

Dor: [20.1001.1.2008921.1399.11.22.9.0](https://doi.org/10.1001.1.2008921.1399.11.22.9.0)

مقایسه ظرفیت جلبک‌ها در جذب فلز سنگین سرب

محمد حسین گرجیان عربی^{۱*}، محسن احمدپور^۱، حسن رضائی^۲، محمد رحمانی^۳، محمد حسین سینکا کریمی^۴

۱ استادیار مرکز پژوهشی حوضه اقلیمی خزر، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۲ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۳ استادیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۴ دکتری گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸)

چکیده

سرب یکی از سمی‌ترین و پر مصرف‌ترین فلزات است که حتی مقدار بسیار جزئی آن اثرات بدی روی موجودات زنده می‌گذارد. آلودگی هوا با سرب باعث ایجاد انواع بیماری‌ها در انسان و جانداران و در محیط‌های آبی باعث مختل شدن عملکرد فیتوپلانکتون‌ها به عنوان یکی از منابع مهم تولید اکسیژن در دریاها و در نتیجه بر هم خوردن تعادل جهانی موجودات آبی می‌شود. در میان جاذب‌های زیستی، جلبک‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند که دلیل آن را می‌توان خودانباشتگی فلزات سنگین و در نتیجه ضریب جذب بالای این جاذب‌های زیستی دانست. در این مطالعه جذب فلز سمی سرب توسط جلبک‌ها مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای تحقیق شامل دز جاذب، pH، درجه حرارت، مدت زمان بهینه جذب و بیشترین میزان جذب بوده است. دو مدل جذب کلاسیک ایزوترم، شامل لانگمویر و فرنلدلیچ و دو مدل جذب سینتیک شامل مدل شبه مرتبه اول و مدل شبه مرتبه دوم نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از درصد جذب بالای فلز سرب توسط جلبک‌ها خصوصاً جلبک قهوه‌ای بود ولی به صورت کلی متغیرها و مدل‌های ایزوترم و سینتیک جذب سرب در جلبک‌ها از اصول و نظم خاصی پیروی نمی‌کردند. این نکته شایان توجه است که برای عملیاتی کردن جذب فلز سنگین سرب به صورت واقعی و جدای از محیط آزمایشگاهی توسط جلبک‌ها باید شرایط خاص مکانی، زمانی، دمایی و غلظت فلز را مد نظر قرار داد.

کلید واژه‌ها: آلودگی، جذب زیستی، پارامترهای جذب، ایزوترم‌های جذب، سینتیک‌های جذب

سرآغاز

غیرزنده وجود ندارد، حساسیت کمتر به غلظت‌های بالای یون‌های فلزات سنگین دارند، جذب زیستی در شرایط محیطی متنوع‌تر نسبت به استفاده از زیست توده زنده انجام می‌گیرد، مشکل آلودگی وجود ندارد، اتلاف زمان برای تکثیر در محیط کشت لازم نیست و زیست توده غیرفعال برای رشد و نگهداری به مواد غذایی نیاز ندارد (Cabuk et al., 2005).

با توجه به مطالعات گسترده‌ای که در بحث جاذب‌های زیستی و به صورت خاص جلبک‌ها در زمینه جذب فلزات سنگین صورت گرفته، ضرورت جمع بندی در خصوص این گونه مطالعات دوجندان به نظر می‌رسد که در این مطالعه به بررسی شرایط بهینه جذب، مدل‌های ایزوترم و سینتیکی جذب سرب توسط جلبک‌ها پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به بررسی بیشترین میزان جذب فلز سرب توسط جلبک‌ها در محیط‌های آبی پرداخته شده است. جستجو و بررسی‌ها در خصوص جلبک‌ها بین ۶۰ عدد مقاله در پایگاه‌های علمی داخلی و خارجی نظیر Science Direct, PubMed, Springer, SID, Google Scholar, Europe PMC, MDPI, SEMANTIC SCHOLAR صورت پذیرفت که شامل جلبک‌های سبز ۲۸، جلبک‌های قهوه‌ای ۲۱ و جلبک‌های قرمز ۱۱ مورد بوده است.

بررسی‌ها در سه قسمت:

- الف- متغیرهای تحقیق شامل دز جاذب، pH، درجه حرارت، مدت زمان بهینه جذب و بیشترین میزان جذب بوده است.
 - ب- استفاده از دو مدل جذب کلاسیک ایزوترم، شامل لانگمویر و فرنرلیچ که به منظور توصیف تعادل بین یون‌های جذب شده در بیومس و یون‌های در محلول به کار می‌رود.
 - ج- استفاده از مدل‌های جذب سینتیک شامل مدل شبه مرتبه اول (لاگ‌رگن) و مدل شبه مرتبه دوم (هو) می‌باشد.
- برای مقایسه داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد. توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به عدم نرمال بودن داده‌ها به منظور مقایسه داده‌ها از آزمون کروسکال والیس استفاده گردید.

سرب در محیط از انواع فعالیت‌های صنعتی مانند معدن کاوی، ذوب و آب‌کاری فلزات، تولید باتری، مهمات، رنگ و خمیر کاغذ منشا می‌گیرد (Li et al., 2009; Tunali et al., 2006). اگر چه سرب به طور طبیعی در محیط‌زیست وجود دارد اما فعالیت‌های بشری از قبیل کاربرد در تولید بنزین سهم بیشتری در آزاد سازی آن دارند. نمک‌های سرب از راه آگروز اتومبیل‌ها وارد محیط‌زیست شده و خاک، آب و هوا را آلوده می‌کند. سرب یکی از چهار فلزی است که بیشترین عوارض را بر سلامت انسان دارد (Derek, 1999). اختلال بیوستنز هموگلوبین و کم خونی، افزایش فشار خون، آسیب به کلیه، سقط جنین و نارسای نوزاد، اختلال سیستم عصبی، آسیب به مغز، ناباروری مردان، کاهش قدرت یادگیری و اختلالات رفتاری در کودکان از عوارض منفی افزایش غلظت سرب در بدن است (EPA, 1997). همچنین اختلال در عملکرد فیتوپلانکتون‌ها به عنوان یکی از منابع مهم تولید اکسیژن در دریاها و در نتیجه بر هم خوردن تعادل جهانی موجودات آبی از مهمترین عوارض نامطلوب حضور سرب در اکوسیستم‌های آبی است. بنابر استاندارد سازمان جهانی بهداشت و همچنین طبق استاندارد آب آشامیدنی ایران حد مجاز غلظت سرب در آب آشامیدنی به ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر محدود شده است (Tong et al., 2000; National Standard of Iran, 2008).

در سال‌های اخیر پاکسازی زیستی آب‌های آلوده شده با یون‌های فلزات سنگین در مقایسه با روش‌های سنتی فیزیکی و شیمیایی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. گروه‌های متفاوتی از میکروارگانیسم‌ها برای زدایش یون‌های فلزات سنگین به کار برده شده‌اند. فرآیندهای بیولوژیکی مرسوم در پاکسازی زیستی فلزات شامل جذب زیستی، تجمع زیستی و ته نشینی زیستی می‌باشد (Soares & Coninck, 2002). اصطلاح جذب زیستی که مدت‌ها به عنوان جذب سطحی فیزیکی یاد می‌شد، توانایی زیست توده میکروبی اعم از غیرفعال، زنده و مرده، در متصل شدن به فلزات سنگین یا آلاینده‌های موجود در محلول‌های رقیق تعریف می‌شود (Skountzon & Soupioni, 2003).

مزایای جذب زیستی توسط سلول‌های مرده به این دلیل است که در تصفیه پساب‌های آلوده به فلزات سنگین، جداسازی زیست توده زنده مشکل است که چنین مشکلی در زیست توده‌های

نتایج و بحث

آلودگی فلزات سنگین در آب یکی از نگرانی‌های عمده سلامت در سراسر جهان است و می‌تواند اختلالات شدید سلامتی را نه تنها برای انسان بلکه برای هر موجود زنده ایجاد کند (Zhang et al., 2018; Lu & Yu, 2018). جلبک‌ها علاوه بر این که برای مطالعات پایش زیستی با اهمیت هستند، به علت خاصیت و توانایی بالای تجمع زیستی انواع فلزات می‌توانند به عنوان یک فناوری پالایش گیاهی برای تصفیه و بازگرداندن کیفیت آب به حالت اول مورد استفاده قرار گیرند (Zhou et al., 2008). همچنین استفاده از روش جذب زیستی با توجه به عدم تمایل صنعت به استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی حذف فلزات سنگین با توجه به هزینه زیاد و مشکلات ثانویه می‌تواند مثرتر باشد زیرا صنعت بدون هیچ تعصبی به دنبال روش‌های ارزان و مناسب برای اهداف خویش می‌باشد (Gorjian Arabi et al., 2016).

الف- اثرگذاری پارامترهای مختلف در جذب**دز جذب**

اثر دز جذب بر جذب فلزات سنگین نشان می‌دهد که افزایش درصد جذب به طور معمول با افزایش دز جذب به دلیل افزایش دسترسی به سطح و یا سایت‌های مبادله در غلظت‌های بالاتر همراه است (Al-Qahtani, 2016). البته افزایش بیش از حد دزهای جذب، افزایش قابل ملاحظه‌ای در راندمان حذف ایجاد نمی‌کند، که نتیجه آن همپوشانی یا تجمع سایت‌های فعال در دزهای بالاتر می‌باشد (Ghasemi et al., 2014; Kostic et al., 2014). با بررسی جلبک‌های مختلف مشخص گردید از دزهای مختلفی از جذب برای جذب سرب استفاده می‌گردد و نمی‌توان دز خاصی را به صورت کلی برای جلبک‌ها پیشنهاد نمود (جدول ۱).

pH

بررسی‌ها نشان داد pH ۳ تا ۷ برای جذب یون سرب مناسب بوده که بیشترین گزارشات pH حدود ۴ تا ۵ می‌باشد (جدول ۱). pH می‌تواند در محلول‌های آبی از طریق وجود گروه‌های کاربردی که روی سایت‌های جذب می‌باشند بر فلزات سنگین اثر گذار باشد و میزان کنش و واکنش بین جذب و فلز سنگین را افزایش دهد (Gundogdu et al., 2009; Chen et al., 2010).

(Tasar et al., 2014; Reddy et al., 2010). در نتیجه یکی از فاکتورهای کنترل کننده و تاثیر گذار بر حذف فلزات سنگین می‌باشد (Yuvaraja et al., 2014; Reddy et al., 2010). به خوبی مشخص است که در سطح پایین pH مقدار زیادی از یون‌های هیدروژن در محلول‌های آبی وجود دارد، در نتیجه گروه‌های عملکردی در سطح جاذب‌های زیستی پروتون‌ها هستند (Meitei & Prasad, 2014; Reddy et al., 2010). از این رو در pHهای پایین به علت رقابت بین یون‌های هیدروژن محلول آبی و یون‌های پروتون سرب برای نشستن روی سطح جاذب زیستی، میزان جذب فلز سنگین کاهش می‌یابد. در مقابل در pHهای بالاتر میزان یون هیدروژن کاهش پیدا کرده و گروه‌های کاربردی عملکردی بیشتری پیدا خواهند کرد (Athar et al., 2013). بنابراین به علت رقابت کمتر بین یون‌های هیدروژن محلول‌های آبی و یون‌های پروتون سرب، یون‌های سرب بیشتری توسط جاذب جذب می‌شوند.

دز جذب

افزایش جذب با افزایش دما نشان می‌دهد که جذب یون‌های سنگین فلزات توسط جاذب ممکن است نه تنها جذب فیزیکی، بلکه جذب شیمیایی نیز داشته باشد. اثر دمای بالاتر به دلیل افزایش سایت‌های فعال به دلیل شکست باند رخ می‌دهد (Wasewar, 2010). همچنین افزایش دما باعث افزایش فعل و انفعالات میان یون‌های فلزی شده در نتیجه سبب شکل گرفتن کمپلکس‌های فعال میان یون‌ها می‌شود (Holan & Volesky, 1995). بررسی درجه حرارت در جلبک‌ها نشان داد درجه حرارت بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد دمای مناسبی برای بیشترین میزان جذب می‌باشد (جدول ۱).

مدت زمان بهینه جذب

به طور معمول تا مدت زمان خاصی افزایش میزان جذب توسط جاذب را داریم و بعد آن نرخ جذب کاهش می‌یابد که دلیل آن کاهش تعداد سایت‌های فعال بعد از زمان خاصی است (Al-Anber, 2010; Samindika, 2013). همچنین می‌توان گفت در زمان‌های اولیه ممکن است به علت قابلیت دسترسی مکان‌های فعال خالی روی سطح جاذب‌های زیستی با افزایش جذب همراه باشیم (Chakravarty et al., 2010) اما پس از گذشت زمان سایت‌های جذب پر شده و از دسترس خارج می‌شود

میلی گرم بر گرم می باشد. از ایزوترم لانگمویر حداکثر ظرفیت جذب بدست می آید (Madala et al., 2017). در بررسی جلبکها مشخص گردید که ظرفیت جذب سرب توسط جلبکها بالا می باشد. بیشترین مقدار جذب فلز سرب در جدول (۱) بین ۵۴ عدد جلبک که $q_{max}(mg/g)$ آن ها موجود بوده شامل جلبکهای سبز ۲۵ مورد ، جلبکهای قهوه ای ۱۹ مورد و جلبکهای قرمز ۱۰ مورد را نشان می دهد.

(Ghasemi et al., 2014). با توجه به بررسی جاذب های زیستی مورد تحقیق به نظر می رسد نوع جاذب زیستی در مدت زمان جذب نیز موثر می باشد و با توجه به بافتها و مواد تشکیل دهنده شان مدت زمان نیز کم یا زیاد می شود و از یک قانده خاصی پیروی نمی کند (جدول ۱).

- بیشترین مقدار جذب (q_{max})

q_{max} حداکثر ظرفیت جذب جاذب است که معمولاً بر حسب

جدول (۱): مقایسه حداکثر ظرفیت جذب فلز سرب توسط جلبکها

منبع	درصد جذب	بیشترین مقدار جذب (میلی گرم/گرم)	مدت زمان بهینه جذب (دقیقه)	درجه حرارت (سانتیگراد)	pH	دز جاذب (گرم/لیتر)	جاذب	فلز سنگین
El-Naggar et al., 2018	۱۰۰	-----	۶۰	۴۵	۴/۵	۱	<i>Gelidium amansii</i> (جلبک قرمز)	سرب
Bai & Venkateswarlu, 2018	۹۷/۵	-----	۵۰	۶۰	۲/۵	۱۲	<i>Sargassum Tenerrimum</i> (جلبک قهوه ای)	
Goher et al., 2016	۹/۴	-----	۲۰	-----	۵	dm ³ /۲	<i>Chlorella vulgaris</i> (جلبک سبز)	
Khan et al., 2016	۹۰	۱۰۰	۸۰	۵۰	۹	۰/۷۵	modified green algal (جلبک سبز اصلاح شده)	
Verma et al., 2016	۹۶	۲۸۵/۶۵	۸۵	۳۴/۸	۵	۰/۵	<i>Sargassum filipendula</i> (جلبک قهوه ای)	
Edris et al., 2014	-----	۱۷۸/۵	۴۰	۳۰	۷	۰/۲	<i>Chlorella vulgaris</i> (جلبک سبز)	
Tabaraki et al., 2014	-----	۱۹۵/۵	۱۲۰	۲۵	۳/۷	۰/۲	<i>Sargassum ilicifolium</i> (جلبک قهوه ای)	
Yalçın., 2014	۹۸	۱۹۷/۷۸	۱۰	۲۵	۵	۰/۰۵ mg/g	<i>Enteromorpha linza</i> (جلبک سبز)	
Abdel -Aty et al., 2013	۸۸/۶	۱۲۱/۹۵	۲۰	-----	۳	۱۰۰ mL/۰,۲۵	<i>Anabaena sphaerica</i> (جلبک سبز-آبی)	
Bulgariu et al., 2013	---	۱۸۱/۸۲	۱۸۰	۵۰	۵	۸	<i>Ulva lactuca</i> (جلبک سبز)	
Lee & Park, 2012	-----	۱۳۶/۹۹	۳۰	۲۰	۴	۲۵۰ mL/۰,۵	<i>Hizikia fusiformis</i> (جلبک قهوه ای)	
Hannachi, 2012	۹۸	۵۶/۲	۶۰	۲۰	۵/۵	۴	<i>Ceramium virgatum</i> (جلبک قرمز)	
Yipmantin et al., 2011	---	۲۸۴/۵	---	۲۰	۴	۰/۱۵	<i>Chondracanthus chamissoi</i> (جلبک قرمز)	

ادامه جدول (۱): مقایسه حداکثر ظرفیت جذب فلز سرب توسط جلبک‌ها

منبع	درصد جذب	بیشترین مقدار جذب (میلی گرم/گرم)	مدت زمان بهینه جذب (دقیقه)	درجه حرارت (سانتیگراد)	pH	نژاد جذب (گرم/لیتر)	جاذب	فلز سنگین
Yipmantin et al., 2011	---	۲۸۳/۵	---	۲۰	۴	۰/۱۵	<i>Chondracanthus chamissoi</i> (جلبک قرمز)	
Ibrahim, 2011	---	۶۴/۳	۶۰	۲۵	۵	۱۰	<i>Corallina mediterranea</i> (جلبک قرمز)	
	---	۸۸/۶	۶۰	۲۵	۵	۱۰	<i>Galaxaura oblongata</i> (جلبک قرمز)	
	---	۳۰/۶	۶۰	۲۵	۵	۱۰	<i>Jania rubens</i> (جلبک قرمز)	
	---	۳۴/۳	۶۰	۲۵	۵	۱۰	<i>Ptredocladia capillacea</i> (جلبک قرمز)	
Dekhil et al., 2011	----	۱۹۲/۳۱	۳۰	۲۰	۴	۲۵۰ mL/۰.۵	<i>Laminaria japonica</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	----	۱۸۱/۸۲	۳۰	۲۰	۴	۲۵۰ mL/۰.۵	<i>Undaria pinnatifida</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	۹۶	۳۴/۵	۶۰	۲۰	۵	۲۰	<i>Caulerpa racemosa</i> (جلبک سبز)	
Lee & Chang, 2011	----	۹۰/۹۱	۲۰	۲۵	۵	۱	<i>Spirogyra</i> sp. (جلبک سبز)	
	----	۴۶/۵۱	۲۰	۲۵	۵	۱	<i>Cladophora</i> sp. (جلبک سبز)	
Singh et al., 2009	---	۷۱/۱۳	۱۵	۲۵	۵	۱۰۰	<i>Pithophora oedogonia</i> (جلبک سبز)	
Kumar et al., 2009	۸۲	۳۱/۲۵	۱۲۰	----	----	۲۵۰ ml/۱۰۰ mg	<i>Cladophora fascicularis</i> (جلبک سبز)	
	۸۵	۲۹/۴۱۲	۱۲۰	----	----	۲۵۰ ml/۱۰۰ mg	<i>Ulva lactuca</i> (جلبک سبز)	
	۹۸	۳۷/۰۳۷	۶۰	----	----	۲۵۰ ml/۱۰۰ mg	<i>Chaetomorpha</i> sp. (جلبک سبز)	
	۸۲	۲۱/۲۷۷	۱۲۰	----	----	۲۵۰ ml/۱۰۰ mg	<i>Caulerpa sertularioides</i> (جلبک سبز)	
	۹۲	۸۳/۳۳۳	۱۲۰	----	----	۲۵۰ ml/۱۰۰ mg	<i>Valoniopsis pachynema</i> (جلبک سبز)	
Gupta & Rastogi, 2008	----	۱۵۱/۵۷۵	۱۰۰	۴۵	۵	۰/۵	<i>Spirogyra</i> sp. (جلبک سبز)	

ادامه جدول (۱): مقایسه حداکثر ظرفیت جذب فلز سرب توسط جلبک‌ها

منبع	درصد جذب	بیشترین مقدار جذب (میلی گرم/گرم)	مدت زمان بهینه جذب (دقیقه)	درجه حرارت (سانتیگراد)	pH	دوز جذب (گرم/لیتر)	جاذب	فلز سنگین
Sarı & Tuzen, 2008	۹۵	۳۴/۷	۶۰	۲۰	۵	۲۰	<i>Ulva lactuca</i> (جلبک سبز)	
Singh et al., 2008	----	۷۱/۱۳	۲۰	۲۵	۵	۱۰۰ ml/۱۰ mg	<i>Pithophora oedogonia</i> (جلبک سبز)	
Freitas et al., 2008	---	۳۸/۲	۱۰	۲۵	۵	۱۰۰۰ ml/۲۰۰ mg	<i>Sargassum muticum</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	---	۵۰/۳	۱۰	۲۵	۵	۱۰۰۰ ml/۲۰۰ mg	<i>Laminaria hyperborean</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	---	۵۲/۷	۱۰	۲۵	۵	۱۰۰۰ ml/۲۰۰ mg	<i>Bifurcaria bifurcate</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	---	۴۳/۵	۱۰	۲۵	۵	۱۰۰۰ ml/۲۰۰ mg	<i>Fucus spiralis</i> (جلبک قهوه‌ای)	
Sheng et al., 2007	۹۰	---	۵	۲۱	۵	۱	<i>Sargassum sp.</i> (جلبک قهوه‌ای)	
Deng et al., 2007	۹۰	۱۹۸/۵	۳۰	۲۵	۵	۵۰۰ ml/۰٫۵	<i>Cladophora fascicularis</i> (جلبک سبز)	
Lodeiro et al., 2006	----	۱۸۶	۶۰	۲۵	۴/۵	۲/۵	<i>Cystoseira baccata</i> (جلبک قهوه‌ای)	
Vilar et al., 2005	---	۶۴	۱۰	۲۵	۵	۲	<i>Gelidium sp.</i> (جلبک قرمز)	
Tüzün et al., 2005	۶۸	۹۶/۳	۶۰	۲۵	۵	۱	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> (جلبک سبز)	
Sheng et al., 2004	۹۰	۱۲۲/۶	۶۰	۲۲	۵	۱	<i>Padina sp.</i> (جلبک قهوه‌ای)	
Jalali et al., 2002	----	۲۸۵	۱۸۰	۳۰	۴	۲	<i>Sargassum hystrix</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	----	۲۳۸	۱۸۰	۳۰	۴	۲	<i>Sargassum natans</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	----	۲۱۷/۴	۱۸۰	۳۰	۴	۲	<i>Padina pavonia</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	----	۱۲۶/۵	۱۸۰	۳۰	۴	۲	<i>Ulva lactuca</i> (جلبک سبز)	
	----	۷۳/۵	۱۸۰	۳۰	۴	۲	<i>Cladophora glomerata</i> (جلبک سبز)	
	----	۵۴	۱۸۰	۳۰	۴	۴	۲	<i>Gracilaria corticata</i> (جلبک قرمز)

ادامه جدول (۱): مقایسه حداکثر ظرفیت جذب فلز سرب توسط جلبک‌ها

منبع	درصد جذب	بیشترین مقدار جذب (میلی‌گرم/گرم)	مدت زمان بهینه جذب (دقیقه)	درجه حرارت (سانتیگراد)	pH	میزان جذب (گرم/لیتر)	جاذب	فلز سنگین
	---	۴۱/۸	۱۸۰	۳۰	۴	۲	<i>Gracilaria canaliculata</i> (جلبک قرمز)	
	---	۱۰۲	۱۸۰	۳۰	۴	۲	<i>Polysiphonia violacea</i> (جلبک قرمز)	
Gorjian Arabi et al., 2018a	۹۹/۱۳	۹۶/۱۵	۲۰	۳۰	۴	۰/۰۵	<i>Scenedesmus</i> sp.(Nano) (نانو جلبک سبز)	
Gorjian Arabi et al., 2018b	۹۹/۱۰	۷۸/۷۴	۲۰	۳۰	۴	۰/۰۵	<i>Scenedesmus</i> sp. (جلبک سبز)	
Sayadi & Shekari, 2017	۷۵/۸۴	۸۰/۶۴	۴۰	---	۵	۴	<i>Spirogyra</i> sp. (جلبک سبز)	
Naeemi et al., 2016	۹۷/۲۶	۲۲/۶۸	۶۰	۲۵	۵	۱۰	<i>Chlorella vulgaris</i> (جلبک سبز)	
Jafari & Ahmadi asbchin, 2014	۷۳/۲	۱۸/۳۲	۵۰	۵۰	۷	۱	<i>Cystoseira indica</i> (جلبک قهوه‌ای)	
Mohseni et al., 2013	۹۷/۵۳	---	۶۰	۲۵	۶	۰/۵	<i>Chlorella</i> sp. (جلبک سبز)	
Malakootian et al., 2012	۹۸/۴	۳۳۳	۶۰	۲۵	۴	۱/۵	<i>Ulothrix Zonata</i> (جلبک سبز)	
Niakan et al., 2008	---	۴۶/۴۸	---	۲۵	۵/۵	۱۰	<i>Sargassum glaucescens</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	---	۴۷/۲۲	---	۲۵	۵/۵	۱۰	<i>Cystoseira indica</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	---	۴۶/۴۸	---	۲۵	۵/۵	۱۰	<i>Padina australis</i> (جلبک قهوه‌ای)	
	---	۵۰/۴۲	---	۲۵	۵,۵	۱۰	<i>Nizmuddinia zanardini</i> (جلبک قهوه‌ای)	

با توجه به اختلاف زیاد داده‌ها نتایج آنالیز نرمالیت‌ها نشان داد که هر سه نوع جلبک سبز، قهوه‌ای و قرمز دارای توزیع غیر نرمال سرب بودند ($p < 0/05$) در نتیجه به منظور مقایسه میزان جذب سرب بین سه نوع جلبک سبز، قهوه‌ای و قرمز از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس استفاده گردید. نتایج نشان داد اختلافی بین سه نوع جلبک مورد بررسی در میزان بیشترین مقدار جذب سرب وجود ندارد ($p > 0/05$).

نتایج مربوط به بیشترین مقدار جذب سرب بین جلبک‌های سبز، قهوه‌ای و قرمز که مورد مطالعه قرار گرفته در جدول (۲) آورده شده است. در مجموع میانگین بیشترین مقدار جذب در جلبک‌ها به ترتیب قهوه‌ای، سبز و قرمز بود. انحراف معیار در هر سه نوع جلبک زیاد بوده که نشان دهنده نوسان زیاد در میزان جذب فلز سنگین سرب در هر کدام از جلبک‌های سبز، قهوه‌ای یا قرمز می‌باشد.

جدول (۲): حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار بیشترین مقدار جذب فلز سرب بین جلبک‌های سبز، قهوه‌ای و قرمز

بیشترین مقدار جذب (میلی گرم/گرم)			نوع جلبک
انحراف معیار	میانگین حداکثر - حداقل	تعداد	
۷۳/۷۶	۹۸/۶۷ ۲۱/۳۳۳-۲۸	۲۵	سبز
۹۱/۱۱	۱۲۸/۱۵ ۱۸/۲۸۵-۳۲/۶۵	۱۹	قهوه‌ای
۷۴/۲۸	۸۱/۹۳ ۳۰/۲۸۳-۶۰/۵۰	۱۰	قرمز

ب- ایزوترم‌های جذب

- مدل ایزوترم لانگمویر

ایزوترم جذب رابطه تعادلی بین مقادیر یون‌های فلزی جذب شده روی جاذب‌های زیستی و غلظت یون‌های فلزی در محلول در شرایط آزمایشگاهی را توصیف می‌کند (Chen et al., 2010; Malamisa & Katsou, 2013).

در این مطالعه داده‌های تعادلی توسط دو مدل لانگمویر و فرن‌دلیچ پیش بینی شدند. طبق جدول (۳) جاذب‌های زیستی جلبک‌ها در ۲۳ مورد از مدل لانگمویر و در ۱۸ مورد از مدل

فرن‌دلیچ پیروی کرده‌اند در نتیجه به صورت ضعیف می‌توان گفت جذب زیستی برای فلز سرب توسط مدل لانگمویر نسبت به مدل فرن‌دلیچ بهتر توصیف شده‌اند. تطبیق مدل لانگمویر نشان می‌دهد که جذب در مکان‌های همگن خاص در سطح جاذب رخ می‌دهد و همچنین هنگامی که یک محل توسط یک مولکول جاذب اشغال می‌شود، جذب بیشتر در این سایت ممکن نیست اما در مدل فرن‌دلیچ فرایند جذب در یک سطح ناهمگونی با درگیری سایت‌هایی که دارای انرژی‌های مختلف می‌باشد رخ می‌دهد (Madala et al., 2017).

جدول (۳): مقایسه ایزوترم‌های جذب در فلز سرب توسط جلبک‌های سبز، قهوه‌ای و قرمز

منبع	ایزوترم		جاذب
	لانگمویر (R^2)	فرن‌دلیچ (R^2)	
Bai & Venkateswarlu, 2018	۰/۹۵	۰/۹۹	<i>Sargassum Tenerrimum</i> (جلبک قهوه‌ای)
Khan et al., 2016	۰/۹۸۴	۰/۹۲۴	modified green algal (جلبک سبز اصلاح شده)
Edris et al., 2014	۰/۹۹۶	۰/۹۵۱	<i>Chlorella vulgaris</i> (جلبک سبز)
Yalçın, 2014	۰/۹۹۹	۰/۹۵۴	<i>Enteromorpha linza</i> (جلبک سبز)
Tabaraki et al., 2014	۰/۹۷۱	۰/۹۹۲	<i>Sargassum ilicifolium</i> (جلبک قهوه‌ای)
Bulgariu et al., 2013	۰/۹۹۰۳	۰/۶۷۱۵	<i>Ulva lactuca</i> (جلبک سبز)
Abdel -Aty et al., 2013	۰/۹۶۹۹	۰/۹۷۹۸	<i>Anabaena sphaerica</i> (جلبک سبز-آبی)
Hannachi, 2012	۰/۹۹۷	۰/۹۶۵	<i>Ceramium virgatum</i> (جلبک قرمز)

ادامه جدول (۳): مقایسه ایزوترم‌های جذب در فلز سرب توسط جلبک‌های سبز، قهوه‌ای و قرمز

منبع	ایزوترم		جاذب
	لانگمویر (R^2)	فرنلچ (R^2)	
Lee & Park, 2012	۰/۹۸۳۸	۰/۹۸۱۶	<i>Hizikia fusiformis</i> (جلبک قهوه‌ای)
	۰/۹۷۶۸	۰/۹۸۶۸	<i>Laminaria japonica</i> (جلبک قهوه‌ای)
	۰/۹۲۸۱	۰/۹۷۹۴	<i>Undaria pinnatifida</i> (جلبک قهوه‌ای)
Dekhil et al., 2011	۰/۹۹۱	۰/۹۷۸	<i>Caulerpa racemosa</i> (جلبک سبز)
Li et al., 2011	۰/۹۸۳۰	۰/۹۷۲۵	<i>Enteromorpha prolifera</i> (جلبک سبز)
Lee & Chang, 2011	۰/۹۹۱	۰/۹۸۱	<i>Spirogyra</i> sp. (جلبک سبز)
	۰/۹۹۶	/۹۸۰	<i>Cladophora</i> sp. (جلبک سبز)
Nessim et al., 2011	۰/۹۰۸	۰/۹۲۰	<i>Ulva fasciata</i> (جلبک سبز)
	۰/۹۴۹	۰/۹۵۱	<i>Ulva fasciata</i> (NaOH modified) (جلبک سبز اصلاح شده)
	۰/۹۶۳	۰/۹۵۸	<i>Sargassum</i> sp. (جلبک قهوه‌ای)
	۰/۹۶۵	۰/۹۶۲	<i>Sargassum</i> sp. (NaOH modified) (جلبک قهوه‌ای اصلاح شده)
Kumar et al., 2009	۰/۵۳۲	۰/۵۹۹	<i>Cladophora fascicularis</i> (جلبک سبز)
	۰/۹۳۴	۰/۹۱۳	<i>Ulva lactuca</i> (جلبک سبز)
	/۹۸۰	۰/۹۵۲	<i>Chaetomorpha</i> sp. (جلبک سبز)
	۰/۹۴۴	۰/۹۰۶	<i>Caulerpa sertularioides</i> (جلبک سبز)
	۰/۲۵۴	۰/۷۵۹	<i>Valoniopsis pachynema</i> (جلبک سبز)
Sarı & Tuzen, 2008	۰/۹۹۲	۰/۹۸۰	<i>Ulva lactuca</i> (جلبک سبز)
Gupta & Rastogi, 2008	۰/۹۹۷	۰/۹۳۳	<i>Spirogyra</i> sp. (جلبک سبز)
Deng et al., 2007	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	<i>Cladophora fascicularis</i> (جلبک سبز)
Tüzün et al., 2005	۰/۹۵۶	۰/۹۵۴	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> (جلبک سبز)
Jalali et al., 2002	۰/۹۹۶۹	۰/۹۹۶۹	<i>Sargassum hystrix</i> (جلبک قهوه‌ای)
	۰/۹۹۹	۰/۹۳۴۷	<i>Sargassum natans</i> (جلبک قهوه‌ای)

ادامه جدول (۳): مقایسه ایزوترم‌های جذب در فلز سرب توسط جلبک‌های سبز، قهوه‌ای و قرمز

منبع	ایزوترم		جاذب
	لانگمویر (R ²)	فرنرلیچ (R ²)	
	۰/۹۹۱۸	۰/۹۸	<i>Padina pavonia</i> (جلبک قهوه‌ای)
	۰/۹۲۵	۰/۹۷۴۵	<i>Ulva lactuca</i> (جلبک سبز)
	۰/۶۸۸۵	۰/۸۹۲	<i>Cladophora glomerata</i> (جلبک سبز)
	۰/۸۶۲۲	۰/۹۸۶۷	<i>Gracilaria corticata</i> (جلبک قرمز)
	۰/۷۱۷۲	۰/۸۲۷۸	<i>Gracilaria canaliculata</i> (جلبک قرمز)
	۰/۷۴۶۳	۰/۹۲	<i>Polysiphonia violacea</i> (جلبک قرمز)
Gorjian Arabi et al., 2018a	۰/۷۵۵	۰/۹۳۹	<i>Scenedesmus</i> sp.(Nano) (نانو جلبک سبز)
Gorjian Arabi et al., 2018b	۰/۲۱۹۹	۰/۹۵۰۵	<i>Scenedesmus</i> sp. (جلبک سبز)
Sayadi & Shekari, 2017	۰/۸۶۷۶	۰/۹۸۱۶	<i>Spirogyra</i> sp. (جلبک سبز)
Naeemi et al., 2016	۰/۹۹۹	۰/۹۸۸	<i>Chlorella vulgaris</i> (جلبک سبز)
Jafari & Ahmadi asbchin, 2014	۰/۹۵	۰/۹۷	<i>Cystoseira indica</i> (جلبک قهوه‌ای)
Malakootian et al., 2012	۰/۹۶۷	۰/۹۵۲	<i>Ulothrix Zonata</i> (جلبک سبز)

ج- سینتیک‌های جذب

اگر چه بیشتر مدل‌های سینتیکی در ابتدا در جهت بررسی میزان جذب گازها بر روی جاذب‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گرفتند اما امروزه مدل‌های سینتیکی زیادی نظیر مدل شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، مدل نفوذ بین ذره‌ای، مدل الوویچ و بسیاری مدل‌های دیگر جهت بررسی سینتیک فرآیند جذب آلاینده‌های مختلف از محلول‌های آبی مورد بررسی قرار می‌گیرند (Depci, 2012).

مطالعه داده‌های سینتیک با استفاده از مدل سینتیک شبه مرتبه اول (لاگرگن) و شبه مرتبه دوم (هو) توصیف شدند. این معادلات برای بررسی مکانیسم کنترل کننده‌ی فرآیند جذب مانند انتشار، جذب سطحی، نفوذ با جذب درون مولکولی و جذب شیمیایی استفاده می‌شوند. در صورتی که عامل کنترل کننده‌ی جذب، نفوذ در لایه مرزی باشد سینتیک جذب معمولاً از مدل شبه

مرتبه اول (لاگرگن) تبعیت می‌کند که در آن تغییرات با نرخ جذب با زمان، متناسب با تعداد سایت‌های اشغال نشده در سطح جاذب است (Ofomaja, 2010) و در مدل شبه مرتبه دوم (هو) فرض بر این است که جذب شیمیایی کنترل کننده پدیده جذب است و سرعت اشغال سایت‌های جذب، متناسب با مجذور تعداد سایت‌های اشغال نشده است (Woodard, 2006; Ho & Chiang, 2001). طبق جدول (۴) جلبک‌ها در ۱۷ مورد از مدل شبه مرتبه دوم (هو) و در ۶ مورد از مدل شبه مرتبه اول (لاگرگن) و در یک مورد از هر دو مدل به صورت یکسان پیروی کرده‌اند.

جدول (۴): مقایسه سینتیک‌های جذب در فلز سرب توسط جلبک‌های سبز، قهوه‌ای و قرمز

منبع	سینتیک		جاذب
	شبه مرتبه دوم یا هو (R ²)	شبه مرتبه اول یا لاگرگن (R ²)	
Bai & Venkateswarlu, 2018	۰/۹۹	۰/۹۳	<i>Sargassum Tenerrimum</i> (جلبک قهوه‌ای)
Khan et al., 2016	۰/۹۹۳	۰/۹۵۴	modified green algal (جلبک سبز اصلاح شده)
Edris et al., 2014	۰/۹۱۱	۰/۹۹۶	<i>Chlorella vulgaris</i> (جلبک سبز)
Tabaraki et al., 2014	۰/۹۹۷	۰/۹۸۲	<i>Sargassum ilicifolium</i> (جلبک قهوه‌ای)
Hannachi., 2012	۰/۹۹۹	۰/۹۷۳	<i>Ceramium virgatum</i> (جلبک قرمز)
Dekhil et al., 2011	۰/۹۹۸	۰/۹۸۲	<i>Caulerpa racemosa</i> (جلبک سبز)
Li et al., 2011	۰/۹۹۹۶	۰/۹۷۴۹	<i>Enteromorpha prolifera</i> (جلبک سبز)
Nessim et al., 2011	۱	۰/۶۲۵	<i>Ulva fasciata</i> (جلبک سبز)
Freitas et al., 2008	۱	۰/۶۴۳	<i>Sargassum sp.</i> (جلبک قهوه‌ای)
	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	<i>Sargassum muticum</i> (جلبک قهوه‌ای)
	۰/۹۹۶	۰/۹۹۷	<i>Laminaria hyperborean</i> (جلبک قهوه‌ای)
	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	<i>Bifurcaria bifurcate</i> (جلبک قهوه‌ای)
	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	<i>Fucus spiralis</i> (جلبک قهوه‌ای)
Sarı & Tuzen, 2008	۰/۹۹۹	۰/۹۸۲	<i>Ulva lactuca</i> (جلبک سبز)
Singh et al., 2008	۰/۹۸۶	۰/۹۹۸	<i>Pithophora oedogonia</i> (جلبک سبز)
Gupta & Rastogi, 2008	۰/۹۹۸	۰/۹۳۲	<i>Spirogyra sp.</i> (جلبک سبز)
Tüzün et al., 2005	۰/۹۵۴	۰/۹۴۷	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> (جلبک سبز)
Gorjian Arabi et al., 2018a	۱	۰/۹۹۸۸	<i>Scenedesmus sp.</i> (Nano) (نانو جلبک سبز)
Gorjian Arabi et al., 2018b	۱	۰/۹۸۶۱	<i>Scenedesmus sp.</i> (جلبک سبز)
Sayadi & Shekari, 2017	۰/۹۸۷۲	۰/۶۷۹۶	<i>Spirogyra sp.</i> (جلبک سبز)
Naeemi et al., 2016	۱	---	<i>Chlorella vulgaris</i> (جلبک سبز)
Jafari & Ahmadi asbchin, 2014	۰/۸۵	۰/۹۴	<i>Cystoseira indica</i> (جلبک قهوه‌ای)
Mohseni et al., 2013	۰/۹۹۹۹	---	<i>Chlorella sp.</i> (جلبک سبز)
Malakootian et al., 2012	۰/۹۸۲	۰/۹۶۷	<i>Ulothrix Zonata</i> (جلبک سبز)

نتیجه‌گیری

فلزات سنگین دارای خصوصیات تجمعی، پایداری و عدم تجزیه پذیری می‌باشند که با ورود به محیط‌زیست به صورت‌های خاص به زنجیره‌های غذایی وارد می‌شوند و در پی آن مشکلات بسیاری را برای مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کنند در نتیجه برای کاستن و حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی باید اقدام عملی صورت گیرد. امروزه استفاده از روش‌های زیستی بسیار مدنظر بوده و تحقیقات فراوانی در پی آن در حال انجام می‌باشد که یکی از این روش‌ها، استفاده از جلبک‌ها می‌باشد. جلبک‌ها جزئی از محیط‌زیست بوده، استفاده و کاربرد از این مواد، روشی سبز و سازگار با محیط‌زیست محسوب می‌شود. بررسی مقالات مختلف در جذب فلز سنگین سرب توسط جلبک‌ها نشان داد پارامترهای دز جذب، pH، درجه حرارت، مدت زمان بهینه جذب و بیشترین میزان جذب با توجه به نوع جلبک‌های سبز، قهوه‌ای و قرمز متفاوت بوده ولی میزان جذب در هر صورت بالا بوده که نشان از توان بالای جلبک‌ها در ذخیره‌سازی فلزات سنگین در خود می‌باشد (جدول ۱). بررسی بین سه نوع جلبک سبز، قهوه‌ای و قرمز مشخص نمود

جلبک‌های قهوه‌ای نسبت به سایر جلبک‌ها دارای قدرت جذب بیشتری می‌باشند (جدول ۲) که دلیل آن را می‌توان در ساختار ویژه در دیواره سلولی آن‌ها با توجه به دارا بودن بنیان‌های هیدروکسیل و ترکیبات آلژینیک و فوکویدان دانست.

پیشنهادها

در زمینه جذب فلزات سنگین، با ترکیب انواع جلبک‌ها با هم و با جذب‌های زیستی دیگر برای ایجاد یک جاذب ارزان قیمت با قدرت جذب بیشتر در کنار ترکیب فلزات سنگین با یکدیگر در شرایط آزمایشگاهی را می‌توان پیشنهاد کرد. همچنین مطالعات گسترده‌ای که در ارتباط جذب فلزات صورت می‌گیرد در شرایط آزمایشگاهی و به صورت سیستم غیرپیوسته می‌باشد که بهتر است برای تعیین میزان تطابق آزمایشات آزمایشگاهی و محیط طبیعی از پساب واقعی که توسط صنایع تولید شده، به صورت سیستمی پیوسته مورد استفاده قرار گیرد. همچنین استفاده از ظرفیت جذب دوباره و چندباره جلبک‌ها نیز می‌تواند یکی از پیشنهادات برای کاهش هزینه‌ها باشد.

فهرست منابع

- Abdel-Aty, A.M.; Ammar, N.S.; Ghafar, H.H.A. & Ali, R.K. 2013. Biosorption of cadmium and lead from aqueous solution by fresh water alga *Anabaena sphaerica* biomass. *Journal of advanced research*, 4(4): 367-374.
- Al-Anber, M.A. 2010. Removal of high-level Fe^{3+} from aqueous solution using Jordanian inorganic materials: bentonite and quartz. *Desalination*, 250: 885–891.
- Al-Qahtani, K.M. 2016. Water purification using different waste fruit cortexes for the removal of heavy metals. *JTUSCI*, 10: 700–708.
- Athar, M.; Farooq, U.; Aslam, M. & Salman, M. 2013. Adsorption of Pb (II) ions onto biomass from *Trifolium resupinatum*: equilibrium and kinetic studies. *Appl. Water Sci*, 3: 665–672.
- Baby Shaikh, R.; Saifullah, B. & Rehman, F. 2018. Greener Method for the Removal of Toxic Metal Ions from the Wastewater by Application of Agricultural Waste as an Adsorbent. *Water*, 10(10): 1316.
- Bai, M.T. & Venkateswarlu, P. 2018. Fixed bed and batch studies on biosorption of lead using *Sargassum Tenerrimum* powder: Characterization, Kinetics and Thermodynamics. *Materials Today: Proceedings*, 5(9):18024-18037.
- Bulgariu, L.; Lupea, M.; Bulgariu, D.; Rusu, C. & Macoveanu, M. 2013. Equilibrium study of Pb (II) and Cd (II) biosorption from aqueous solution on marine green algae biomass. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 12(1): 183-190.
- Cabuk, A.; Ilhan, S.; Filik, C. & Caliskan, F. 2005. Pb^{2+} Biosorption by pretreated fungal biomass. *Tark J Biol*, 29: 23-28.

- Chakravarty, P.; Sarma, N.S. & Sarma, H.P. 2010. Removal of lead (II) from aqueous solution using heartwood of *Areca catechu* powder. *Desalination*, 256: 16–21.
- Chen, H.; Zhao, J.; Dai, G.L.; Wu, J.Y. & Yan, H. 2010. Adsorption characteristics of Pb (II) from aqueous solution onto a natural biosorbent, fallen *Cinnamomum camphora* leaves. *Desalination*, 262: 174–182.
- Dekhil, A.V.; Hannachi, Y.; Ghorbel, A. & Boubaker, T. 2011. Removal of lead and cadmium ions from aqueous solutions using dried marine green macroalga (*Caulerpa racemosa*). *International Journal of Environmental Research*, 5(3): 725-732.
- Deng, L.; Su, Y.; Su, H.; Wang, X. & Zhu, X. 2007. Sorption and desorption of lead (II) from wastewater by green algae *Cladophora fascicularis*. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1-2): 220-225.
- Depci, T. 2012. Comparison of activated carbon and iron impregnated activated carbon derived from Gölbaşı lignite to remove cyanide from water. *Chem Eng J*, 181-182: 467-78.
- Derek, W. J. 1999. Exposure or Absorption and the Crucial Question of Limit for Mercury, J, Can, Dent, Assoc, 46-65.
- Edris, G.; Alhamed, Y. & Alzahrani, A. 2014. Biosorption of cadmium and lead from aqueous solutions by *Chlorella vulgaris* biomass: equilibrium and kinetic study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(1): 87-93.
- El-Naggar, N.E.A.; Hamouda, R.A.; Mousa, I.E.; Abdel-Hamid, M.S. & Rabei, N.H. 2018. Biosorption optimization, characterization, immobilization and application of *Gelidium amansii* biomass for complete Pb 2⁺ removal from aqueous solutions. *Scientific reports*, 8(1):13456.
- EPA, 1997. Drinking water standards Environment of Criteria and Assessment. 540/1–89/002 United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. 86.
- Farhan, A.M.; Al-Dujaili, A.H. & Awwad, A.M. 2013. Equilibrium and kinetic studies of cadmium (II) and lead (II) ions biosorption onto *Ficus Carcia* leaves. *International Journal of Industrial Chemistry*, 4(1): 24.
- Freitas, O.M.; Martins, R.J.; Delerue-Matos, C.M. & Boaventura, R.A. 2008. Removal of Cd (II), Zn (II) and Pb (II) from aqueous solutions by brown marine macro algae: kinetic modelling. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2): 493-501.
- Ghasemi, M.; Naushad, M.; Ghasemi, N. & Khosravi-fard, Y. 2014. Adsorption of Pb(II) from aqueous solution using new adsorbents prepared from agricultural waste: adsorption isotherm and kinetic studies. *J. Ind. Eng. Chem*, 20: 2193–2199.
- Goher, M.E.; Abd El-Monem, A.M.; Abdel-Satar, A.M.; Ali, M.H.; Hussian, A.E. & Napiórkowska-Krzebietke, A. 2016. Biosorption of some toxic metals from aqueous solution using non-living algal cells of *Chlorella vulgaris*. *Journal of Elementology*, 21(3): 703-714.
- Gorjian Arabi, M.H.; Hosseini, S.A.; Rezaei, H.; Yousefi, H. & Meftah Halaghi, M. 2018a. Adsorption of Lead ions from aqueous solution by the dead biomass of nanoalgae *Scenedesmus* sp. *Journal of Aquatic Ecology*, 7(4): 124-136. (In Persian)
- Gorjian Arabi, M.H.; Hosseini, S.A.; Rezaei, H.; Yousefi, H. & Meftah Halaghi, M. 2018b. Removal of Pb (II) ions from aqueous solutions by the dead algae biomass *Scenedesmus* sp. *Journal of Environmental Science and Technology*. DOI: 10.22034/jest.2018.16097.2455. (In Persian)
- Gorjian Arabi, M.H.; Hosseini, S.A.; Rezaei, H.; Yousefi, H. & Meftah Halaghi, M. 2016. Adsorption of Cadmium from aqueous solution by the dead algae biomass *Scenedesmus* sp.: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies. *Journal of Marine Biology*, 8(2): 47-62. (In Persian)
- Gupta, V.K. & Rastogi, A. 2008. Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species: kinetics and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 152(1): 407-414.

- Gundogdu, A.; Ozdes, D.; Duran, C.; Bulut, V.N.; Soylak, M. & Senturk, H.B. 2009. Biosorption of Pb (II) ions from aqueous solution by pine bark (*Pinus brutia* Ten.). *Chem. Eng. J.*, 153: 62–69.
- Hannachi, Y. 2012. Characterization of the biosorption of lead and cadmium with the red alga (*Ceramium virgatum*). *The holistic approach to environment*, 2(3): 93-109.
- Holan, Z. R. & Volesky, B. 1995. Accumulation of cadmium, lead and nickel by fungal and wood biosorbents. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 53:133-146.
- Ho, Y.S. & Chiang, C.C. 2001. Sorption studies of acid dye by mixed sorbents. *Adsorption*, 7: 139-147.
- Ibrahim, W.M. 2011. Biosorption of heavy metal ions from aqueous solution by red macroalgae. *Journal of Hazardous Materials*, 192(3): 1827-1835.
- Jafari, N. & Ahmadi asbchin, S. 2014. Adsorption of cadmium and lead ions from aqueous solution by brown algae *Cystoseira indica*. *Journal of Plant Research*, 27(1): 23-31. (In Persian)
- Jalali, R.; Ghafourian, H.; Asef, Y.; Davarpanah, S.J. & Sepehr, S. 2002. Removal and recovery of lead using nonliving biomass of marine algae. *Journal of Hazardous Materials*, 92(3): 253-262.
- Khan, T.A.; Mukhlif, A.A.; Khan, E.A. & Sharma, D.K. 2016. Isotherm and kinetics modeling of Pb (II) and Cd (II) adsorptive uptake from aqueous solution by chemically modified green algal biomass. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3): 1-13.
- Kostic, M.; Radovic, M.; Mitrovic, J.; Antonijevic, M.; Bojic, D.; Petrovic, M. & Bojic, A. 2014. Using xanthated *Lagenaria vulgaris* shell biosorbent for removal of Pb (II) ions from wastewater. *J. Iran. Chem. Soc.*, 11: 565–578.
- Kumar, J.N.; Oommen, C. & Kumar, R.N. 2009. Biosorption of heavy metals from aqueous solution by green marine macroalgae from Okha Port, Gulf of Kutch, India. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 6(3): 317-323.
- Lee, S.H. & Park, C.H. 2012. Biosorption of heavy metal ions by brown seaweeds from southern coast of Korea. *Biotechnology and bioprocess engineering*, 17(4): 853-861.
- Lee, Y.C. & Chang, S.P. 2011. The biosorption of heavy metals from aqueous solution by *Spirogyra* and *Cladophora* filamentous macroalgae. *Bioresource technology*, 102(9): 5297-5304.
- Li, QZ.; Chai, L.Y.; Yang, Z.H. & Wang, Q.W. 2009. Kinetics and thermodynamics of Pb (II) adsorption onto modified spent grain from aqueous solutions. *Appl. Surf. Sci.*, 255: 4298–4303.
- Li, Y.H.; Du, Q.; Peng, X.; Wang, D.; Wang, Z.; Xia, Y. & Wei, B., 2011. Physico-chemical characteristics and lead biosorption properties of *Enteromorpha prolifera*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 85(2): 316-322.
- Lodeiro, P.; Barriada, J.L.; Herrero, R. & De Vicente, M.S. 2006. The marine macroalga *Cystoseira baccata* as biosorbent for cadmium (II) and lead (II) removal: kinetic and equilibrium studies. *Environmental pollution*, 142(2): 264-273.
- Lu, H. & Yu, S. 2018. Spatio-temporal variational characteristics analysis of heavy metals pollution in water of the typical northern rivers, China. *J. Hydrol.*, 559: 787–793.
- Madala, S.; Nadavala, S.K.; Vudagandla, S.; Boddu, V.M. & Abburi, K. 2017. Equilibrium, kinetics and thermodynamics of Cadmium (II) biosorption on to composite chitosan biosorbent. *Arabian Journal of Chemistry*, 10:1883-1893.
- Malamisa, S. & Katsou, E. 2013. A review on zinc and nickel adsorption on natural and modified zeolite, bentonite and vermiculite: examination of process parameters, kinetics and isotherms. *J. Hazard. Mater.*, 252–253: 428–461.

- Malakootian, M.; Moussavi, G.H.R. & Toolabi, A. 2012. A Study of kinetics And Biosorption Isotherms of Heavy Metals by Algae *Ulothrix Zonata* from Industrial Wastewater. *Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 19(4): 26-37. (In Persian)
- Medellin-Castillo, N.A.; Padilla-Ortega, E.; Regules-Martínez, M.C.; Leyva-Ramos, R.; Ocampo-Pérez, R. & Carranza-Alvarez, C. 2017. Single and competitive adsorption of Cd (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions onto industrial chili seeds (*Capsicum annuum*) waste. *Sustainable Environment Research*, 27(2): 61-69.
- Meitei, M.D. & Prasad, M.N.V. 2014. Adsorption of Cu (II), Mn (II) and Zn (II) by *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleiden: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Ecol. Eng.*, 71: 308–317.
- National Standard of Iran. No. 1053: 2009. Physical and chemical properties of water. Version 5. 18 p. (In Persian)
- Mohseni, N.; Naeimi, A.S. & Sarmad, j. The role of *Chlorella* sp. In removing lead metal alloys and investigating the parameters affecting them. 2013. Iranian National Conference on Environmental Research. Hamedan. Iran. (In Persian)
- Naeemi, A.S.; Sarmad, J.; Mohseni, N. & Chaibakhsh, N. 2016. Modeling, kinetics and isotherm of lead biosorption by *Chlorella vulgaris*. *Aquatic Physiology and Biotechnology*, 4(1): 85-109. (In Persian)
- Nessim, R.B.; Bassiouny, A.R.; Zaki, H.R.; Moawad, M.N. & Kandeel, K.M. 2011. Biosorption of lead and cadmium using marine algae. *Chemistry and Ecology*, 27(6): 579-594.
- Niakan, N.; Montazer Rahmati, M.M.; Keshtkar, A.R & Dabagh, R. 2008. Screening of Oman Sea brown algae for biosorption of lead metal. 12th National Congress of Chemical Engineering of Iran. Tabriz. Iran. (In Persian)
- Ofomaja, A.E. 2010. Intra particle diffusion process for lead (II) biosorption onto *mansonia* wood sawdust. *Bioresource Technology*, 101: 5868–5876.
- Reddy, D.H.K.; Harinath, Y.; Seshaiyah, K.; Reddy, A.V.R. 2010. Biosorption of Pb (II) from aqueous solutions using chemically modified *Moringa oleifera* tree leaves. *Chem. Eng. J.*, 162: 626–634.
- Samindika, A. 2013. A comprehensive study of Cd (II) removal from aqueous solution via adsorption and solar photocatalysis. *ETDs*, 1783.
- Sarı, A. & Tuzen, M. 2008. Biosorption of Pb (II) and Cd (II) from aqueous solution using green alga (*Ulva lactuca*) biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 152(1): 302-308.
- Sayadi, M.H. & Shekari, H. 2017. Biosorption of cadmium and lead from aqueous solutions using *Spirogyra*. *Journal of Environmental Studies*, 43(3): 379-390. (In Persian)
- Sheng, P.X. Ting, Y.P. & Chen, J.P. 2007. Biosorption of heavy metal ions (Pb, Cu, and Cd) from aqueous solutions by the marine alga *Sargassum* sp. in single-and multiple-metal systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(8): 2438-2444.
- Sheng, P.X.; Ting, Y.P.; Chen, J.P. & Hong, L. 2004. Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms. *Journal of colloid and interface science*, 275(1): 131-141.
- Singh, A.; Kumar, D. & Gaur, J.P. 2008. Removal of Cu (II) and Pb (II) by *Pithophora oedogonia*: sorption, desorption and repeated use of the biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 152(3): 1011-1019.
- Skountzon, P. & Soupioni, M. 2003. Lead (II) up take during baker's yeast production by aerobic fermentation of molasses. *Process Bio chemistry*, 38: 1479-14782.
- Soares, E.V.; Coninck, G.; Duarte, F. & Soares, H.M.V.M. 2002. Use of *Saccharomyces cerevisiae* for Cu^{2+} removal from solution: the advantages of using a flocculent strain. *Biotechnology letters*, 24: 663-666.

- Tabaraki, R.; Nateghi, A. & Ahmady-Asbchin, S. 2014. Biosorption of lead (II) ions on *Sargassum ilicifolium*: Application of response surface methodology. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 93:145-152.
- Tasar, S.; Kaya, F. & O'zer, A. 2014. Biosorption of lead (II) ions from aqueous solution by peanut shells: equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. *J. Environ. Chem. Eng.*, 2: 1018–1026.
- Tong, S.; Schirnding, Y.E.V. & Prapamontol, T. 2000. Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9):1068-77.
- Tunali, S.C.; Abuk, A. & Akar, T. 2006. Removal of lead and copper ions from aqueous solutions by bacterial strain isolated from soil. *Chem. Eng. J.*, 115: 203–211.
- Tüzün, I.; Bayramoğlu, G.; Yalçın, E.; Başaran, G.; Celik, G. & Arica, M.Y. 2005. Equilibrium and kinetic studies on biosorption of Hg (II), Cd (II) and Pb (II) ions onto microalgae *Chlamydomonas reinhardtii*. *Journal of Environmental Management*, 77(2): 85-92.
- Verma, A.; Kumar, S. & Kumar, S. 2016. Biosorption of lead ions from the aqueous solution by *Sargassum filipendula*: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4): 4587-4599.
- Vilar, V.J.; Botelho, C.M. & Boaventura, R.A. 2005. Influence of pH, ionic strength and temperature on lead biosorption by *Gelidium* and agar extraction algal waste. *Process Biochemistry*, 40(10): 3267-3275.
- Wang, G.; Zhang, S.; Yao, P.; Chen, Y.; Xu, X.; Li, T. & Gong, G. 2018. Removal of Pb (II) from aqueous solutions by *Phytolacca americana* L. biomass as a low cost biosorbent. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(1): 99-110.
- Wasewar, K.L. 2010. Adsorption of metals onto tea factory waste: a review. *IJRRAS*, 3(3):303–322.
- Woodard, F. 2006. *Industrial waste treatment handbook*. Woburn: Butterworth-Heinemann, 461.
- Yalçın, S. 2014. The mechanism of heavy metal biosorption on green marine macroalga *Enteromorpha linza*. *Clean Soil Air Water*, 42(3): 251-259.
- Yipmantin, A.; Maldonado, H.J.; Ly, M.; Taulemesse, J.M. & Guibal, E. 2011. Pb (II) and Cd (II) biosorption on *Chondracanthus chamissoi* (a red alga). *Journal of hazardous materials*, 185(2-3): 922-929.
- Yuvaraja, G.; Krishnaiah, N.; Subbaiah, M.V. & Krishnaiah, A. 2014. Biosorption of Pb (II) from aqueous solution by *Solanum melongena* leaf powder as a low-cost biosorbent prepared from agricultural waste. *Colloids Surf*, 114: 75–81.
- Zhang, P.; Qin, C.; Hong, X.; Kang, G.; Qin, M.; Yang, D.; Pang, B.; Li, Y.; He, J. & Dick, R.P. 2018. Risk assessment and source analysis of soil heavy metal pollution from lower reaches of Yellow River irrigation in China. *Sci. Total Environ*, 633: 1136–1147.
- Zhou, Q.; Zhang, J.; Shi, J.; Fu, J. & Jiang, G. 2008. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta*, 606: 135-150.