد این روند کاهشی است. در هر دو روش تولید، جلبک *Scenedesmus opliquus* دارای جذب سرب بالاتری است (شکل ۵).

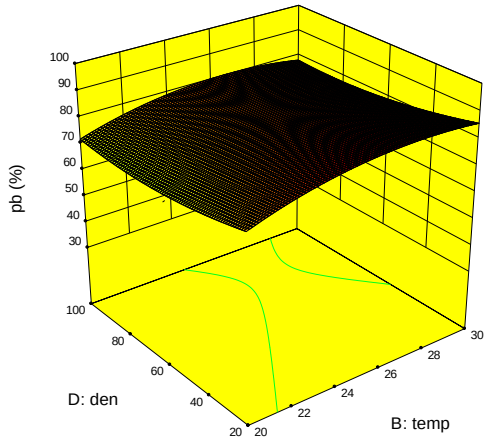
اثرات متقابل تیمارها: در خصوص اثر متقابل زمان تماس و روش تولید بر میزان جذب سرب در شرایط pH ۷، تراکم ٦۰، شدت تابش نور ۳۵۰۰ لوکس و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نتایج نشان می‌دهد با افزایش زمان تماس از ٦۰ تا ۱۱۰ دقیقه در هر دو روش سوسپانسیون و بیوفیلم و در دو جلبک *Chlorella vulgaris* و *Scenedesmus opliquus* میزان جذب سرب افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار جذب در روش بیوفیلم و جلبک *Scenedesmus opliquus* مشاهده می‌شود (شکل ٦).

بررسی اثر متقابل دما و غلظت سرب بر میزان جذب سرب در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH ۷ و شدت نور ۳۵۰۰ لوکس نشان دهنده آن است که بیشترین میزان جذب سرب در *Chlorella vulgaris* تولیدی به روش بیوفیلم با تراکم ۸۰ در دمای ۲۸ درجه مشاهده شده در حالیکه *Scenedesmus opliquus* تولیدی به روش بیوفیلم بیشترین جذب سرب را در تراکم ٦۰ و دمای ۲۰/۵ درجه سانتیکراد نشان داد (شکل۷).

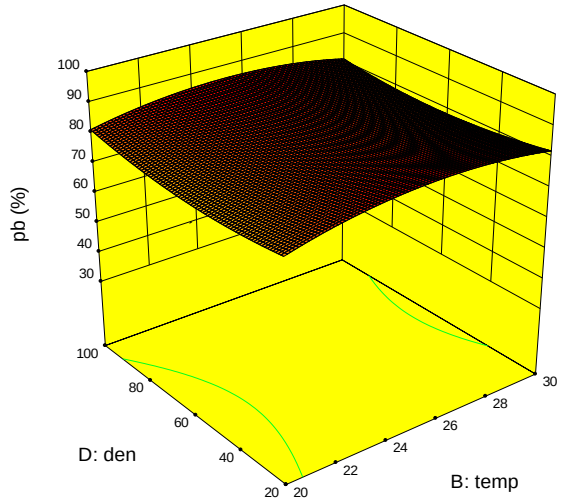
بررسی اثر متقابل دما و تراکم عنصر بر میزان جذب سرب در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH برابر ۷ و شدت نور ۳۵۰۰ لوکس نشان دهنده آن است که بیشترین میزان جذب سرب در جلبک سندسموس و در روش تولید بیوفیلم در دمای ۲۰/۵ سانتی‌گراد و تراکم ٦۰ است (شکل ۸).

بررسی اثر متقابل دما و تراکم عنصر بر میزان جذب سرب در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH برابر ۷ و شدت نور ۳۵۰۰ لوکس نشان دهنده آن است که که در شرایط فوق الذکر، *Chlorella vulgaris* تولیدی به روش سوسپانسیون در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد با غلظت ٤۰ بیشترین میزان جذب سرب را دارد در حالیکه *Scenedesmus opliquus* تولیدی با روش سوسپانسیون با همین غلظت در ۲۸ درجه سانتیگراد بیشترین جذب سرب را دارد (شکل ۹).

بررسی اثر متقابل دما و تراکم عنصر بر میزان جذب سرب در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH برابر ۷ و شدت نور ۳۵۰۰ لوکس نشان دهنده آن است که بیشترین میزان جذب سرب در جلبک سندسموس و در روش تولید سوسپانسیون در دمای ۲۸ سانتی‌گراد و تراکم ٤۰ است (شکل ۱۰).



شکل ۷: بررسی اثر متقابل دما و تراکم بر میزان جذب سرب در جلبک کلرلا در روش تولید بیوفیلم



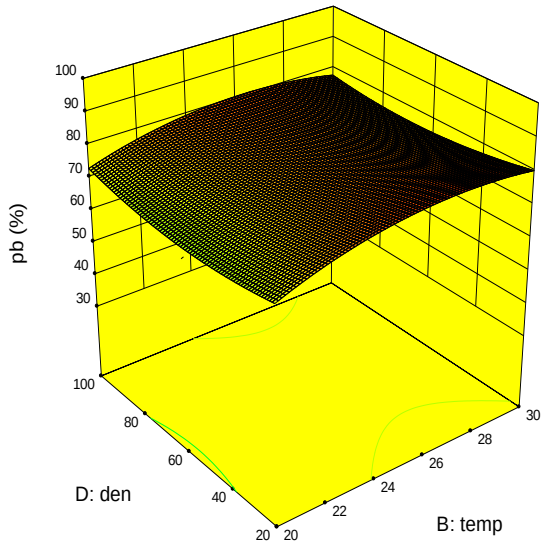
شکل ۸: بررسی اثر متقابل دما و تراکم بر میزان جذب سرب در جلبک سندسموس در روش تولید بیوفیلم

بررسی اثر متقابل دما و روش تولید بر میزان جذب سرب در جلبک‌های سندسموس و کلرلا ولگاریس در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH برابر ۷، شدت تابش نور ۳۵۰۰ لوکس و تراکم ٦٠ نشان می¬دهد با افزایش دما از ۲۰ تا ۲۸ درجه سانتی¬گراد در هر دو روش سوسپانسون و بیوفیلم و در دو جلبک کلرلا و سندمسوس میزان جذب سرب با شیب ملایمی افزایش می‌یابد و سپس از دمای ۲۸ درجه سانتی¬گراد به بعد روند کاهشی دارد. بیشترین مقدار جذب سرب در روش بیوفیلم و جلبک سندسموس مشاهده می‌شود (شکل ۱۱).

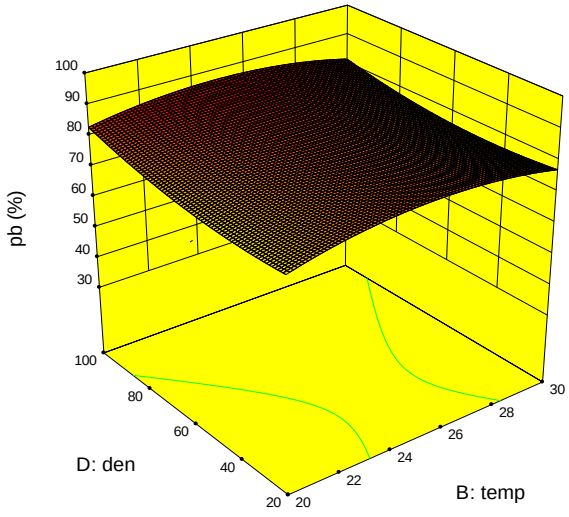
در خصوص اثر متقابل تراکم عنصر سنگین و نوع جلبک بر میزان جذب سرب در شرایط pH برابر ۷، شدت تابش نور ۳۵۰۰ لوکس و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد در جلبک *Chlorella vulgaris* در هر دو روش سوسپانسیون و بیوفیلم با افزایش تراکم تا یک میزان مشخص میزان جذب سرب کاهش می‌یابد. در هر دو روش تولید بیشترین

جذب مربوط به جلبک *Scenedesmus opliquus* است (شکل ۱۲).

در خصوص اثر متقابل تراکم عنصر سنگین و روش تولید بر میزان جذب سرب در شرایط pH برابر ۷، شدت تابش نور ۳۵۰۰ لوکس و دمای ۲۵ درجه سانتی¬گراد نشان می¬دهد در جلبک کلرلا در هر دو روش سوسپانسیون و بیوفیلم با افزایش تراکم تا یک میزان مشخص میزان جذب سرب کاهش می‌یابد. در جلبک سندسموس و روش بیوفیلم با افزایش تراکم از ۲۰ تا ۷۵ میزان جذب سرب کاهش می¬یابد، اما در روش تولید سوسپانسیون با افزایش تراکم میزان جذب سرب روند افزایشی دارد (شکل ۱۳).

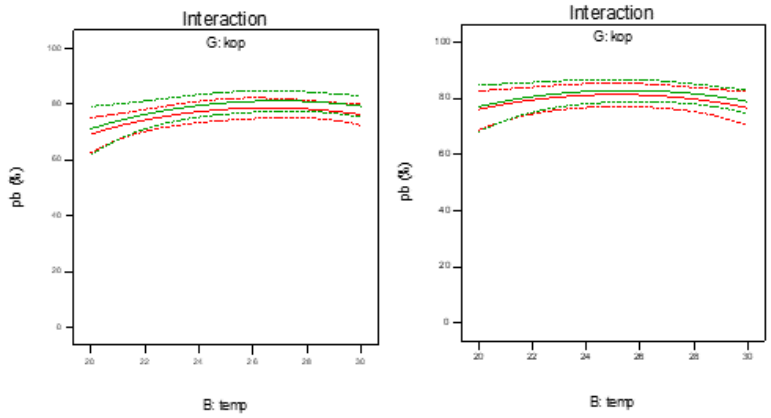


شکل ۹: بررسی اثر متقابل دما و تراکم بر میزان جذب سرب در جلبک کلرلا در روش تولید سوسپانسیون

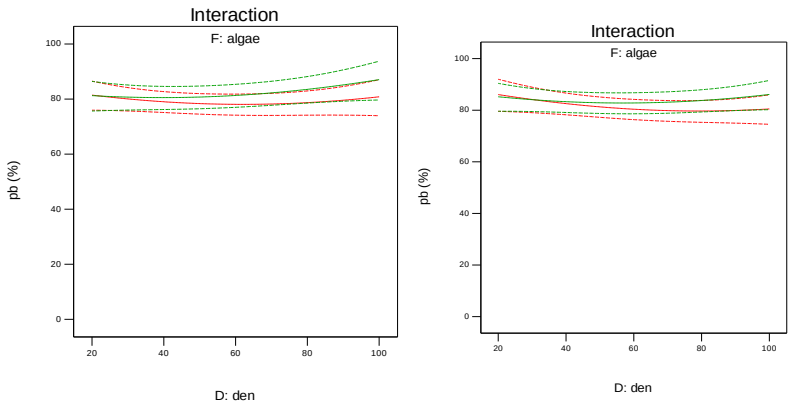


شکل ۱۰: بررسی اثر متقابل دما و تراکم بر میزان جذب سرب در جلبک سندسموس در روش تولید سوسپانسیون

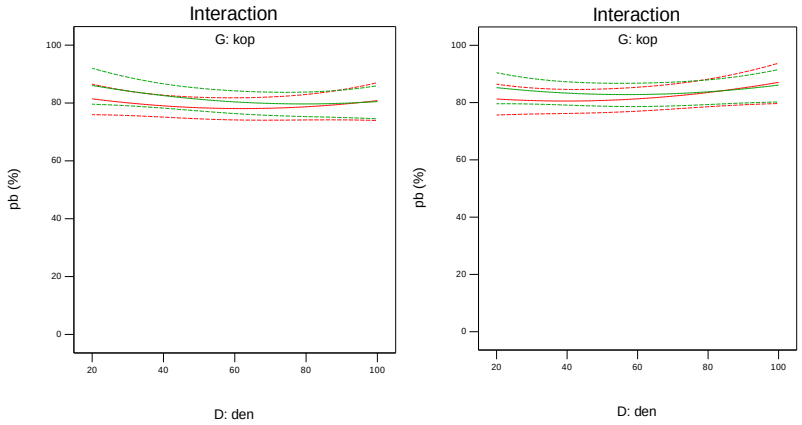
در خصوص اثر متقابل شدت نور و نوع جلبک بر میزان جذب سرب در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH 7، دمای ۲۵ درجه سانتی¬گراد و تراکم ۶۰ نشان می¬دهد در هر دو روش تولید سوسپانسیون و بیوفیلم و در جلبک¬های کلرلا و سندسموس با افزایش شدت نور میزان جذب سرب روند یکنواختی دارد. بیشترین میزان جذب سرب در هر دو روش در نمونه *Scenedesmus opliquus* مشاهده شد (شکل ۱۴).



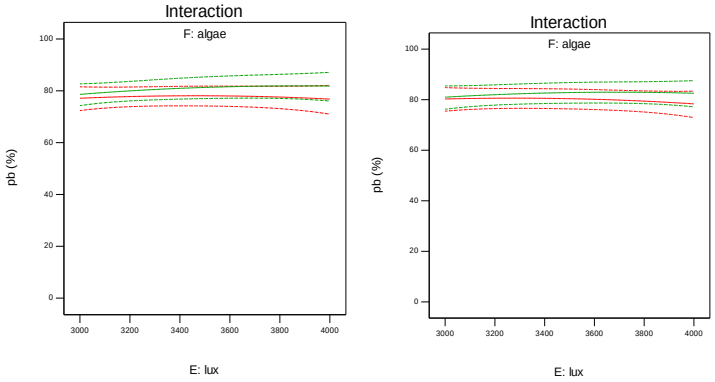
شکل ۱۱: بررسی اثر متقابل دما و روش تولید بر میزان جذب سرب در جلبک سندسموس (سمت راست) و جلبک کلرلا ولگاریس (سمت چپ)



شکل ۱۲: بررسی اثر متقابل تراکم و نوع جلبک بر میزان جذب سرب در روش بیوفیلم (سمت راست) و سوسپانسیون (سمت چپ)



شکل ۱۳: بررسی اثر متقابل تراکم و روش تولید بر میزان جذب سرب در جلبک سندسموس (سمت راست) و جلبک کلرلا ولگاریس (سمت چپ)



شکل ١٤: بررسی اثر متقابل شدت نور و نوع جلبک بر میزان جذب سرب در روش بیوفیلم (سمت راست) و سوسپانسیون (سمت چپ)

بررسی اثر متقابل شدت نور و روش تولید بر میزان جذب سرب در جلبک‌های *Scenedesmus opliquus* و *Chlorella vulgaris* در شرایط زمان تماس ۱۰۵ دقیقه، pH برابر ۷، دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد و تراکم ٦٠ نشان می‌دهد با افزایش شدت نور از ۳۰۰۰ تا ٤٠٠٠ لوکس در هر دو روش سوسپانسون و بیوفیلم و در جلبک *Scenedesmus opliquus* میزان جذب سرب افزایش می‌یابد، در حالیکه در جلبک *Chlorella vulgaris* با افزایش شدت نور در هر دو روش تولید، میزان جذب سرب روند یکنواختی دارد. بیشترین مقدار جذب سرب در هر دو جلبک در روش بیوفیلم مشاهده می‌شود.

بحث

سرب کاربردهای مختلفی در صنایع رنگ، باتری سازی، لوازم آرایشی و بهداشتی دارد. سرب به عنوان یکی از سمی ترین فلزات سنگین، سلامت انسان و موجودات آبزی را به طور جدی به خطر می‌اندازد. علاوه بر ایجاد مشکلات حاد جسمی و روانی در کودکان، سرب می‌تواند باعث کم خونی، بیماری مغزی، آسیب به سیستم عصبی مرکزی، زوال عقل، اختلال در عملکرد کلیه، اختلالات تولید مثل و حتی

مـرگ شـود (Sall et al., 2020). از ایـن روی نقـش جلبک‌ها در حذف فلز سرب بسیار پراهمیت است (Asiandu and Wahyudi, 2021).

نتـایج ایـن پـژوهش نشـان مـی دهنـد کـه ریـز جلبک‌های تولید شده به روش بیوفیلم کارایی بیشتری را در حذف سرب نسبت بـه نمونـه‌هـای تولیـدی بـه صورت سوسپانسیون داشته و این در حالی است کـه نوع سویه‌های مورد استفاده نیز در این خصوص تـاثیر معنا داری را نشان مـی دهنـد بـه نحـوی کـه کـارآیی جلبـک *Scenedesmus opliquus* در حـذف سـرب بالاتر بود منابع علمـی اسـتفاده از جلبـک *spirulina*، *chlamydomonas* و *Chlorella* را به عنـواب جـاذب زیسـتی بـرای حـذف سـرب را توصـیه کـرده‌انـد (Molazadeh et al., 2015).

در ایـن تحقیـق جلبـک *Scenedesmus opliquus* نیز به این مجموعه اضافه می شـوند. در ایـن تحقیـق دمای مناسب برای جذب سرب ۲۶ درجـه سـانتیگراد بـود. در حالیکـه در مطالعـه Molazadeh و همکـاران (۲۰۱۵) دمـای مناسـب بـرای جلبـک *Chlorella vulgaris* و *chaetoceros* ۲۵ درجـه سـانتیگراد بـه دست آمـد. در مطالعـه انجـام شـده توسـط Gorjian Arabi و همکارن (۲۰۱۸) بهتـرین دمـا بـرای جـذب سرب ۳۰ درجه بود.

در مطالعه انجـام شـده توسـط Alayi و همکـاران (۲۰۲۲) بهترین دما ۲۵ درجه سانتی گراد بود. در ایـن مطالعه در هر دو روش زمان تماس بهینه برای جـذب سرب ۱۱۰ دقیقه بود.

در حالیکـه در مطالعـه Molazadeh و همکـاران (۲۰۱۵) بـر روی جلبـک *chaetoceros* و *Chlorella vulgaris* این مقدار برابر با ۱۸۰ درجه به دست آمـد. در مطالعـه انجـام شـده توسـط Jalali و همکـاران (۲۰۰۲) بهترین مدت زمان جذب برای جلبـک *Ulva lactuca* ۳۰ دقیقه بـود. ایـن مـدت زمـان در مطالعـه انجـام شـده توسـط Derakhshan Borujeni and Mirghaffari (۲۰۱۷) برابر با ۶۰ دقیقه بود.

در مطالعه انجام شده توسـط Shanab و همکـاران (۲۰۱۲) زمان ۳۰ دقیقـه بهتـرین زمـان بـرای جلبـک *Scenedesmus quadricada* در جـذب سـرب بـود. زمان ۳۰ دقیقه بهترین زمان برای جذب سرب توسـط جلبک *polysiphonia* به دسـت آمـد (Rezayi et al., 2020). در مطالعه انجام شده توسط Alayi و همکاران (۲۰۲۲) بهترین مدت زمان برابر با ۱۲۰ دقیقه بـود. در این مطالعه اسیدیته ۷ برای جذب بهینه سـرب توسـط دو ریز جلبـک گـزارش شـد. در حالیکـه در مطالعـه Mohseni و همکاران (۲۰۱۳) مقـدار pH برابـر بـا ۶ گزارش شد.

در مطلعــه Gorjian Arabi و همکــاران (۲۰۱۸) بهترین اسیدیته برای جذب سرب برابـر بـا ٤ بـود. در مطالعــه Derakhshan Borujeni and Mirghaffari (2017) مقدار pH برابر با ۵ بود. اسیدیته برابر بـا ۶/۵ بهترین اسـیدیته بـرای حـذف سـرب توسـط جلبـک *polysiphonia* گـزارش شـد (Rezayi et al., 2020). در پـژوهش انجـام شـده توسـط Alayi و همکـاران (۲۰۲۲) بهترین pH برابر با ۶ بود.

در مطالعه Hee و همکاران (۲۰۲۱) جـذب سـرب در pH اسیدی صورت می گرفت. در روش سوسپانسـون و بیوفیلم، در تراکم ۲۰ تا ۶۰ در هر دو جلبـک رونـد کاهشی در جذب سرب مشاهده می‌شود امـا از تـراکم ۶۰ بـه بعـد در روش سوسپانسـیون و ۸۰ بـه بعـد در روش بیوفیلم، در ریـز جلبـک‌هـا رونـد افزایشـی در جذب سرب مشاهده می‌شود.

در مطالعه انجام شده توسط Molazadeh و همکاران (۲۰۱۵) بیشترین جذب در غلظت ۲۰ میلیگرم بر لیتر سرب به دست آمد. همچنین در این مطالعه میزان حذف سرب توسط جلبک *Chlorella vulgaris* بیشتر از *chaetoceros* گزارش شد. در حالیکه در این پژوهش جلبک *Scenedesmus opliquus* کارآمد تر از جلبک *Chlorella vulgaris* گزارش شد. جلبک *dunaliella*نیز کارآمد تر از جلبک *Chlorella vulgaris* در حذف سرب نشان داده شد (Muhaemin, 2004).

این پژوهش نشان داد که روش بیوراکتور بیوفیلم نسبت به روش سوسپانسیون کارآیی بیشتری در حذف فلز سنگین سرب دارد. همچنین جلبک *Scenedesmus opliquus* در مقایسه با *Chlorella vulgaris* قابلیت بیشتری در حذف سرب دارد. بنابراین برای حذف سرب استفاده از ریز جلبک *Scenedesmus obliquus* با روش تولید بیوفیلم توصیه می شود. بالاترین جذب سرب با میزان ۸۲ درصد در روش بیوفیلم و جلبک *Scenedesmus obliquus* مشاهده می‌شود .

نتیجه‌گیری نهایی

References

Afkar, E. and Ababna, H. and Fathi, A. (2010). Toxicological response of the green alga *Chlorella vulgaris*, to some heavy metals. American Journal of Environmental Sciences, 6(3): 230-237.

Akhtar, N. and Iqbal, J. and Iqbal, M. (2004). Enhancement of Lead (II) Biosorption by Microalgal Biomass Immobilized onto Loofa (*Luffa cylindrica*) Sponge. Engineering in Life Sciences. 4(2): 171-178.

Alayi, M. and Mohamadi, A. and Mashhadi, H. and Mahmod nia, F. (2021). Investigating the capability of chromium heavy metal removal and biodiesel production by three species of algae: *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus incrassatulus*, *Scenedesmus obliquus*. Annals of the Romanian Society for Cell Biology. 25(6): 1-7.

Alayi, M. and Mohamadi, A. and Mashhadi, H. and Mahmod nia, F. (2022). Removel of heavy metal lead from industrial wastewater by using three micro algae species of *Scenedesmus incrassatulus*, *Scenedesmus acutus* and *Scenedesmus obliquus*. Environmental Plant Physiology.7-(18):127-137. DOI: 10.30495/IPER.2022.1950005.1764

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

Asiandu, A.P. and Wahyudi, A. (2021). Phycoremediation: Heavy metals green – removal by microalgae and its application in biofuel production. Journal of Environmental Techniques. 9(3): 647-656.

Chevalier, P. and Proulx, D. and Lessard, P. and Vincent, W.F. and Dela Noüe, J. (2000). Nitrogen and phosphorus removal by high latitude mat-forming cyanobacteria for potential use in tertiary wastewater treatment. Journal of Applied Phycology. 12: 105-112.

Derakhshan Borujeni, Z. and Mir ghaffari, N. (2017). Comparison of biomass and biochar of *scenedesmus* in removal of lead from aquatic solutions. The fifth International Conference of New Ideas in Agriculture, Environment and Tourism, Iran, Tehran, 61-71.

Farhadian, A. and Moulayi, H. and Pirali Zefreh, Y. (2016). Impacts of zinc and magnesium on population viability, growth, chlorofill content and carotenoids in *Scenedesmus quadricauda*. Plant Process and Function. 5(3): 15-33.

Ganjian Khonari, A. and Shakuri, M. and Ghelichi, A. and Ghasem nejad, M. (2013). Study of effect of bicarbonate sodium on growth of *Scenedesmus* sp. in culture medium of TMRL (AG). Journal of Fisheries, 7(4): 85-92.

Gorjian Arabi, M. and Hosseini, A. and 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.

Habibi, M. and Shokravi, Sh. And Habibi, Z. (2010). Study of impacts of acidity and CO2 in light intensity of survival range, growth and ability of modify pH of *Chlorella* sp. gathered from ricelands of Golestan province. Journal of Plant Sciences. 5(4): 57-62.

Hee, C.W. and Shing, W.L. and Chi, C.K. (2021). Effect of lead (Pb) exposure towards green microalgae (*Chlorella vulgaris*) on the changes of physiochemical parameters in water. South African Journal of Chemical Engineering, 37:252-255.

Hoa, L.T.P. and Quang, D.N. and Ha, N.T.H. and Tri, N.H. (2011). Isolating and screening mangrove microalgae for anticancer. Research Journal of Phytochemistry. 5 (3): 156-162.

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

Kabir, M. and Hosseini, A. and Ghorbani, R. and Kashiri, H. (2018). Function of microalgae Scenedesmus obliquus in remove of phosphate and nitrate from wastewater of shrimp farms in Gomishan. Journal of Aquatic Ecology. 8(2): 124-133.

Kumar, M. and Singh, A.K. and Sikandar, M. (2020). Biosorption of Hg (II) from aqueous solution using algal biomass: kinetics and isotherm studies. Heliyon, 6, e03321.

Mirghaffari, N. and 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.

Mohseni, N. and Naimi, a. and Sarmad, J. (2013). Role of chlorella in removal of lead metal and investigation of parameters effective on it. National Conferrence of Environmental research in Iran.

Molazedah, P. and Khanjani, N. and Rahimi, M.R. and Nasiri, A. (2015). Adsorption of lead by microalgae *Chaetoceros* sp. and *Chlorella* sp. from aqueous solution. Journal of Community. Health Research. 4 (2): 114-127.

Muhaemin, M. (2004). Toxicity and bioaccumulation of lead in *Chlorella* and *Dunaliella*. Journal of Coatal Development. 8(1): 27-33.

Pan, R. and Cao, L. and Zhang, R. (2009). Combined effects of Cu, Cd, Pb, and Zn on the growth and uptake of consortium of *Curesistant Penicillium* sp. A1 and Cd-resistant *Fusarium* sp. A19. Journal Hazard Mater. 171(1-3): 761-6.

Rezayi, A. and Ghorbani, R. and Rezayi, H. (2017). Biological absorption of cadmium ion from aquatic solutions by using *scenedesmus* sp. Use and Culture of Aquatics. 6(1): 75-83.

Rezayi, S. and Juibari, A. and Abukheili, S. and Hasani, M. (2020). Investigation of the capability of Poly sifonia algae in absorbtion of heavy metals in aquatic environments. Journal of Algae and Waterplants. Volume 2, Number 1, 23-31.

Şahan, T. and Ceylan, H. and Şahiner, N. and Aktaş, N. (2010). Optimization of removal conditions of copper ions from aqueous solutions by Trametes versicolor. Bioresour Technol. 101(12):4520-6

Sall, M.L. and Diaw, A.K.D. and Gningue-Sall, D. and Efremova Aaron, S. and Aaron, J.J. (2020).Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review. Environmental Science and Pollution Research. 27:29927-29942.

Senturk, T. and Yildiz, S. (2016). Adsorbent effect of Chlorella vulgaris and *Scenedesmus* sp. (Chlorophyta) for the removal of some heavy metals and nutrients. Turkish Journal of Biochemistry, 41(2): 87-95.

Shanab, S. and Essa, A. and Shalaby, E. (2012). Bioremoval capacity of three heavy metals by some microalgae species. Plant Signals and Behavior, 7(3): 392-399.

Subashini, P.S. and Rajiv, P. (2018). Chlorella vulgaris DPSF 01: a unique tool for removal of

toxic chemicals from tannery wastewater. African Journal of Biotechnology, 17(8): 239-248.
Zachleder, V. and Wittenburg, E. and Abarzua, S. (1986). Factors controlling the inhibitory effects of 3,4-benzo (a) pyrene on the chlorococcal alga *Scenedesmus quadricauda*. Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement. 43:281-296.