

حذف سرب و کادمیم از آب توسط نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 پوشش دار شده به روش سبز

فرشته نعمت‌اللهی^{a*}، شهلا مظفری^b، فریبا زمانی هرگلانی^c، مونا زینلی^b

^aاستادیار گروه شیمی، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^bاستادیار گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^cاستادیار مجتمع آزمایشگاهی زکریای رازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: رشد جمعیت، تلاش‌های انسان در راه دستیابی به فن‌آوری‌های نوین، رفاه بیشتر و گسترش صنایع، منجر به ورود مواد خطرناک بی‌شماری به محیط زیست شده است که زندگی تمامی موجودات زنده را مورد تهدید جدی قرار داده است. از مهم‌ترین آلاینده‌ها، یون‌های فلزات سنگین هستند که حذف آن‌ها از منابع آبی بسیار مورد توجه می‌باشد. برای این منظور جاذب‌های مختلفی تهیه و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یکی از کارآمدترین این جاذب‌ها در زمینه حذف آلاینده‌ها از آب نانو ذرات اکسید آهن است. در سال‌های اخیر فعالیت‌های زیادی در زمینه اصلاح سطح این نانوذرات با هدف افزایش کارایی و راندمان جذب صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها: نانوذرات اکسید آهن پوشش‌دار شده با استفاده از عصاره گیاه جاشیر نما تهیه شد. برای بررسی ساختار جاذب مذکور از دستگاه طیف‌سنج زیر قرمز و برای بررسی اندازه ذرات از SEM استفاده گردید. اندازه نانوذرات ۵۲-۶۰ نانومتر تعیین شد.

یافته‌ها: نانوذرات سنتز شده برای استخراج فلزات سنگین سرب و کادمیم بعد از بهینه‌سازی شرایط در pH=۶ با استفاده از ۲۰ میلی‌گرم نانوذرات اکسید آهن پوشش‌دار شده و مدت زمان ۴ دقیقه در نمونه‌های آب مورد استفاده قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: نانوذرات سنتز شده با عصاره گیاه به علت اصلاح شدن سطح نانوذرات با اجزاء متشکله گیاه قادر به پیوند با یون‌های فلزات سنگین و در نتیجه افزایش کارایی در حذف فلزات سنگین می‌گردد. گستره‌ای از غلظت که در آن استخراج گونه‌ها بطور کمی قابل اندازه‌گیری باشد، ۱-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و حد تشخیص روش انجام شده برای سنجش میزان سرب ۰/۰۱۹ میلی‌گرم بر لیتر و برای کادمیم ۰/۰۴۳ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های آب، سرب، شیمی سبز، کادمیم، گیاه جاشیرنما، نانوذرات مغناطیسی آهن

مقدمه

گسترش آلاینده‌هایی که از طریق پساب‌ها وارد محیط زیست می‌شوند، برای انسان و سایر موجودات زنده مضر می‌باشند و در این میان آلودگی آب به‌وسیله یون‌های فلزات سنگین به‌دلیل ماهیت سمی و تمایل برای تجمع زیستی، یک تهدید جدی برای محیط زیست تلقی می‌شود. افزایش غلظت این نوع آلاینده‌ها با افزایش فعالیت‌های صنعتی انسان رابطه مستقیم داشته و پیوسته اثرات زیان بار آن‌ها بر محیط زیست و سلامت انسان‌ها روشن‌تر شده است (Liu et al., 2007).

به‌تازگی تلاش‌های زیادی جهت ترویج استفاده از روش‌های شیمی سبز و مواد دوستدار محیط زیست در تهیه نانومواد، انجام شده است، این تلاش‌ها شامل گسترش استفاده از عصاره گیاهان یا میوه‌ها به‌عنوان پایدارکننده و عوامل پوشاننده، جهت کنترل رشد بلورها بوده است. روش سبز، ترکیبات شیمیایی بی‌خطر، انتخاب روش‌های سنتزی مناسب برای جلوگیری از آلودگی و طراحی ایمن را در برمی‌گیرد. روش‌های سبز بهره گرفتن از اصول و قواعدی است که بتواند تولید ترکیبات مخاطره‌آمیز را در ساخت مصنوعات و محصولات شیمیایی کاهش داده و یا حذف کند. (Bailey et al., 1999)

به‌طور کلی، مواد نانو در مقایسه با مواد دانه درشت دارای خواص ویژه‌ای هستند. زمانی که اندازه مواد به زیر ۱۰۰ nm کاهش می‌یابد، براساس سازوکارهای کوانتومی، خواص غیرمعمولی نشان می‌دهند که می‌تواند ویژگی‌هایی مثل رسانایی، انتقال گرمایی، دمای ذوب، ویژگی‌های نوری و مغناطیسی را تغییر دهد. (Macanas, 2011) نانوفناوری، به‌دلیل ویژگی‌ای منحصر به فرد در تولید محصولات، به‌عنوان دومین انقلاب صنعتی در نظر گرفته می‌شود. کاهش اندازه نانوذرات منجر به افزایش کسر حجمی سطح اتم‌ها و ایجاد خواص ویژه‌ای می‌شود که بررسی شیمی سطح آن‌ها را ضروری می‌سازد. (Giannazzo, 2011).

اخیراً، ساخت نانوذرات با ویژگی‌های مغناطیسی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. استفاده از عوامل پایدارکننده یا مواد فعال در سطح، با حفظ اندازه و کنترل شکل نانوذرات مانع از تجمع ناخواسته آن‌ها می‌شود (Bowker, 2005).

تولید صنعتی نانوذرات فلزی در آینده نزدیک ممکن است ضایعاتی در محیط ایجاد کند که از راه دستگاه

حذف سرب و کادمیم از آب توسط نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 پوشش‌دار شده

تنفسی، تماس پوستی یا بلع از راه دستگاه گوارشی جذب شود. با توجه به خطر نانوذرات فلزی، استفاده از این مواد در واکنش‌های شیمی سبز چالش برانگیز است (Dabrowski et al., 2004).

نانوذرات مغناطیسی به دلیل کاربردهای گسترده از جمله کاربردهای کاتالیزوری، زیست فناوری و زیست محیطی توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. بنابراین لازم است تا راهبردهایی برای پایدار کردن شیمیایی آن‌ها در برابر تجزیه (مثل اکسایش) در طول سنتز یا پس از آن و در طول دوره مصرف توسعه یابد.

نانو ذرات مغناطیسی دارای خاصیت‌های مغناطیسی، غیر سمی هستند و ساخت آن‌ها آسان است که سبب شده است برای کاربردهای متنوعی، از جمله تصویب‌برداری رزونانس مغناطیسی، استخراج، حسگر زیست و کاتالیزور جذابیت پیدا کند (Willner and Katz, 2003).

در میان این کاربردها، اصلاح سطح Fe_3O_4 یک گام حیاتی جهت ارائه کنترل‌کننده‌های شیمیایی برای واکنش با مولکول‌های زیستی است. از طرف دیگر، ثبات نانوذرات، قابلیت و سازگاری زیستی آن‌ها را در کاربرد طبیعی افزایش می‌دهد. به‌همین دلیل بررسی و کاربرد اصلاح‌کننده‌های مختلف نانوذرات مغناطیسی به شدت مورد توجه می‌باشد (Bai et al., 2010).

تجمع فلزات سنگین در آب، هوا و خاک، یک مشکل زیست محیطی بسیار مهم می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که قدرت کاهندگی مواد طبیعی با مواد تجاری برابری می‌کند، از طرفی ساخت نانومواد با استفاده از واکنش‌گرهای طبیعی سبب تولید نانو ساختارهای جدید و بسیار متنوع خواهد شد.

در دهه‌های اخیر، به علت استفاده روزافزون از فرایندهای صنعتی، آلودگی محیط زیست و خطر قرار گرفتن انسان در معرض فلزات سنگین به طور چشمگیری افزایش یافته است. برخی از فلزات سنگین مثل سرب، کروم و جیوه حتی در غلظت‌های کم، تهدید جدی برای بهداشت عمومی و اکوسیستم به شمار می‌آیند (Babel and Kurniawan, 2003).

با توجه به آسیب‌های جدی این فلزات برای سلامتی، حذف آن‌ها از محیط زیست، به ویژه از آب آشامیدنی، توجه

- دستگاه pH متر ساخت شرکت Metrom مدل 744 Swiss جهت اندازه‌گیری pH محلول‌ها.

- عصاره‌گیری از نمونه

مقدار ۱۰ گرم پودر گیاه خشک شده را با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب، به روش خیساندن و در مدت ۲۴ ساعت عصاره‌گیری شد. پس از صاف کردن عصاره به‌وسیله کاغذ واتمن شماره یک، تا زمان انجام سایر مراحل آزمایش در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید.

- سنتز نانوذرات

مقدار ۲/۹۲ گرم از ترکیب $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ و ۱/۰۷۵ گرم از $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱ ساعت تحت گاز نیتروژن هم‌زده شد. حدود ۱۰ میلی‌لیتر از محلول آمونیاک به محلول در حال هم‌زدن اضافه شد سپس عصاره گیاه جاشیر نما جهت پوشش‌دار کردن نانوذرات مغناطیسی به محلول اضافه شد و مدت ۳۰ دقیقه تحت گاز نیتروژن هم‌زده شد. محلول سیاه رنگ حاصل به مدت ۱ ساعت تحت دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. رسوب جامد حاصل، توسط آهن‌ربا جدا و سه بار با آب مقطر و اتانول شسته و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد (Mahdavi et al., 2013).

- بررسی میزان جذب سرب و کادمیم

ابتدا محلول استاندارد ۵۰ ppm سرب و ۱۰۰ ppm کادمیم تهیه گردید. سپس ۲۰ میلی‌لیتر از استاندارد فلز مورد نظریه ۲۰ میلی‌گرم نانوذرات مغناطیسی پوشش‌دار با گیاه اضافه گردید. سپس pH محیط توسط آمونیاک در $pH=6$ تنظیم شد و به مدت ۴ دقیقه در دمای محیط روی هم‌زن برای جذب فلز روی نانوذرات مغناطیسی قرار گرفت سپس محلول به مدت ۲۰ دقیقه با ۱۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و نانوذرات از محلول جدا شدند و مقدار فلز باقی‌مانده در محلول توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Wang et al., 2012).

- بهینه‌سازی شرایط استخراج

جهت رسیدن به شرایط بهینه استخراج پارامترهای

زیادی را به خود جلب کرده است. روش‌های قدیمی برای حذف این فلزات از آب آشامیدنی عبارتند از: روش‌های رسوب‌دهی شیمیایی، روش جذب، تبادل یونی، اسمز معکوس و روش‌های الکتروشیمیایی (Ritchie and Bhattacharyya, 2002). روش جذب، به علت بازیابی آسان و سازگاری گسترده آن با شرایط واکنش، مناسب‌ترین این روش‌هاست (Grimm et al., 1998).

مواد و روش‌ها

- مواد

آهن (II) کلرید، آهن (III) کلرید، آمونیاک غلیظ (v/v) ۳۰٪، کادمیم نترات و سرب نترات از شرکت مرک تهیه گردید. گیاه جاشیر نما^۱ از مناطق شمالی ایران از کوه‌پایه‌های جواهر دره و در نیمه اول فروردین جمع‌آوری شده و در شرایط مناسب و به دور از نور خورشید خشک گردید و با آسیاب برقی به‌صورت پودر درآورده شد. نمونه حقیقی آب شهری از اطراف اراضی کشاورزی در ورامین تهیه گردید و جهت تعیین میزان سرب و کادمیم در آن‌ها، استخراج با روش پیشنهادی تحت شرایط بهینه انجام پذیرفت.

- دستگاه‌ها

- دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی ساخت شرکت Varian با مدل AA-۲۰۰ مجهز به تصحیح زمینه با لامپ دوتریم و لامپ کاتد توخالی سرب با شدت جریان ۵/۰ میلی‌آمپر و طول موج اندازه‌گیری ۲۱۷/۰ نانومتر و طول شکاف عبور نور ۱ نانومتر و لامپ کاتد توخالی کادمیم با شدت جریان ۴/۰ میلی‌آمپر و طول موج اندازه‌گیری ۲۲۸/۸ نانومتر و طول شکاف عبور نور ۰/۵ نانومتر جهت آنالیز سرب و کادمیم در نمونه‌ها.

- طیف‌سنجی زیر قرمز (IR) به وسیله دستگاه Thermo Nicolet Nexus 870 American برای شناسایی وجود گروه‌های عاملی و ساختار نانوذرات.

- دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM) مدل Mira 3, Tescan برای اندازه‌گیری اندازه ذرات.

- دستگاه سانتریفوژ مدل Sanyo Gallen Kamp 200 کشور UK.

¹ Polylophium Involucratum (Pall.) Boiss

حذف سرب و کادمیم از آب توسط نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 پوشش‌دار شده

موتر در فرایند جذب نظیر pH، زمان جذب و وزن نانو-ذرات مغناطیسی پوشش‌دار بررسی شدند. برای بررسی شرایط بهینه از روش آنالیز تک فاکتوری پی در پی استفاده شد. در این روش زمانی که یکی از فاکتورها را تغییر می‌دهیم سایر فاکتورها در مقدار بهینه خود ثابت باقی می‌مانند.

pH - -
۲۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد فلز مورد نظر در محدوده pHهای مختلف تهیه گردید و اندازه‌گیری سرب و کادمیم روی آن‌ها انجام گرفت.

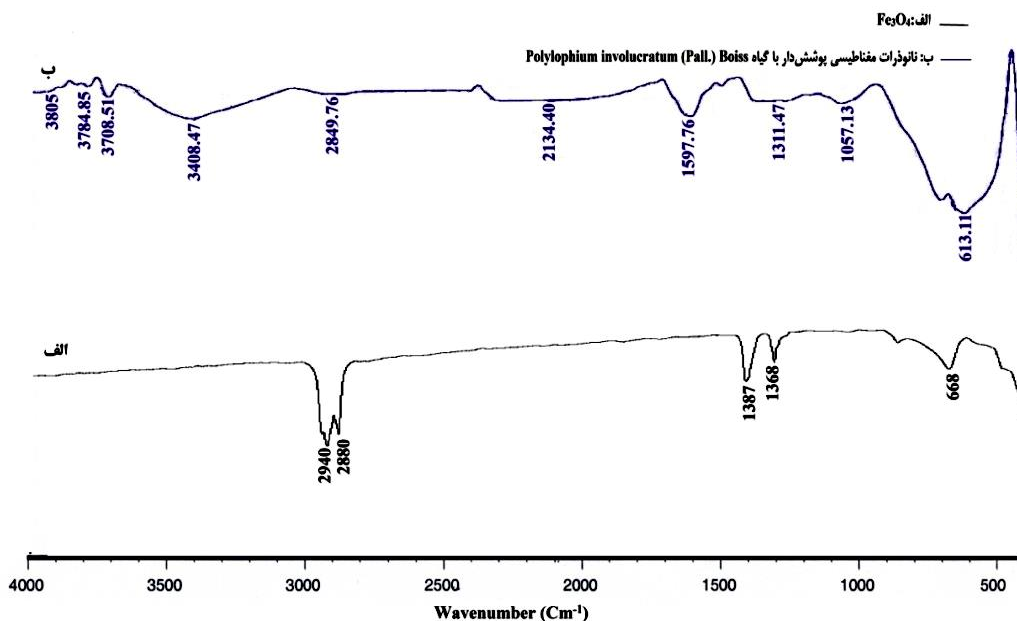
یافته‌ها
- بررسی خصوصیات نانوذرات مغناطیسی پوشش‌دار شده

برای شناسایی و تعیین اندازه نانوذرات حاصله از طیف سنجی زیر قرمز، پراش اشعه ایکس^۱ و تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی^۲ استفاده شد. نمودار ارائه شده در شکل ۱ مربوط به طیف IR، Fe_3O_4 و نانوذرات مغناطیسی پوشش‌دار با گیاه جاشیرنما می‌باشند. در شکل ۱- الف، پیک موجود در ناحیه 668 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کشش Fe-O می‌باشد که پیک

اختصاصی Fe_3O_4 است. حضور این پیک نشان می‌دهد که ساختار Fe_3O_4 تشکیل شده است. پیک مشاهده شده در ناحیه 1368 cm^{-1} و 1387 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات خمشی گروه OH- جذب شده به وسیله نانوذرات Fe_3O_4 است که با پیوند هیدروژنی متصل شده‌اند. پیک‌هایی که در ناحیه 2880 cm^{-1} تا 2940 cm^{-1} مشاهده می‌شوند مربوط به ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن گروه‌های OH- جذب شده به وسیله نانوذرات Fe_3O_4 می‌باشند. در شکل (۱- ب)، پیک در ناحیه 613.11 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی Fe-O می‌باشد. پیک مشاهده شده در ناحیه 1057.13 cm^{-1} تا 1311.47 cm^{-1} مربوط به اتصال گیاه جاشیرنما با گروه OH- می‌باشند که اثبات سنتز موفقیت‌آمیز نانوذرات مغناطیسی پوشش‌دار با گیاه جاشیرنما می‌باشد. همچنین پیک‌هایی که در ناحیه 3408.47 cm^{-1} تا 3708.51 cm^{-1} مشاهده می‌شوند مربوط به ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن گروه‌های OH- جذب شده به وسیله نانوذرات Fe_3O_4 می‌باشند (Mahdavi et al., 2013).

شکل ۲ مربوط به طیف XRD می‌باشد که با توجه به

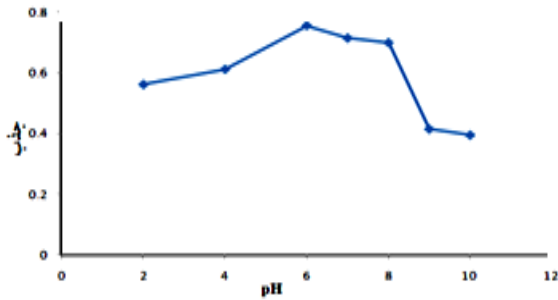
الگوی موجود در کتابخانه دستگاه تشکیل نانو ذرات اکسید آهن با فرمول Fe_3O_4 تایید گردید.



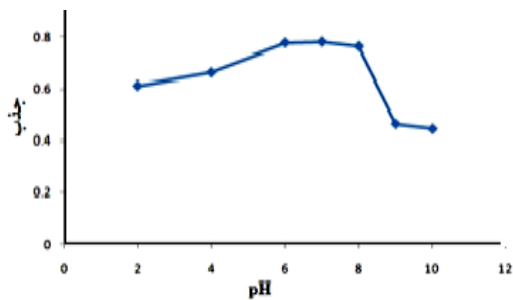
شکل ۱- الف: Fe_3O_4 طیف زیر قرمز نانوذرات مغناطیسی پوشش‌دار با عصاره گیاه جاشیرنما

¹ X-ray Diffraction (XRD)

² Field Emission Electron Scanning Microscopy



نمودار ۱- تاثیر pH بر جذب Pb (II) با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر محلول اولیه با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب با ۲۰ میلی‌گرم جاذب و زمان تماس ۴ دقیقه



نمودار ۲- اثر pH بر جذب Cd (II) با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر محلول اولیه با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم با ۲۰ میلی‌گرم جاذب و زمان تماس ۴ دقیقه

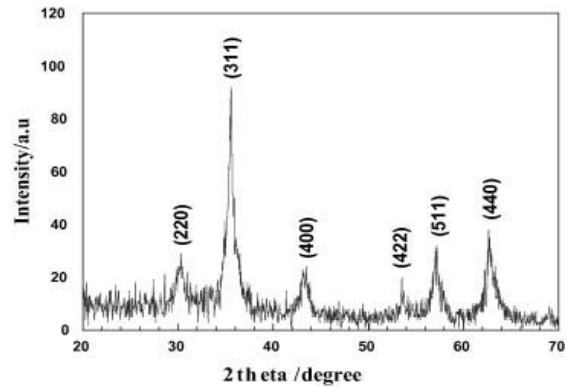
۱۰۳

- اثر زمان جذب

برای بررسی اثر زمان جذب، محلول سرب و کادمیم با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در pH بهینه آماده شد و در بازه‌های زمانی مشخص (۵-۰) همزده شد. بعد از هر مدت زمان مشخص محلول سانتریفوژ شد و توسط دستگاه جذب اتمی مقدار فلز اندازه‌گیری شد. در نمودارهای ۳ و ۴ نتایج بهینه‌سازی زمان جذب نشان داده شده است. برطبق نتایج به‌دست آمده بالاترین زمان جذب سرب و کادمیم در زمان ۴ دقیقه به‌دست آمد.

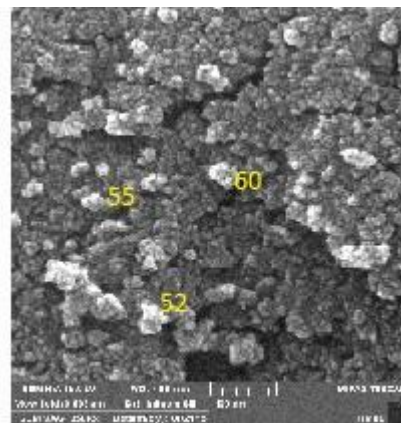
- اثر مقدار نانوذرات مغناطیسی

اثر مقدار نانوذرات مغناطیسی با گیاه برای جداسازی فلز مورد نظر از ۲۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب و کادمیم در ۶/۵ و ۶ pH مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن در نمودارهای ۵ و ۶ آمده است. بالاترین جذب هنگامی به‌دست آمد که مقدار جاذب سنتز شده ۲۰ میلی‌گرم بود. لذا این مقدار به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد.



شکل ۲- طیف حاصله از دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) نانوذرات سنتز شده

شکل ۳ مربوط به تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی نانوذرات مغناطیسی پوشش‌دار با گیاه جاشیر نما را نشان می‌دهد. این تصاویر تشکیل موفقیت آمیز نانوذرات را در ابعاد نانومتر نشان می‌دهد. نقاطی که با رنگ روشن نمایان می‌گردد، بیانگر تشکیل نانوذرات اکسید آهن می‌باشد.



شکل ۳- تصاویر SEM نانوذرات مغناطیسی پوشش‌دار با گیاه جاشیر نما

میزان جذب فلزات سنگین سرب و کادمیم بر حسب تغییرات در pH در نمودارهای ۱ و ۲، بر اساس زمان تماس در نمودارهای ۳ و ۴ و بر اساس مقدار جاذب در نمودارهای ۵ و ۶ نمایش داده شده‌اند.

- اثر pH

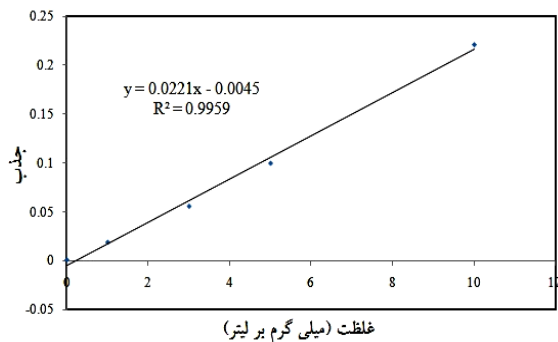
برطبق نتایج به‌دست آمده در نمودارهای ۱ و ۲ بالاترین جذب سرب در ۶ pH و بالاترین جذب کادمیم در ۶/۵ pH به‌دست آمد.

حذف سرب و کادمیم از آب توسط نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 پوشش‌دار شده

در این مرحله برای معتبرسازی روش استخراجی انجام شده پارامترهای تجزیه‌ای مانند حد تشخیص، گستره خطی و ماکزیم ظرفیت جذب بررسی شدند. پس از رسم منحنی درجه‌بندی نمودارهای ۷ و ۸، معادله خط، ضریب تعیین (R^2) و حد تشخیص (LOD) تعیین شد که در جدول ۱ به طور خلاصه نشان داده شده‌اند.

- گستره خطی

تعیین گستره‌ای از غلظت که در آن استخراج گونه‌ها به طور کمی انجام می‌پذیرد و ارتباط خطی بین سیگنال اندازه‌گیری شده و غلظت گونه وجود دارد، الزامی می‌باشد. برای رسم منحنی درجه‌بندی محلول‌هایی با غلظت‌های مختلفی از سرب در گستره غلظتی ۰/۰۰ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (با ۴ غلظت مختلف) تهیه و در شرایط بهینه، استخراج از این محلول‌ها انجام پذیرفت. مشاهده گردید که در محدوده مورد بررسی منحنی خطی می‌باشد. نمودار ۷ منحنی درجه‌بندی را برای سرب و نمودار ۸ منحنی درجه‌بندی را برای کادمیم در گستره ۰/۰۰-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد.

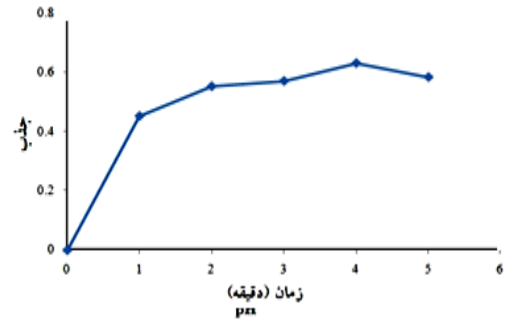


نمودار ۷- منحنی درجه‌بندی در گستره غلظتی ۰/۰-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب

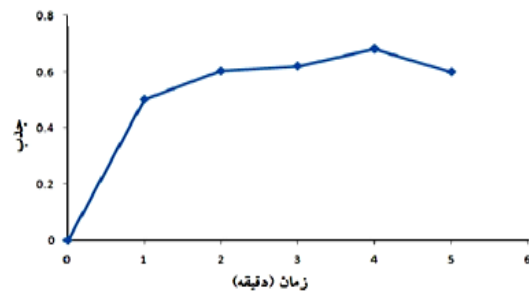
مشاهده می‌شود که در گستره ۰/۰ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر منحنی درجه‌بندی با ضریب تعیین بالاتر از ۰/۹۹ خطی است.

- حد تشخیص (LOD):

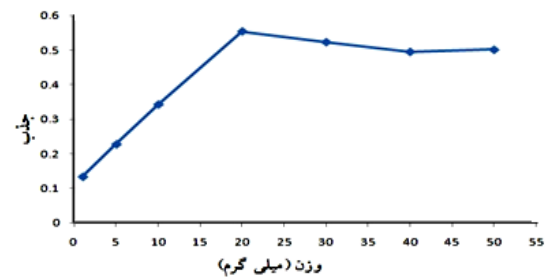
پس از رسم منحنی درجه‌بندی، حد تشخیص از رابطه $LOD = \frac{3S_b}{m}$ محاسبه گردید که برای سرب ۰/۰۱۹ میلی‌گرم بر لیتر و برای کادمیم ۰/۰۴۳ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد.



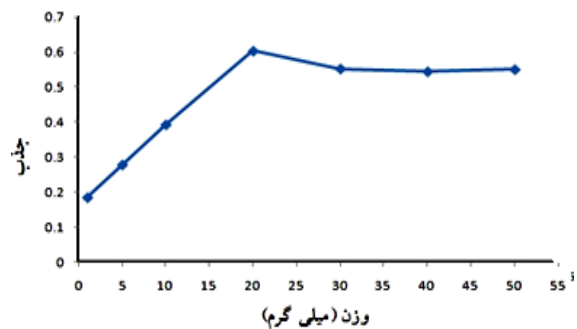
نمودار ۳- اثر زمان تماس بر جذب $Pb(II)$ با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر محلول اولیه با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب و ۲۰ میلی‌گرم جاذب



نمودار ۴- اثر زمان تماس بر جذب $Cd(II)$ با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر محلول اولیه با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم و ۲۰ میلی‌گرم جاذب



نمودار ۵- اثر مقدار نانوذرات مغناطیسی بر جذب $Pb(II)$ با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر محلول اولیه با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب و زمان تماس ۴ دقیقه



نمودار ۶- اثر مقدار نانوذرات مغناطیسی بر جذب $Cd(II)$ با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر محلول اولیه با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم و زمان تماس ۴ دقیقه

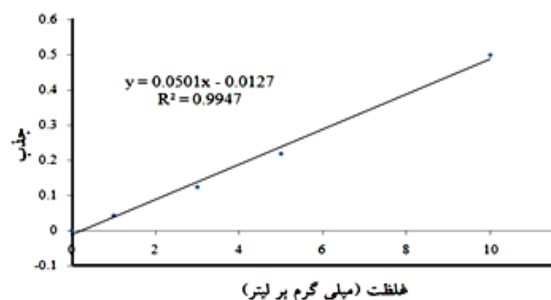
نتیجه‌گیری

عامل دار کردن نانوذرات اکسید آهن توسط عصاره گیاه جاشیرنما، تمایل ایجاد واکنش و تشکیل پیوند بین فلزات سنگین و اکسید آهن را افزایش داده است. گروه عاملی OH - عامل این بهبودی گزارش شده است. بیشترین میزان کارایی حذف در pH تقریباً خنثی، مقدار ۲۰ میلی‌گرم نانوجاذب و مدت زمان ۴ دقیقه حاصل شد. احتمالاً در این pH، اتصالات بهتری بین فلزات سنگین و عامل‌های متصل به نانوذرات ایجاد میشود.

جداسازی آلودگی‌های اب به روش جذب، به علت سازگاری با محیط زیست و همچنین سهولت در واکنش، مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گرفت. روش پوشش‌دار کردن نانوذرات با گیاه مذکور، برای استخراج سرب و کادمیم از نمونه‌های مختلف آب به عنوان یک روش نوین دارای مزایای بسیاری از جمله زمان استخراج بسیار کوتاه، هزینه پایین، سهولت کاربرد، دقت و بازیابی بالا و همچنین سادگی روش و هزینه پایین جاذب تهیه شده، امکان تولید آن را از نظر اقتصادی بسیار مطلوب می‌سازد.

از سوی دیگر، با توجه به گرایش روز افزون به سمت شیمی سبز و به‌کارگیری ترکیبات سازگارتر با محیط‌های طبیعی، استفاده از جاذب به‌کار رفته در این تحقیق می‌تواند به گسترش دانش ما از جاذب‌های زیست تخریب‌ناپذیر و دوستدار محیط‌زیست منتهی شود

این راهبردها باید نه تنها ویژگی‌های مورد انتظار از مواد را که توسط کاربردهای علمی بعدی حاصل می‌شود، برآورده کند بلکه باید بر ایمنی مواد از دو جنبه محیط زیستی و سلامتی هم تمرکز کند. آخرین نکته اهمیت زیادی برای توسعه فناوری نانو و علم نانو دارد.



نمودار ۸- منحنی درجه‌بندی در گستره غلظتی ۱۰-۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم

جدول ۱- برخی پارامترهای آماری برای روش استخراج Pb (II) و Cd (II) و اندازه‌گیری با روش جذب اتمی شعله‌ای

Analyte	Regression equation	R ²	LOD (میلی‌گرم بر لیتر)
Pb (II)	$-0.0045 X + 0.2217 Y =$	۰/۹۹۵	۰/۰۱۹
Cd (II)	$-0.0127 X + 0.501 Y =$	۰/۹۹۴	۰/۰۴۳

بحث

نتایج حاصل از تحقیق انجام شده با برخی از تحقیقات پیشین در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تحقیق انجام شده از نظر مدت زمان لازم جهت استخراج فلزات سنگین و حد تشخیص، نسبت به روش‌های مشابه، ارجحیت دارد، درحالی‌که از نظر گستره خطی نیازه اصلاح و بررسی‌های بیشتر دارد.

همچنین در روش‌های مقایسه‌ای موجود در جدول ۲ باید هزینه گزاف تهیه دستگاه را نیز در مقایسه با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای در نظر گرفت.

همچنین استفاده از گیاه جاشیرنما که از گیاهان بومی و خودرو در شمال ایران می‌باشد از نظر کاهش هزینه و در دسترس بودن از مزایای تحقیق انجام شده می‌باشد.

جدول ۲- مقایسه نتایج حاصل از تحقیق انجام شده با برخی از تحقیقات پیشین

منبع	حد تشخیص mg/L	زمان استخراج (min)	گستره خطی mg/L	روش اندازه‌گیری	روش استخراج	نوع نمونه
تحقیق انجام شده	۱	۴	۱-۱۰	جذب اتمی شعله‌ای	نانو ذرات اکسید آهن	آب لوله کشی
(Faraji et al., 2010)	۲۰	۱	۱-۴۰۰	ICP	SPME	آب لوله کشی
(Ge et al., 2012)	گزارش نشده	۴۵	۱-۲۰۰	جذب اتمی شعله‌ای	نانو ذرات اکسید آهن و سیلیس	آب رودخانه
(Zhang et al., 2011)	۱۰	۳۰	گزارش نشده	جذب اتمی شعله‌ای	نانو ذرات اکسید آهن	آب رودخانه

- Grimm, J., Bessarabov, D. & Sanderson, R. (1998). Review of Electro-Assisted Methods for Water Purification, *Desalination*, 115, 285–294.
- Liu, X., Hu, Q., Fang, Z., Zhang, X. & Zhang, B. (2007). Magnetic chitosan nanocomposites a useful recyclable tool for heavy metal ion removal, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 58, 3-7.
- Macanas, J. (2011). Ion-exchange Assisted Synthesis of Polymer-Stabilized Metal Nanoparticles, Solvent Extraction and Ion Exchange, *A Series of Advances*, Taylor and Francis, Chap. 1, 20.
- Mahdavi, M., Namvar, F., Bin Ahmad, M. & Mohamad, R. (2013). Green Biosynthesis and Characterization of Magnetic Iron Oxide (Fe_3O_4) Nanoparticles Using Seaweed (*Sargassum muticum*) Aqueous Extract, *Molecules*, 18, 5954-5964
- Ritchie, S. M. C. & Bhattacharyya, D. (2002). Membrane-Based Hybrid Processes for High Water Recovery and Selective Inorganic Pollutant Separation, *J. Hazard. Mater.*, 92, 21.
- Wang, L., Jianchen Li, J., Jianga, Q. & Zhao, L. (2012). Water-soluble Fe_3O_4 nanoparticles with high solubility for removal of heavy-metal ions from waste water, *Dalton Trans.*, 41, 4544-4552.
- Willner, E. & Katz, E. (2003). Magnetic Control of Electrocatalytic and Bioelectrocatalytic Processes, *Chem. Int. Ed.*, 42, 4576–4588.
- Zhang, M., Zhang, Zh., Liu, Y., Yang, X., Luo, L., Chen, J. & Yao, Sh. (2011). Preparation of core-shell magnetic ion-imprinted polymer for selective extraction of Pb (II) from environmental samples, *Chem. Engineering J.*, 178, 443-450.
- Babel, S. & Kurniawan, T. A. (2003). Low-cost Adsorbents for Heavy Metals Uptake from Contaminated Water: a Review, *Journal of Hazardous Material*, 97, 219–243
- Bai, H., Zhou, Q., Xie, G. & Xiao, J. (2010). Temperature-controlled ionic liquid-liquid-phase microextraction for the pre-concentration of lead from environmental samples prior to flame atomic absorption spectrometry, *Talanta*, 80, 1638–1642.
- Bailey, S. E., Olin, T. J., Bricka, R. M. & Adrian, D. D. (1999). A Review of Potentially Low-Cost Sorbents for Heavy Metals, *Water Res.*, 33, 2469–2479.
- Bowker, M. (2005). A Propective: Surface Science and Catalysis at the Nanoscale, *Surf. Sci.*, 603, 2359-2362.
- Dabrowski, A., Hubicki, Z., Podkoscielny, P. & Robens, E. (2004). Selective Removal of The Heavy Metal Ions from Waters and Industrial Wastewaters by Ion-Exchange Method, *Chemosphere.*, 56, 91–106.
- Faraji, M., Yamini Y., Saleh, A., Rezaee, M., Ghambarian, M. & Hassani, R. (2010). Nanoparticle based solid-phase extraction procedure followed by flow injection inductively coupled plasma-optical emission spectrometry to determine some heavy metal ions in water samples, *Anal. Chim. Acta*, 659, 172–177.
- Ge, F., Li, M., Hui, Y. & Zhao, B. X. (2012). Effective removal of heavy metal ions Cd^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} from aqueous solution by polymer-modified magnetic nanoparticles, *J. Hazard.*, 211-212, 366-372.
- Giannazzo, F. (2011). Advanced Materials Nanocharacterization, *Nanoscale Res. Lett.*, 6, 107-108.