

حذف آلاینده‌های سرب و کادمیم توسط جاذب گیاهی *Suaeda aegyptiaca* از محیط زیست

راضیه رضوی⁺*

گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

سید حمزه حسینی

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

چکیده: حضور فلزهای سنگین در محیط زیست مشکلات بهداشتی زیادی به وجود می‌آورد. یکی از فناوری‌های موثر برای حذف آنها استفاده از جاذب‌ها است و برخی از این روش‌ها از نقطه نظر اقتصادی، قابلیت دسترسی و قدرت حذف بالا بر سایر راه‌حل‌ها برتری دارد. هدف از این مطالعه بررسی جذب فلزهای سنگین (کادمیم و سرب) توسط اندام هوایی گیاه سیاه‌شور (*Suaeda aegyptiaca*) از محیط‌های آبی به عنوان یک جاذب دوستدار محیط زیست می‌باشد. در این مطالعه از اندام هوایی و عصاره آبی گیاه سیاه‌شور به عنوان جاذب استفاده شد. اندام‌های هوایی گونه سیاه‌شور در مرحله بذردهی از حاشیه مزرعه‌های شهرستان جیرفت برداشت شد. سپس نمونه‌های گیاهی، خشک و عصاره‌گیری با آب انجام شد. آزمایش‌ها در سامانه ناپیوسته محلول در دمای محیط بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی انجام شد. تاثیر پارامترهای مقدار جاذب (جرم جاذب)، غلظت اولیه فلزهای سنگین و زمان تماس مورد بررسی قرار گرفت و هم‌ماهای جذب تعیین شد. میزان بهینه جاذب برای فلزها مقدار ۰/۰۵ بدست آمد. در این شرایط بهینه، راندمان جذب برای سرب ۹۹ درصد و کادمیم ۶۳ درصد و زمان تماس تعادلی ۵۰ دقیقه بود. بررسی‌ها، بیشترین همبستگی را با مدل هم‌ما لانگمویر نشان داد. یافته‌ها نشان داد که، گیاه سیاه‌شور قابلیت بیش‌تری در جذب سرب در مقایسه با کادمیم دارد. براساس فاکتورهای جذب، جذب کادمیم با انرژی بیش‌تری صورت گرفت. با توجه یافته‌های پژوهش حاضر و فراهم بودن ماده گیاهی به‌عنوان علف خودرو و هرز در منطقه جیرفت، می‌توان از آن به‌عنوان جاذب ارزان و مؤثر جهت حذف فلزهای سرب و کادمیم از فاضلاب‌های صنعتی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: جذب، سرب، کادمیم، *Suaeda aegyptiaca*، جاذب دوستدار محیط زیست، گیاه سیاه‌شور.

KEYWORDS: Adsorption, Cd, Pb, *Suaeda aegyptiaca*, Friendly environmental.

مقدمه

مشکل‌های زیست محیطی زیادی می‌شود [1]. فلزهای سنگین با کاربرد فاضلاب‌های شهری، آبیاری با هرزآب‌ها، حشره‌کش‌ها، کودهای شیمیایی، صنایع رنگ‌سازی، کارخانه‌های سیمان، لاستیک‌سازی،

آلودگی روبه افزایش فاضلاب‌های شهری و صنعتی به ترکیبات سمی در اثر توسعه و رشد صنایع مسئله نگران‌کننده‌ای است. به عبارت دیگر، آلودگی منابع آب به عنصرهای سنگین موجب ایجاد

+E-mail: r.razavi@ujiroft.ac.ir

* عهده‌دار مکاتبات

گوی چه مانند تا ۲۰ تایی قرار دارند. سیاه‌شور به‌عنوان علف هرز کشت‌زارها شناخته می‌شود. گل‌دهی آن در تابستان و پاییز و بذردهی در پاییز است [۱۱] قبل از انجام آزمایش‌های مورد نظر، نخست نمونه هرباریومی گونه سیاه‌شور در هرباریوم گروه زیست‌شناسی دانشگاه جیرفت تهیه شد (شماره هرباریومی: ۵۹۷). سپس برای نمونه- برداری، اندام‌های هوایی سیاه‌شور در پاییز ۱۳۹۸ از حاشیه مزارع واقع در روستای باقرآباد، واقع در شهرستان جیرفت برداشت شد.

آماده سازی جاذب

اندام‌های هوایی گیاه سیاه‌شور در مرحله بذردهی برداشت و در ظرف‌های مناسب جمع آوری و به آزمایشگاه انتقال یافت. نمونه‌های گیاهی با آب مقطر شستشو داده شد و سپس با استفاده از آون مدل BMS 55 در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و در آسیاب برقی به اندازه ۱۰۰ مش پودر شدند. محلول‌های آزمایشگاهی از یون‌های فلزهای سنگین سرب و کادمیم با استفاده از نمک‌های نیترات کادمیم و نیترات سرب (نمک‌ها با درصد خلوص ۹۹ درصد) تهیه شد (فراورده شرکت مرک). محلول‌های آزمایشگاهی از یون‌های سنگین سرب و کادمیم (۴۰ ppm) تهیه شد. در انجام مطالعه فاکتورهای موثر بر جذب شامل زمان تماس (۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ دقیقه)، میزان گیاه سیاه‌شور به‌عنوان جاذب (۰، ۰۰۳، ۰۰۵، ۰۰۱، ۰۰۱ گرم) و غلظت فلزها (۴۰ ppm) در نظر گرفته شدند. کلیه آزمایش‌ها در سامانه ناپیوسته و در دمای محیط انجام شد. ابتدا نمونه‌های گیاهی را آسیاب کرده (پودر ۱۰۰ مش) و مقدار مورد نظر را برداشته و درون ظرف آزمایش ریخته و سپس مقدار ۵ میلی‌لیتر از محلول فلزهای سرب و کادمیم به آن اضافه شد و بعد از گذشت مدت زمان مورد نظر آن را صاف کرده و محلول زیر صافی با دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elemer Analyzer 400 اندازه‌گیری شد. همه آزمایش‌ها در شرایط یکسان انجام شدند.

عصاره‌گیری

پس از خشک شدن و توزین اندام‌های هوایی گیاه سیاه‌شور، نمونه‌های گیاهی به ارلن دارای ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد و سر ارلن‌ها با پارافیلیم بسته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق روی دستگاه هم‌زن مغناطیسی قرار گرفت تا استخراج عصاره به‌طور کامل و دلخواه انجام شود. سپس مخلوط حلال و گیاه توسط کاغذ صافی (واتمن) از هم جدا شد. در مرحله بعد، عصاره اولیه وارد دستگاه تقطیر در خلأ (روتاری) شد و در دمای ۸۰ درجه سلسیوس حلال آن‌ها به مدت یک ساعت تبخیر و عصاره‌های تغلیظ شده به دست آمد. پس

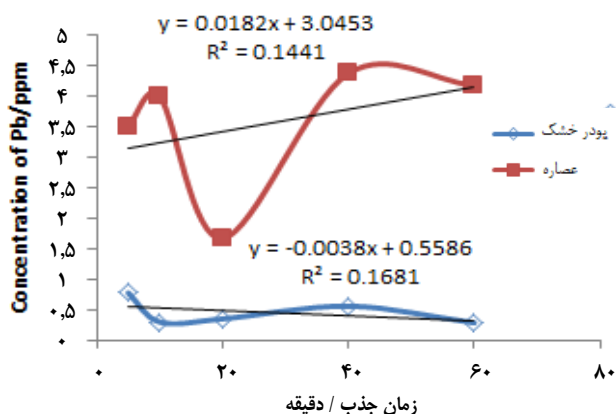
صنایع ذوب فلز، سوخت خودرو و ... وارد محیط زیست می‌شوند [۱]. فلزهای سنگین در طبیعت غیر قابل تجزیه، با سمیت شدید، قابلیت انباشتگی و سرطان‌زایی نه تنها حیات موجودات آبی را به مخاطره می‌اندازد بلکه آب‌های پذیره را برای مصرف‌های گوناگون از جمله آشامیدن نامناسب می‌سازند [۲]. بیان دیگر، عناصر سنگین شکم درد و استفراغ شدید، پوکی استخوان، عقیمی، آسیب به سامانه عصبی مرکزی، آسیب به سامانه ایمنی، ناهنجاری‌های روانی و آسیب احتمالی به دی ان ای و سرطان اشاره نمود [۴]. فلزهای سنگین مانند سرب و کادمیم به واسطه تحریک و ویژگی انباشته‌شدن، سرطان‌زایی و جهش‌زایی، حتی در غلظت‌های پایین نیز برای موجودهای زنده تهدید جدی به شمار می‌روند [۳]. روش‌های متنوعی شامل ته‌نشینی، فیلتراسیون، اکسایش و احیا، تبادل یونی و جداسازی غشا برای حذف فلزهای سنگین وجود دارد. وقتی فلزها در غلظت زیاد و حجم کم محلول می‌باشند این روش‌ها بیش‌تر کم اثر یا هزینه‌بر می‌باشند [۵].

عبدالغنی و همکاران، تحقیقی در سال ۲۰۰۷ در مصر در مورد حذف سرب از محیط‌های آبی با استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت (خاک اره) انجام دادند [۶]. پژوهش‌های زیادی روی حذف سرب از محلول‌های آبی توسط برخی فرآورده‌های جانبی محصول‌های کشاورزی مانند برگ ذرت، خاک اره، پوسته شلتوک اصلاح شده با اسید تارتاریک، پوشال غله و سیوس گندم انجام شده است [۱۰-۷]. به‌طور کلی گزارش‌های بسیاری در زمینه کاربرد جاذب ارزان و طبیعی مانند مواد کربنی و دورریزهای کشاورزی در به‌عنوان گزینه‌های جایگزین فناوری‌های متداول مانند ته‌نشینی، تبادل یونی و استخراج غشایی برای حذف فلزهای سنگین از فاضلاب صنعتی صورت گرفته است [۶-۲]. در همین راستا گیاه سیاه‌شور در منطقه جنوب کرمان به فراوانی پراکنش دارد و بررسی‌های میدانی و مقدماتی این فرضیه را ایجاد کرد که این گیاه می‌تواند جاذب مناسبی برای فلزهای سنگین باشد. بنابراین مطالعه اخیر با هدف بررسی راندمان جذب فلزهای سنگین (سرب و کادمیم) توسط گیاه سیاه‌شور در محلول‌های آزمایشگاهی به‌عنوان یک جاذب در دسترس و ارزان صورت گرفت.

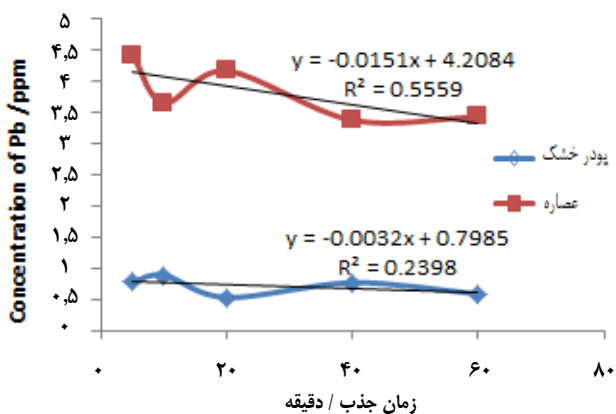
بخش تجربی

گونه سیاه‌شور (*Suaeda aegyptiaca* (Hasselq.) Zohary)

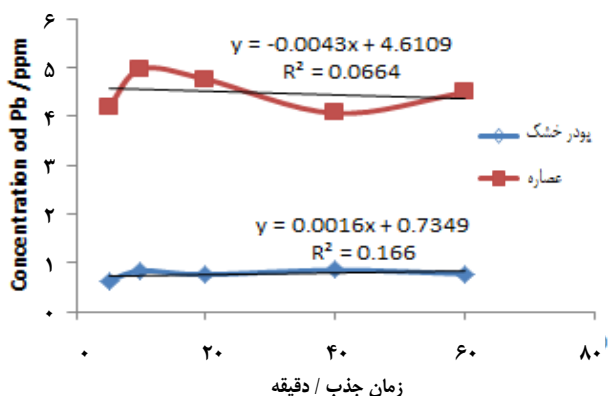
گونه گیاهی سیاه‌شور از خانواده تاج خروس (Amaranthaceae) و با نام *Suaeda aegyptiaca* می‌باشد. سیاه‌شور گیاهی است یک‌ساله یا به ندرت دوساله به ارتفاع تا حدود یک متر، گوشتی بدون کرک، برگ‌ها به طول ۲۵ سانتی‌متر و استوانه‌ای، گل‌ها در دسته‌های



شکل ۱ نمودار غلظت سرب جذب شده بر حسب زمان برای مقادیرهای جاذب ۰/۰۳ میلی گرم



شکل ۲ نمودار غلظت سرب جذب شده بر حسب زمان برای مقادیرهای جاذب ۰/۰۵ میلی گرم



شکل ۳ نمودار غلظت سرب جذب شده بر حسب زمان برای مقادیرهای جاذب ۰/۱ میلی گرم

از خشک شدن کامل عصاره، توسط کاردک آزمایشگاهی کاملاً تراشیده شدند. عصاره حاصل تا زمان انجام آزمایش‌ها در ظرف تیره استریل ریخته شده و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد [۱۲].

نتیجه‌ها و بحث

به منظور بررسی اثرات جاذب بر جذب فلزهای سنگین، بعد از آماده سازی ماده خشک و عصاره اندام هوایی گیاه سیاه شور در جرم‌های مشخص، محلول‌های آماده شده از فلزات سنگین سرب و کادمیم در غلظت اولیه ۴۰ میلی گرم بر لیتر در ظرف مشخص ریخته شد و در مدت زمان‌های مشخص، زمان جذب به محلول‌های فلزهای سنگین داده شد. شکل‌های ۱ تا ۶ مقدار جذب سرب و کادمیم را در غلظت اولیه ۴۰ میلی گرم بر لیتر در مقادیرهای متفاوت از میزان جاذب را نشان می‌دهند. یافته‌های تحقیق حاضر بیانگر این بود که با افزایش زمان جذب، سرعت و میزان جذب آلاینده بیش تر می‌شود. در مقایسه پودر خشک و عصاره اندام هوایی گیاه سیاه‌شور، پودر مقدار جذب بیشتری را نشان داد که این امر می‌تواند به دلیل بیش تر بودن سطح تماس، جذب بیشتر و همچنین ترکیبات موجود در آن باشد. از دیگر نتیجه‌های این تحقیق این بود که که میزان جذب سرب نسبت به کادمیم توسط گیاه سیاه شور بیشتر بود. بدین صورت که میزان جذب سرب توسط گیاه سیاه‌شور ۹۹ درصد و کادمیم ۶۳ درصد بود (شکل ۷). دلیل این تفاوت می‌تواند مربوط به تشکیل کمپلکس‌های قوی تر بین ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه سیاه شور با فلز سرب باشد.

همدماهای جذب به منظور تعریف مقدار جذب شده به ازای واحد جرم ماده جاذب استفاده می‌شوند. جذب در یک سامانه جامد - مایع شامل حذف ماده حل شدنی از محلول و تجمع آن در سطح ماده جامد است. در این حالت بین غلظت ماده حل شدنی موجود در محلول با غلظت آن در سطح ماده جامد یک تعادل پویا وجود دارد. با در نظر گرفتن انواع پیوندهای شیمیایی در سطح جاذب می‌توان نوع جذب را بر روی سطح جاذب مشخص کرد [۵] و همچنین مقدار انرژی جذب را به دست آورد. معادله‌های همدماهای جذب به شرح زیر است:

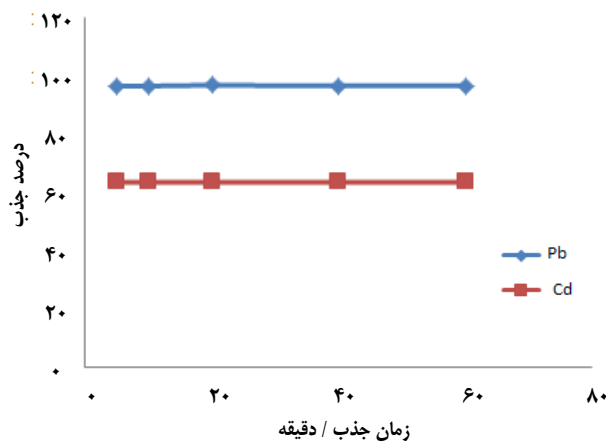
$$q_e = K C_e^{1/n} \quad \text{معادله فروندلیچ}$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{b q_0 C_e} + \frac{1}{q_0} \quad \text{معادله لانگمویر}$$

q_e مقدار میلی‌گرم جذب شده به ازای واحد جرم جاذب، C_e غلظت تعادلی آلاینده، q_0 مقدار میلی‌گرم ماده جذب شده برای ظرفیت تک‌لایه جاذب و ثابت b مربوط به انرژی اتصال است، K و n ثابت‌های وابسته به ظرفیت جذب و شدت جذب می‌باشند.

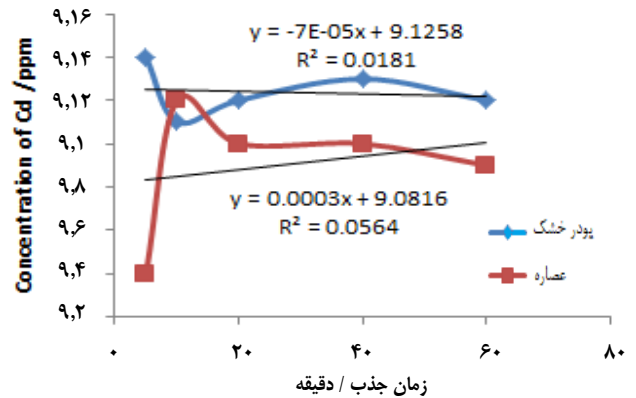
جدول ۱ کمیت های جذب براساس معادله های فروندلیچ و لانگمویر برای فلزهای سرب و کادمیم

نام فلز	همدم لانگمویر			همدم فروندلیچ		
	q _e	b	R ²	K	1/n	R ²
Pb	۲۰/۷۲	۰/۰۰۲۸	۰/۹۶	۰/۰۱۵	۳/۵۲	۰/۹۹
Cd	۲/۸۷	۰/۰۰۳۲	۰/۹۷	۰/۷۴	۱/۱۹	۰/۹۵

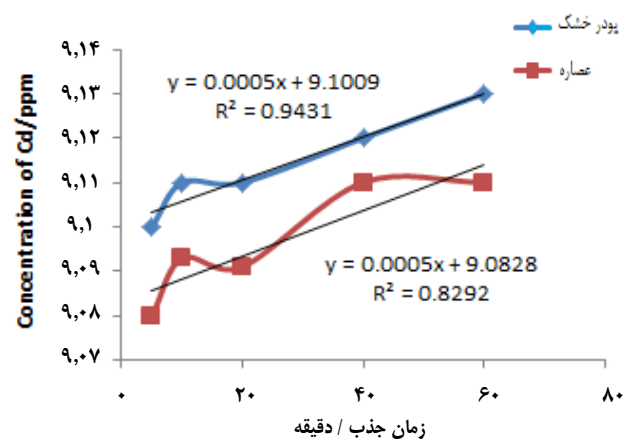


شکل ۷ نمودار درصد جذب جذب برای فلزهای سرب و کادمیم بر حسب زمان جذب

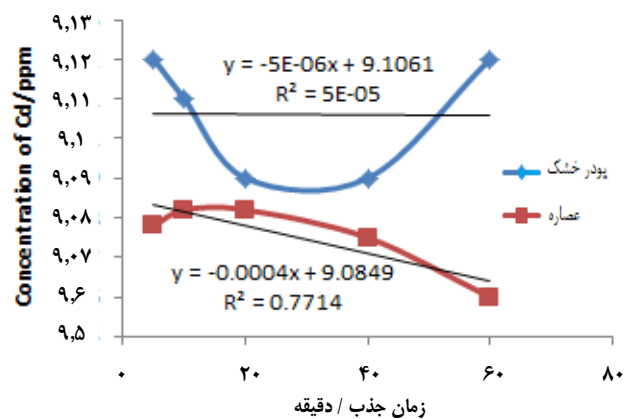
برای بررسی رفتار جذب، همدمهای جذب لانگمویر و فروندلیچ مورد بررسی قرار گرفتند و با توجه و دیدن کمیت های محاسبه شده در جدول ۱ بیشترین همبستگی مربوط به همدم لانگمویر دیده شد که مقدار همبستگی رفتار مدل جذب فلز بر روی جذب را نشان می دهد. با استفاده از نتیجه های اثر زمان تماس بر راندمان جذب (شکل های ۶ تا ۷) می توان بیان کرد که با افزایش زمان تماس جذب با محلول های دارای فلزهای سرب و کادمیم کارایی جذب افزایش یافت. دلیل این امر افزایش تماس و برخورد بیشتر میان جسم جذب و فلزها بود (رفرنس). هر چه ماده وقت کافی برای قرار گرفتن در برابر سطح جذب را داشته باشد اثرات نفوذ بالاتر می رود و مقدار بیشتری از ماده بر روی سطح جذب جذب می شود (رفرنس). مقدارهای مربوط به معادلات به کار رفته برای فلزها نشان می دهد شدت جذب سرب بر روی جذب بسیار بیشتر از کادمیم می باشد، از آنجا که انرژی یونش مربوط به کادمیم بالاتر از فلز سرب می باشد بنابراین فلز سرب فعالیت بیشتری را در جذب شدن از خود نشان می دهد. در همین راستا نمودار شماره ۷ و داده های جدول شماره ۱ این مسئله را تایید می نمایند.



شکل ۴ نمودار غلظت کادمیم جذب شده بر حسب زمان برای مقدارهای جذب ۰/۰۳ میلی گرم



شکل ۵ نمودار غلظت کادمیم جذب شده بر حسب زمان برای مقدارهای جذب ۰/۰۵ میلی گرم



شکل ۶ نمودار غلظت کادمیم جذب شده بر حسب زمان برای مقدارهای جذب ۰/۱ میلی گرم

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور حذف آلاینده‌های فلزی از روش جذب استفاده شد. بدین منظور جاذب دوست‌دار محیط زیست با استفاده از گیاه *s. aegyptiaca* تهیه شد و یافته‌ها حاکی از این است یا که این گیاه جاذب قوی و کم هزینه‌ای برای جذب آلاینده‌های فلزی کادمیم و سرب می‌باشد که علاوه بر داشتن شرایط کشت و برداشت آسان، روش جذب ساده‌ای نیز دارا می‌باشد. البته قدرت جذب این جاذب برای فلز سرب بیش‌تر از کادمیم است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵

نتیجه‌های پژوهش‌های گذشته در حذف فلزهای سنگین از محلول آزمایشگاهی توسط شلتوک برنج و گیاهان دیگری با نتیجه‌های این مطالعه برای زمان تماس پهنه در جذب کادمیم و سرب همخوانی دارد [۸-۶] مطابق نتیجه‌های به‌دست آمده از اثر جرم جاذب بر راندمان جذب، با افزایش جرم جاذب کارایی حذف فلزها نیز افزایش یافت. این امر می‌تواند ناشی از ترکیب‌های سلولزی و لیگنین موجود در دیواره برگ سیاه‌شور، سطح فعال جاذب و عوامل دینامیکی مانند افزایش میزان برخورد و افزایش باندهای آزاد بر روی جاذب باشد که از همدماهای جذب تبعیت می‌کند. در راستای تأیید نتیجه‌های حاضر، یافته‌های عبدالفضلی و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیانگر حذف کادمیم و سرب از محلول آزمایشگاهی توسط گیاه نیل رز می‌باشد [۵].

منابع

- [۱] جهانتاب، اسفندیار، جعفری، محمد، متشعزاده، بابک، طویلی، علی، ضرغام، نصرت‌الله، ارزیابی گونه‌های گیاهی مقاوم به فلزهای سنگین در مناطق نفت‌خیز (مطالعه موردی: پاناز گچساران)، *مجله مرتع*، (۴) ۱۰: ۴۲۵ تا ۴۰۹. (۱۳۹۵).
- [2] Ulmanu M., Marañón E., Fernández Y., Castrillón L., Anger I., Dumitriu D., *Removal of Copper and Cadmium Ions from Diluted Aqueous Solutions by Low Cost and Waste Material Adsorbents, Water, Air, and Soil Pollution*, **142(1-4)**: 357-73 (2003).
- [3] Holan ZR., Volesky B., *Biosorption of Lead and Nickel by Biomass of Marine Algae, Biotechnology and Bioengineering*, **43(11)**: 1001-9 (1994).
- [4] Sari A., Tuzen M., *Biosorption of Cadmium (II) from Aqueous Solution by Red Algae (Ceranium Virgatum): Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies, Journal of Hazardous Materials*, **157(2-3)**: 448 (2008)
- [5] Vilar VJP., Loureiro JM., Botelho Cl., Boaventura RAR., *Continuous Biosorption of Pb/Cu and Pb/Cd in Fixed-Bed Column Using Algae Gelidium and Granulated Agar Extraction Algal Waste, Journal of hazardous materials*, **154(1)**: 1173-82 (2008).
- [6] Abdel-Ghani N., Hefny M., El-Chaghaby G.A., *Removal of Lead from Aqueous Solution Using Low Cost Abundantly Available Adsorbents, Int Journal Environment Science Tech*, **4(1)**: 67-73 (2007).
- [7] Babarinde N.A.A., Babalola J.O., Sanni R.A., *Biosorption of Lead Ions from Aqueous Solution by Maize Leaf, Int. J. Phys Sci*, **1(1)**: 23-6 (2006).
- [8] Farajzadeh MA., Monji AB., *Adsorption Characteristics of Wheat Bran to Wards Heavy Metal Cations, Separation and Purification Technology*, **38(3)**: 197-207 (2004).
- [9] Han R., Zhang J., Zou W., Shi J., Liu H., *Equilibrium Biosorption Isotherm for Lead Ion on Chaff. Journal of Hazardous Materials*, **125(1)**: 266-71 (2005).

[10] Wong KK., Lee CK., Low KS., Haron MJ., Removal of Cu and Pb by Tartaric Acid Modified Rice Husk from Aqueous Solutions, *Chemosphere*, **50(1)**: 23-8 (2003).

[۱۱] فرزانه گلستانی فر؛ سهراب محمودی، "ارزیابی درجه حرارت‌های کاردینال جوانه‌زنی و تأثیر دما بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور اسفناج وحشی (*Atriplex dimorphostegia*)، علف‌شور (*Salsola crassa*) و سیاه‌شور (Suaeda aegyptiaca)" مجله دانشگاه بیرجند، ۱(۱) ۷۱-۸۷ (۱۳۹۴).

[۱۲] آقاجانی، ع.، مرتضوی، س. ع.، طباطبایی یزدی، ف.، شفاف‌ی زنونیان، م.، سعیدی اصل، م.، "تعیین مقادیر ترکیبات فنولی و فعالیت رادیکال گیرندگی عصاره با تکنیک (*Ferulagoangulata*) استخراج شده از برگ‌های گیاه چویل میکروویو و روش غرقابی.، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، (۱۶) ۸۶: ۱۱۹ تا ۱۲۳ (۱۳۹۸).