بررسی قابلیت انباشتگی زیستی و تثبیت آرسنیک و برخی فلزات سنگین توسط گونه گون پنبه‌ای (*Astragalus gossypinus*)

رضوان داودپور[۱]، سهیل سبحان اردکانی[۱*]، مهرداد چراغی[۱]، نوراله عبدی[۲] و بهاره لرستانی[۱]

[۱] ایران، همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، گروه محیط‌زیست

۲ ایران، اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه مرتع و آبخیزداری

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۵

چکیده

امروزه روش‌های مختلفی برای کاهش عوارض ناشی از آلودگی فلزات سنگین در خاک به‌عنوان یکی از خطرناک‌ترین انواع آلودگی محیط‌زیستی پیشنهاد شده است، که ازجمله می‌توان به گیاه‌پالایی به‌عنوان یک فناوری‌ساده، کم هزینه و سازگار با محیط زیست اشاره کرد. لذا، دراین پژوهش قابلیت انباشتگی زیستی و تثبیت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل توسط گونه گون پنبه‌ای (*Astraglus gossypinus*) رشد یافته در استان مرکزی در سال ۱۳۹۵ به‌منظور امکان‌سنجی معرفی گونه ابرانباشتگر فلزات سنگین خاک مورد ارزیابی قرارگرفت. پس از جمع‌آوری ۴۸ نمونه خاک، ۴۸ نمونه گون پنبه‌ای و آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها در آزمایشگاه، محتوی فلزات در نمونه‌ها تعیین شد. از طرفی فاکتور انباشتگی زیستی و فاکتور انتقال عناصر نیز محاسبه شد. پردازش آماری داده‌ها نیز توسط نرم‌افزار SPSS انجام یافت. نتایج نشان داد که میانگین غلظت آرسنیک، روی، سرب و نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم) در نمونه‌های خاک به ترتیب برابر با ۱۰/۱، ۱۶۹، ۴۱/۲ و ۵۰/۵، در نمونه‌های ریشه به ترتیب برابر با ۱/۰۲، ۴۷/۹، ۳/۶۳ و ۲/۸۳ و در اندام هوایی (گل) نیز به ترتیب برابر با ۲/۰۲، ۲۱/۲، ۱۰/۸ و ۴/۰۳ بود. از طرفی مقادیر فاکتورهای انتقال و انباشتگی زیستی به ترتیب برابر با ۰/۷۳ و ۰/۵۲ برای عنصر روی بیانگر تحرک اندک این عنصر در گیاه بود. در حالی‌که مقادیر فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک و فاکتور انباشتگی زیستی کوچک‌تر از یک عناصر آرسنیک، سرب و نیکل نشان‌دهنده تحرک بالای این عناصر در گیاه بود. لذا، گونه گون پنبه‌ای از قابلیت تثبیت عنصر روی و قابلیت انباشت عناصر آرسنیک، سرب و نیکل برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: فاکتور انباشتگی زیستی، فاکتور انتقال، فلز سنگین، گون پنبه‌ای، گیاه‌پالایی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۸۱۳۴۴۸۱۳۰۵، پست الکترونیکی: s_sobhan@iauh.ac.ir

مقدمه

امروزه، آلودگی خاک به فلزات سنگین با منشأ زمین‌شناختی و یا انسان‌ساخت یکی از مشکلات اساسی زیست‌بوم است (۵۱). در بین روش‌های اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، روش‌های فیزیکی و شیمیایی هزینه‌بر، وقت‌گیر و تخریب‌کننده محیط‌زیست محسوب می‌شوند. از این‌رو، طی سال‌های اخیر دانشمندان نسبت به توسعه روش‌های زیست پالایی (Bioremediation) اقدام کردند که بتواند مکان‌های آلوده به فلزات سنگین را بدون باقی گذاشتن اثر سوء بر حاصل‌خیزی و تنوع زیستی خاک، پاکسازی و تعدیل کند (۱۱). دراین خصوص، می‌توان به فرایند گیاه‌پالایی (Phytoremediation) که به‌عنوان فناوری سبز و دوست‌دار محیط‌زیست درصدد استفاده از گیاهان و ریزجانداران وابسته به آن‌ها برای پاکسازی و یا تثبیت آلاینده‌های سمی نظیر فلزات سنگین

است و از طرفی ازلحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه و ازلحاظ انرژی کم‌هزینه می‌باشد، اشاره کرد (۱۷، ۳۴، ۴۲و ۴۴). گیاه پالاینده‌ها مجموعه‌ای از گیاهان هستند که برای حذف مواد آلی، فلزی، بقایای آفت‌کش‌ها و بقایای مواد رادیواکتیو از خاک یا پساب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (۷). این فرایند از طریق سازوکارهای گیاه تبدیلی، گیاه تبخیری، زیست‌پالایی محیط ریشه، گیاه تثبیتی، گیاه استخراجی و فیلتراسیون ریشه‌ای معمولاً برای تصفیه سیستم‌هایی با غلظت اندک آلاینده‌ها کاربرد دارد (۶و ۵۸). ازجمله گیاهان شاخصی که در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین رشد می‌کنند می‌توان به گونه‌های انباشت‌گر (Accumulator) یعنی گیاهانی که فلزات را چندین برابر غلظت فلز در خاک در اندام‌های هوایی خود انباشت یا ذخیره می‌کنند و از طرفی گونه‌های ابرانباشت‌گر یا بیش‌اندوز (Hyperaccumulator) یعنی گیاهانی که از قابلیت جذب و انباشت مقادیر بالایی از آلاینده‌ها در ریشه، ساقه و یا برگ‌ها برخوردار هستند، اشاره کرد (۱۸).

ضریب انباشتگی زیستی (Bioconcentration Factor) و فاکتور انتقال (Translocation Factor)، مشخص کننده توانایی گیاهان برای تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام-های خود است (۱۳). براین اساس، یک گیاه بیش‌اندوز فلز سنگین واجد چهار شاخص توانایی تجمع فلز در بخش هوایی، دارا بودن شاخص انباشتگی زیستی بزرگ‌تر از یک، دارا بودن فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک و توانایی تحمل در برابر غلظت‌های بالای فلز است (۵۳).

تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با توانایی پوشش گیاهی در تجمع فلزات سنگین خاک انجام یافته است که طی آن‌ها تقریباً ۴۰۰ گونه گیاهی از حداقل ۴۵ خانواده باقابلیت بیش‌اندوزی فلزات سنگین گزارش شده است. ازجمله این گونه‌ها می‌توان به گونه گون پنبه‌ای با قابلیت انباشت عناصر روی، سرب، سلنیوم، کادمیوم، کبالت، مس و نیکل اشاره کرد (۴۸، ۵۰و ۵۲). دراین راستا، در مطالعه‌ای نسبت به شناسایی گونه‌های گیاهی واجد قابلیت تجمع فلزات سنگین منطقه معدنی Lanping چین اقدام شد (۶۸). دریک مطالعه دیگر، دسترس‌پذیری زیستی گیاهان اطراف یک منطقه معدن‌کاری در رومانی بررسی شد (۵۹). دهرآزما و همکاران (۱۳۹۴) غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان اطراف معدن مس سرچشمه کرمان و نیز احتمال وجود گیاهان بیش‌اندوز برای انجام گیاه‌پالایی را بررسی کردند (۱۳). سلیمی و همکاران (۱۳۹۴) نسبت به مطالعه تغییرات سرب و کادمیوم در خاک و گیاه کلزا در حاشیه جاده ساوه–همدان اقدام کردند (۲۲). ذوفن و همکاران (۱۳۹۲) تجمع برخی فلزات سنگین، فاکتور تغلیظزیستی و فاکتور انتقال را در خاک و پوشش گیاهی اطراف مناطق صنایع تولید فولاد واقع در جاده بندر امام–ماهشهر را مطالعه کردند (۱۴). عمویی و همکاران (۱۳۹۱) توان گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم توسط گیاهان بومی ایران از جمله گاو پنبه، تاج‌خروس وحشی و ذرت را بررسی کردند (۳۱). نتایج پژوهش گلستانی و فرج‌زاده (۱۳۸۹) نشان داد که برگ‌های اقاقیا از قابلیت پالایش عناصر آرسنیک، کادمیوم، سرب، روی و مس برخوردار است (۳۶). گلچین و همکاران (۱۳۸۵) نیز میزان انتقال سرب به اندام‌های هوایی گونه‌های یونجه و گون را بررسی کردند (۳۵). نتایج تحقیق رخ‌بر و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که گیاه گون رشد یافته در اطراف معدن سرب و روی دره امرود از توانایی بالای جذب سرب و روی برخوردار است (۱۶).

گون (*Astragalus* spp.) گیاهی علفی چند ساله از خانواده لگومینوزه و ارتفاع ۷۵ سانتی‌متر است که با ۳۰۰۰–۲۰۰۰ گونه در شمار بزرگ‌ترین جنس‌های گیاهان گل‌دار جهان محسوب می‌شود (۵۴) در ایران نیز گون پنبه ای با ۸۰۰ گونه شناسایی و ثبت شده از انتشار گسترده‌ای در کشور برخوردار است (۱۵و ۵۶). این گیاه در برابر خشکی مقاوم و در خاک‌های شور به‌خوبی رشد می‌کند (۲۸).

آرسنیک به‌عنوان یک عنصر کمیاب در پوسته زمین که ازلحاظ فراوانی در رده بیستم جای گرفته است، در کشاورزی، دامداری، پزشکی، الکترونیک، صنعت و متالوژی کاربرد داشته و از طریق محلول شدن کانی‌ها و مواد معدنی، فاضلاب صنایع مختلف از جمله صنایع دباغی و سرامیک‌سازی، معادن، سموم ضد آفات نباتی، شوینده‌ها و کودهای شیمیایی به بوم‌سازگان‌ها وارد می‌شود (۳۹). این عنصر جهش‌زا و بسیار سمی در گروه ۱ ترکیبات سرطان-زای موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) طبقه-بندی شده است (۲۶).

روی عنصری بااهمیت زیستی بسیار بالا به‌ویژه در عملکرد ریز موجودات زنده است (۶۶). که مقادیر بیش‌تر از حد مجاز آن می‌تواند تهدیدی جدی برای محیط پذیرنده محسوب شود. انتشار روی در خاک اطراف جاده‌ها را می‌توان با سایش تایر خودروها، خوردگی گارد ریل و احتراق سوخت فسیلی مرتبط دانست (۳۳). از طرفی حضور این عنصر در فاضلاب نیز می‌تواند منشأ ورود روی به خاک باشد (۳۰). از آنجا که روی از عناصری است که همراه با سرب در معادن یافت می‌شود، به همین دلیل بهره-برداری سرب با رهاسازی و آلودگی روی در طبیعت همراه است (۱۲). روی در حالت مازاد بر احتیاج، باعث افزایش سلول‌های پیشرو مغز استخوان و کاهش تکثیر لنفوسیت-های B و همچنین کاهش پاسخ آنتی‌بادی‌های سلول‌های T می‌شود (۲۰).

سرب از جمله فلزات سنگین غیرضروری است که کارکرد زیستی مشخصی نداشته و از توان ایجاد مسمومیت برای زیست‌مندان برخوردار است. این فلز به دلیل پراکنش گسترده در جوامع شهری و صنعتی و خطر بالقوه آن برای محیط‌زیست و جانداران توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا به‌عنوان مهم‌ترین فلز آلاینده محیط معرفی شده است و براین اساس منشأ نگرانی‌های متعددی را فراهم کرده است (۳۲). منشأ نگرانی‌های متعددی شده است. سرب نه‌تنها فعالیت ریز جانداران خاک را تحت تأثیر قرارداده و سبب از دست رفتن حاصل‌خیزی خاک می‌شود، بلکه باعث بروز تغییر در شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهان و درنهایت کاهش عملکرد آن‌ها نیز می‌شود. سرب از طریق ضایعات صنایع باتری‌سازی، احتراق بنزین، صنایع تولید رنگ و برخی از سموم دفع آفات گیاهی، به خاک و درنهایت به آب، گیاه و بدن انسان منتقل می‌شود (۲۳). این عنصر در گروه 2B ترکیبات سرطان‌زای IARC طبقه‌بندی شده است و آثار سمی آن به‌خصوص در دستگاه گوارش، دستگاه عصبی مرکزی، اعصاب محیطی و سیستم خون‌ساز بستگی به ویژگی‌های متابولیکی افراد و رژیم غذایی دارد (۲۱و ۶۱).

نیکل یکی از فراوان‌ترین عناصر در طبیعت است. این فلز در همه خاک‌ها وجود دارد و از آتشفشان‌ها نیز منتشر می-شود. غلظت نیکل تابعی از سوخت‌های فسیلی، استخراج آن از معادن و پالایشگاه‌ها و سوختن مواد زائد است (۴۰). این عنصر چندین نقش مهم در بدن انسان به‌ویژه عملکرد آنزیم‌ها بر عهده دارد (۶۶). البته باید توجه داشت که سمیت این عنصر می‌تواند منجر به بروز مشکلات تنفسی از جمله نارسایی برونشیتی و همچنین ابتلا به سرطان شود (۶۷).

استقرار صنایع متنوع از جمله ماشین‌سازی و آلومینیوم-سازی در شهرستان اراک و از طرفی فعالیت پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه حرارتی در شهرستان شازند و همچنین بهره‌برداری از معادن در شهرستان خمین می‌تواند منجر به تخلیه انواع آلاینده‌ها و از جمله فلزات سنگین به محیط و به‌ویژه خاک شود. لذا، این پژوهش باهدف مقایسه قابلیت انباشتگی زیستی و تثبیت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل توسط گونه گون پنبه‌ای رشد یافته در شهرستان‌های اراک، خمین و شازند استان مرکزی در سال ۱۳۹۵ به‌منظور امکان‌سنجی معرفی گونه فرا انباشت کننده فلزات سنگین انجام یافت.

مواد و روشها

معرفی منطقه موردمطالعه: استان مرکزی با وسعت ۲۹۵۳۰ کیلومترمربع (معادل ٪۱/۸ از وسعت ایران) بین ′۳۰ °۳۳ تا ′۳۵ °۳۵ عرض شمالی و ′۵۷ °۴۸ تا °۵۱ طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ واقع‌شده است. شهرستان اراک با وسعت ۹۸/۷ کیلومترمربع (۴/۲۴ درصد مساحت استان) به‌عنوان بزرگ‌ترین قطب جمعیتی استان در دامنه ارتفاعی ۱۶۵۰ متر از سطح دریا در کویر میقان تا ۳۱۱۸ متر در کوه تخت از قلل سفید خانی واقع شده است (۲۷). شهرستان خمین با وسعت ۷۳/۲ کیلومترمربع (۵/۷ درصد مساحت استان) جنوبی‌ترین شهرستان استان مرکزی محسوب می‌شود. شهر خمین به‌عنوان مرکز این شهرستان ۱۸۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و تقریباً ۶۰ کیلومتر با مرکز استان فاصله دارد. شهرستان شازند با وسعت۲۹/۵ کیلومترمربع با مرکزیت شهر شازند در جنوب غربی استان مرکزی استقرار یافته است. شهر شازند در ارتفاع ۱۹۲۰ متری از سطح دریا واقع است و با مرکز استان ۳۳ کیلومتر فاصله دارد (۲۸).

نمونه‌برداری از خاک و گیاه: پس از شناسایی کانون‌های عمده گون‌زار در شهرستان‌های اراک، شازند و خمین در هر شهرستان چهار ایستگاه نمونه‌برداری با پراکندگی مناسب انتخاب و نمونه‌برداری از خاک و گونه گون پنبه ای به‌طور تصادفی در سال ۱۳۹۵ انجام یافت. بدین صورت‌که از هر ایستگاه تعداد چهار نمونه خاک و چهار نمونه گون پنبه ای به تفکیک ریشه و گل برداشت شد. همچنین مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS براساس سیستم UTM ثبت شد. نقشه موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ ارائه شده است.

نمونه‌برداری از خاک سطحی (عمق ۲۰-۵ سانتی‌متر) توسط بیلچه باغبانی انجام شد. نمونه‌ها پس از برداشت به کیسه پلی‌پروپیلنی منتقل شده و سپس در آزمایشگاه به مدت یک هفته هوا خشک شدند. سپس باهدف جداسازی سنگ‌ها و سنگ‌ریزه‌ها، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی-متری عبور داده‌شده و پس‌ازآن توسط هاون عقیق پودر و یکنواخت شدند (۶۰).

آماده‌سازی نمونه‌های خاک: در مرحله بعد، یک گرم از هر نمونه با استفاده از ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، توزین و به بشر ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس مقدار ۱۵ میلی‌لیتر تیزاب (ترکیب HCl و HNO_3 با نسبت اختلاط حجمی ۳:۱) به هر نمونه افزوده شد تا فرایند انحلال انجام یابد. در ادامه نمونه‌ها روی هیتر در دمای تقریبی ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا واکنش و انحلال آن کامل شود. همچنین در موارد عدم پیشرفت فرایند، مقدار کمی اسیدکلریدریک به نمونه‌ها برای تسریع فرآیند انحلال افزوده شد (۲۵، ۶۲، ۶۴و ۶۵). پس‌ازآن نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شده و با آب دو بار تقطیر در بالن حجمی ۵۰ میلی-لیتری به حجم رسانده شدند.

سنجش محتوی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک: بدین منظور پس از ساخت محلول استوک و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه نشر اتمی Varian مدل 710-ES، غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در هر نمونه به ترتیب در طول‌موج ۲۲۶، ۲۰۶، ۱۹۶ و ۲۳۳ نانومتر در سه تکرار خوانده شد.

آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی: برای آماده‌سازی و هضم نمونه‌های گیاهی، ابتدا نمونه‌های ریشه و گل توسط برس پلاستیکی از خاک و گردوغبار پاک شد. سپس نمونه‌ها روی کاغذ تمیز پهن و در هوای آزاد به مدت یک هفته خشک شدند. پس‌ازآن نمونه‌های گیاهی در آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون در دمای ۶۰ درجه سانتی-گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. در مرحله بعد نمونه‌ها توسط دستگاه مخلوط‌کن پودر و از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند (۱۹). سپس یک گرم از هر نمونه گیاهی با استفاده از ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱

گرم، توزین و به ظروف شیشه‌ای دربدار استریل منتقل شد. پس از افزودن چهار میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به هر نمونه و بستن درب ظروف، نمونه‌ها طی دو مرحله ۶۰ و ۹۰ دقیقه‌ای در داخل حمام بن ماری به ترتیب با درجه حرارت ۶۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بعد از سرد شدن نمونه‌ها و رسیدن دمای آن‌ها به دمای محیط، برای هضم مواد آلی، ۰/۲ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه ۳۷ درصد، به آن‌ها اضافه شد و برای کامل شدن فرایند، نمونه‌ها ۳۰ دقیقه به همین حالت باقی ماندند. پس‌ازآن نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شده و با آب دو بار تقطیر در بالن حجمی ۲۵ میلی-لیتری به حجم رسانده شدند (۸).

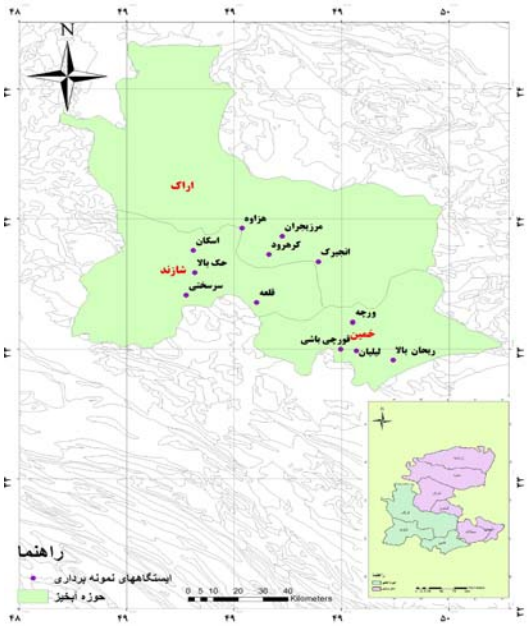
سنجش محتوی فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی: بدین منظور پس از ساخت محلول استوک و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه نشر اتمی، غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در هر نمونه در ۳ تکرار خوانده شد. از طرفی مقادیر pH در گل اشباع خاک توسط pH متر Jenway مدل ۳۵۲۰ قرائت و بافت خاک نیز به‌روش هیدرومتری تعیین شد (۴۱و ۴۳).

محاسبه فاکتور انتقال و ضریب انباشتگی زیستی: فاکتور انتقال و ضریب انباشتگی زیستی بترتیب توسط روابط ۱ و ۲ محاسبه شدند (۵۵ و ۶۹).

$$\text{فاکتور انتقال} = \frac{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در اندام زیر زمینی}} \quad (۱)$$

$$\text{ضریب تجمع زیستی} = \frac{\text{غلظت فلز در ریشه}}{\text{غلظت فلز در خاک}} \quad (۲)$$

پردازش آماری نتایج: بدین منظور از ویرایش ۱۹ نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها از آزمون شاپیرو–ویلک، بمنظور مقایسه میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر مورد مطالعه بین نمونه‌های خاک، بین نمونه‌های ریشه و بین نمونه‌های گل از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و به دنبال آن آزمون تعقیبی دانکن و برای بررسی همبستگی بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر نمونه‌های خاک باریشه و ریشه با گل از آزمون آماری ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری

نتایج

نتایج سنجش محتوی عناصر در نمونه‌های خاک: نتایج مربوط به قرائت غلظت عناصر در نمونه‌های خاک به تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم (جدول ۱) نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در نمونه‌ها به ترتیب برابر با ۲/۸۳ ± ۱۰/۱، ۱۷۴ ± ۱۶۹، ۳۴/۵ ± ۴۱/۲ و ۱۲/۹ ± ۵۰/۵ بود. از طرفی میانگین مقادیر pH خاک نیز برابر با ۰/۱۷ ± ۷/۲۰ بود.

نتایج سنجش محتوی عناصر در نمونه‌های ریشه: نتایج مربوط به قرائت غلظت عناصر در نمونه‌های ریشه به‌تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه (میلی‌گرم در کیلوگرم) و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک به تفکیک ایستگاه

ایستگاه	عنصر (انحراف معیار ± میانگین غلظت)					
	آرسنیک	روی	سرب	نیکل	pH	بافت خاک
سرسختی	۱۳/۵±۰/۶۳a	۴۴/۳±۲۷/۶k	۱۹/۶±۱/۱۴g	۴۵/۵±۰/۰۸f	۷/۲۰±۰/۰۳	رسی لومی شنی
اسکان	۱۳/۱±۰/۸۶a	۶۰۴±۰/۶۲a	۹۰/۷±۰/۱۶b	۷۸/۷±۰/۳۵a	۷/۳۰±۰/۰۲	شنی
قلعه	۱۰/۱±۰/۵۰c	۱۲۲±۲/۵۱d	۲۴/۱±۰/۳۶e	۵۱/۷±۰/۱۷e	۷/۵۰±۰/۰۳	شنی لومی
حک بالا	۱۳/۴±۰/۵۴a	۳۲۹±۳/۰۴c	۶۳/۰±۰/۲۶d	۷۱/۷±۰/۴۳b	۷/۲۰±۰/۰۵	شنی لومی
ورچه	۸/۶۰±۰/۲۶d	۶۰/۴±۰/۷۴i	۲۲/۹±۰/۲۶f	۳۸/۹±۰/۲۵i	۷/۱۰±۰/۰۲	شنی لومی
لیلیان	۹/۱۳±۰/۵۲d	۵۴/۹±۰/۳۲j	۱۲/۲±۰/۰۳i	۳۶/۱±۰/۱۸j	۷/۱۰±۰/۰۲	شنی لومی
قورچی باشی	۱۳/۴±۰/۲۹a	۹۳/۱±۰/۶۲e	۲۴/۳±۰/۱۶e	۵۵/۲±۰/۱۳d	۷/۳۰±۰/۰۱	شنی لومی
ریحان بالا	۱۱/۸±۰/۶۳b	۴۰۹±۳/۴۵ b	۷۸/۷±۰/۵۳c	۵۷/۲±۰/۰۵c	۷/۴۰±۰/۰۴	شنی لومی
هزاوه	۶/۶۲±۰/۵۵e	۸۷/۲±۱/۰۹f	۱۶/۶±۰/۱۷h	۴۵/۵±۰/۵۸f	۶/۹۰±۰/۰۱	شنی
انجیرک	۶/۶۵±۰/۳۱e	۶۹/۲±۰/۳۶h	۱۱/۰±۰/۱۶j	۴۴/۵±۰/۲۰g	۷/۲۰±۰/۰۴	شنی لومی
مرزیجران	۸/۸۵±۰/۶۷d	۷۲/۷±۰/۷۳h	۱۷/۷±۰/۲۸h	۳۸/۸±۰/۳۱i	۷/۰۰±۰/۰۳	شنی لومی
کرهرود	۵/۹۷±۰/۴۵e	۸۰/۹±۰/۷۸g	۱۱۳±۱/۸a	۴۱/۹±۰/۴۶h	۷/۴۰±۰/۰۲	رسی لومی
میانگین	۱۰/۱	۱۶۹	۴۱/۲	۵۰/۵	۷/۲۰	
انحراف معیار	۲/۸۳	۱۷۴	۳۴/۵	۱۲/۹	۰/۱۷	

حروف غیرمشترک (a، b، c و ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($P < ۰/۰۵$) میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌های خاک براساس نتایج آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن است

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه (میلی‌گرم در کیلوگرم) در نمونه‌های ریشه به تفکیک ایستگاه

ایستگاه	عنصر (انحراف معیار ± میانگین غلظت)			
	آرسنیک	روی	سرب	نیکل
سرسختی	۴/۴۴±۱/۰۰a	۳۷/۸±۱/۲۸ f	۲۱/۷±۱/۸۱a	۶/۵۹±۰/۳۹a
اسکان	۱/۱۱±۰/۳۰ b	۴۶/۷±۰/۳۶d	۳/۲۷±۰/۷۸cd	۲/۸۰±۰/۲۰e
قلعه	۱/۰۶±۰/۲۶b	۱۸۲±۱/۶۳ a	۳/۷۷±۰/۰۴c	۳/۳۳±۰/۰۲d
حک بالا	۰/۸۱±۰/۲۲b	۱۴/۴±۱/۶۵h	۰/۹۰±۰/۰۳fg	۱/۸۹±۰/۰۳g
ورچه	۰/۷۰±۰/۱۳b	۴۷/۸±۰/۳۱d	۱/۶۶±۰/۰۳ef	۲/۱۲±۰/۰۴f
لیلیان	۰/۷۴±۰/۱۰b	۵۰/۸±۰/۲۶c	۴/۸۳±۰/۱۳b	۲/۵۹±۰/۰۴e
قورچی باشی	۰/۶۸±۰/۱۳b	۴۳/۴±۰/۲۰e	۳/۷۲±۰/۰۸c	۳/۹۴±۰/۰۸c
ریحان بالا	۰/۸۴±۰/۱۵b	۲۴/۸±۰/۴۴g	۲/۴۸±۰/۱۱de	۳/۱۵±۰/۰۲d
هزاوه	۰/۸۷±۰/۱۸b	۱۴/۸±۰/۱۰h	۰/۷۶±۰/۰۱fg	۴/۶۷±۰/۰۵ b
انجیرک	۰/۰۳±۰/۰۱c	۸/۸۶±۰/۳۰i	۰/۰۲±۰/۰۰g	۰/۵۸±۰/۰۲i
مرزیجران	۰/۴۶±۰/۲۷bc	۴۹/۵±۰/۴۷c	۰/۱۵±۰/۱۱g	۱/۱۷±۰/۰۴h
کرهرود	۰/۵۲±۰/۰۵bc	۵۳/۳±۰/۴۲ b	۰/۲۹±۰/۰۴g	۱/۱۳±۰/۰۱h
میانگین	۱/۰۲	۴۷/۹	۳/۶۳	۲/۸۳
انحراف معیار	۱/۱۲	۴۳/۹	۵/۷۶	۱/۶۴

حروف غیرمشترک (a، b، c و ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($P < ۰/۰۵$) میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌های ریشه بر اساس نتایج آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن است

نتایج قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های ریشه برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم (جدول ۲) نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در نمونه‌ها به ترتیب برابر با ۱/۱۲ ± ۱/۰۲، ۴۳/۹ ± ۴۷/۹، ۵/۷۶ ± ۳/۶۳ و ۱/۶۴ ± ۲/۸۳ بود.

نتایج سنجش محتوی عناصر در نمونه‌های اندام هوایی (گل): نتایج مربوط به قرائت غلظت عناصر در نمونه‌های گل به‌تفکیک ایستگاه نمونه‌برداری در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه (میلی‌گرم در کیلوگرم) در نمونه‌های گل به تفکیک ایستگاه

ایستگاه	عنصر (انحراف معیار ± میانگین غلظت)*			
	آرسنیک	روی	سرب	نیکل
سرسختی	۷/۲۴±۱/۵۷a	۲۳/۴±۳/۵۶d	۱۳/۳±۳/۶۸c	۹/۲۲±۹/۰۸a
اسکان	۵/۴۲±۲/۰۱b	۱۴/۲±۱/۳۷h	۳۰/۲±۲/۲۷a	۵/۷۲±۱/۲۴bc
قلعه	۲/۴۰±۱/۱۳c	۴۱/۶±۱/۴۱a	۱۱/۴±۳/۶۱cd	۳/۰۸±۰/۱۹d-f
حک بالا	۰/۹۹±۰/۳۲c-e	۱۴/۰±۰/۳۴h	۸/۸۳±۰/۲۶de	۴/۰۰±۰/۳۹c-e
ورچه	۰/۸۳±۰/۱۷c-e	۱۹/۴±۰/۰۴f	۱۷/۴±۰/۳۳b	۱/۸۷±۱/۴۰fg
لیلیان	۱/۰۵±۰/۲۲c-e	۲۹/۱±۰/۲۴b	۷/۵۴±۰/۱۵ef	۳/۰۰±۰/۰۴d-f
قورچی باشی	۰/۸۱±۰/۱۲c-e	۲۰/۶±۰/۲۱ef	۲/۷۱±۰/۲۳gh	۶/۸۴±۰/۰۵b
ریحان بالا	۱/۳۱±۰/۳۲c-e	۱۶/۷±۰/۰۴g	۴/۷۹±۰/۱۷fg	۳/۷۲±۰/۰۱d-f
هزاوه	۲/۲۷±۰/۱۴cd	۱۱/۶±۰/۳۹i	۶/۸۴±۰/۵۰ef	۴/۹۵±۰/۳۳cd
انجیرک	۰/۴۲±۰/۱۲e	۲۷/۰±۰/۰۸c	۱/۱۰±۰/۰۲h	۰/۷۸±۰/۰۶g
مرزیجران	۰/۸۲±۰/۰۷c-e	۲۱/۶±۰/۲۹de	۶/۰۸±۰/۱۲ef	۲/۶۳±۰/۰۷e-g
کرهرود	۰/۷۱±۰/۰۸de	۱۴/۹±۰/۱۱gh	۱۹/۹±۰/۰۵b	۲/۵۲±۰/۰۵e-g
میانگین	۲/۰۲	۲۱/۲	۱۰/۸	۴/۰۳
انحراف معیار	۲/۱۸	۸/۲۰	۸/۱۸	۲/۴۳

حروف غیرمشترک (a، b، c و ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار آماری ($P < ۰/۰۵$) میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌های گل بر اساس نتایج آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن است

نتایج قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گل برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم (جدول ۳) نشان داد که میانگین غلظت عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل در نمونه‌ها به ترتیب برابر با ۲/۱۸ ± ۸/۲،۲۰/۰ ± ۲۱/۲، ۸/۱۸ ± ۱۰/۸ و ۲/۴۳ ± ۴/۰۳ بود.

نتایج پردازش آماری داده‌ها: نتایج آزمون شاپیرو–ویلک نشان داد که باتوجه به سطح معنی‌داری (P) بزرگ‌تر از ۰/۰۵، همه داده‌های مربوط به محتوی عناصر در نمونه‌های خاک، ریشه و گل از توزیع نرمال برخوردار بودند.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون بیانگر آن بود که از حیث میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر آرسنیک، روی و نیکل بین نمونه‌های ریشه و گل به ترتیب با ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۶، ۰/۷۶ و ۰/۸۷ در سطح معنی‌داری برابر با ۰/۰۱، همبستگی مثبت (مستقیم) وجود داشت که می‌تواند بیانگر منشأ مشترک این عناصر در نمونه‌ها باشد. این در حالی بود که بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر سرب نمونه‌های ریشه و گل و از طرفی بین میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل نمونه‌های خاک و ریشه همبستگی معنی‌دار آماری وجود نداشت.

نتایج محاسبه فاکتورهای انتقال و انباشتگی زیستی: نتایج محاسبه فاکتور انتقال (TF) و فاکتور انباشتگی زیستی (BCF) عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل‌بترتیب در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است.

نتایج محاسبه فاکتور انتقال (جدول ۴) نشان داد که بیشینه مقادیر این فاکتور برای عناصر آرسنیک، روی، سرب و نیکل برابر با ۱۴/۰، ۳/۰۴، ۶۸/۶ و ۲/۲۴ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱۰، ۱۰، ۱۲ و ۱۱ بود.

نتایج محاسبه فاکتور انباشتگی زیستی (جدول ۵) نشان داد که بیش‌ترین جذب زیستی عناصر آرسنیک، سرب و نیکل به ترتیب با ۰/۳۳، ۱/۱۰ و ۰/۱۴ مربوط به ایستگاه ۱ و

همچنین بیش‌ترین جذب زیستی روی با ۱/۴۸ مربوط به ایستگاه ۳ بود.

جدول ۴- نتایج محاسبه فاکتور انتقال عناصر

ایستگاه	عنصر			
	آرسنیک	روی	سرب	نیکل
سرسختی	۱/۶۳	۰/۶۲	۰/۶۱	۱/۴۰
اسکان	۴/۸۹	۰/۳۰	۹/۲۴	۲/۰۴
قلعه	۲/۲۶	۰/۲۳	۳/۰۲	۰/۹۲
حک بالا	۱/۲۲	۰/۹۷	۹/۸۱	۲/۱۱
ورچه	۱/۱۸	۰/۴۰	۱۰/۵	۰/۸۸
لیلیان	۱/۴۱	۰/۵۷	۱/۵۶	۱/۱۶
قورچی باشی	۱/۱۹	۰/۴۷	۰/۷۳	۱/۷۳
ریحان بالا	۱/۵۵	۰/۶۷	۱/۹۳	۱/۱۸
هزاوه	۲/۶۰	۰/۷۸	۹/۰۰	۱/۰۶
انجیرک	۱۴/۰	۳/۰۴	۵۵/۰	۱/۳۴
مرزیجران	۱/۷۸	۰/۴۳	۴۰/۵	۲/۲۴
کرهرود	۱/۳۶	۰/۲۸	۶۸/۶	۲/۲۳
میانگین	۲/۹۲	۰/۷۳	۱۷/۵	۱/۵۲
انحراف معیار	۳/۶۴	۰/۷۶	۲۳/۵	۰/۵۲

جدول ۵- نتایج محاسبه فاکتور انباشتگی زیستی

ایستگاه	عنصر			
	آرسنیک	روی	سرب	نیکل
سرسختی	۰/۳۳	۰/۸۵	۱/۱۱	۰/۱۴
اسکان	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۳
قلعه	۰/۱۰	۱/۴۸	۰/۱۵	۰/۰۶
حک بالا	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۲
ورچه	۰/۰۸	۰/۷۹	۰/۰۷	۰/۰۵
لیلیان	۰/۰۸	۰/۹۲	۰/۳۹	۰/۰۷
قورچی باشی	۰/۰۵	۰/۴۶	۰/۱۵	۰/۰۷
ریحان بالا	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۵
هزاوه	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۱۰
انجیرک	۰/۰۰۵	۰/۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۱
مرزیجران	۰/۰۵	۰/۶۸	۰/۰۰۹	۰/۰۳
کرهرود	۰/۰۹	۰/۶۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲
میانگین	۰/۰۹	۰/۵۲	۰/۱۶	۰/۰۶
انحراف معیار	۰/۰۸	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۰۴

بحث و نتیجه‌گیری

زیست‌پالایی با استفاده از گیاهان برای حذف، تجزیه و یا سم‌زدایی آلاینده‌های محیط‌زیستی روشی کم‌هزینه و سازگار با محیط‌زیست است که در سال‌های اخیر موردتوجه قرارگرفته است (۳۸). اگرچه تاکنون بیش از ۴۰۰ گونه گیاهی فرا انباشت کننده فلزات سنگین شناسایی شده است، بااین‌وجود استفاده از روش‌های استخراج گیاهی هنوز به‌طور عملی در سطح وسیع مورد استفاده قرار نگرفته است (۴۹). بنابراین، بررسی و ارزیابی دقیق پوشش گیاهی موجود در مناطقی که به‌علت فعالیت‌های انسانی آلوده محسوب می‌شوند، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و می‌تواند منجر به شناسایی گونه‌های گیاهی مناسب برای پاکسازی خاک از فلزات سنگین شود. نتایج حاصل نشان داد که بیش‌ترین میانگین غلظت آرسنیک نمونه‌های خاک با ۱۳/۵ و ۱۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۷ است. این موضوع را می‌توان با مجاورت این ایستگاه‌ها به باغات و اراضی کشاورزی که در آن‌ها از انواع آفت‌کش و کود شیمیایی برای کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی استفاده می‌شود، مرتبط دانست. همچنین بیش‌تر بودن میانگین غلظت عنصر روی در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های ۲ و ۴ را می‌توان به معادن سنگ روی منطقه نسبت داد. معدن سرب و روی قلعه شهرستان شازند که تخمین زده می‌شود ۱۰ میلیون تن سنگ معدن حاوی ۶ درصد روی و ۲/۲۶ درصد سرب داشته باشد یکی از بزرگترین معادن سرب و روی منطقه می‌باشد (۵۷). بالا بودن میانگین غلظت روی در نمونه‌های خاک ایستگاه ۸ را هم می‌توان به معادن روی و مجاورت با محل دفن زباله مرتبط دانست. متشرع‌زاده (۱۳۸۷) و دینگ و همکاران (۲۰۱۷) نیز میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک اطراف معادن را بیش‌تر از سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری گزارش کردند (۳۷و ۴۶). از طرفی بیش‌تر بودن میانگین غلظت نیکل در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های ۲ و ۴ را نیز می‌توان با مجاورت این ایستگاه‌ها به پتروشیمی شازند، شرکت پالایش نفت اراک و شرکت مدیریت تولید برق شازند مرتبط دانست. کرباسی و همکاران (۱۳۸۸) فعالیت انسانی را عامل اصلی آلودگی

خاک به عنصر نیکل دانسته‌اند، که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (۳۳). از طرفی نتایج این مطالعه با نتایج تحقیق عظیمی و همکاران (۱۳۹۰) که تخلیه عنصر سرب به محیط را با فعالیت صنایع پتروشیمی مرتبط دانست (۲۹)، مطابقت داشت. همچنین در پژوهشی دیگر مشخص شد که تجمع سرب در خاک و بافت گیاه با افزایش حجم ترافیک رابطه مستقیم دارد. به‌طوری‌که با افزایش فاصله از راه‌های اصلی، غلظت این عنصر در خاک کاهش یافته است (۲۲). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میانگین غلظت تجمع‌یافته فلز سرب در اندام هوایی (گل) گون با ۸/۱۸ ± ۱۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بیش‌تر از جذب این عنصر در ریشه گون با میانگین ۵/۷۶ ± ۳/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در سایر مطالعات نیز که به نتایج مشابه دست‌یافته‌اند، این موضوع را با توانایی انتقال مرتبط دانسته‌اند (۱۰). بالا بودن میانگین غلظت سرب در نمونه‌های گل ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۵ را می‌توان با مجاورت این ایستگاه‌ها به باغات و اراضی کشاورزی و به‌تبع آن ورود سرب به خاک براثر استفاده از سموم دفع آفات مرتبط دانست. این در حالی است که در ایستگاه ۵ به‌جز عوامل اشاره شده در بالا و به‌ویژه در ایستگاه ۱۲، عامل مجاورت به جاده نیز ممکن است به تجمع مقادیر بیش‌تر سرب در اندام گیاهی گون پنبه‌ای منجر شده باشد. افیونی و همکاران (۱۳۷۷) و همچنین کرباسی و همکاران (۱۳۸۸) عنوان کردند که با افزایش تجمع فلزات سنگین در خاک، غلظت این عناصر در اندام‌های گیاه و به‌ویژه ریشه افزایش‌یافته است (۱و ۳۳). سازوکارهای فیزیولوژیک تحمل سمیت عناصر فلزی در گیاهان پیچیده است و به گونه گیاهی، نوع و غلظت عنصر و شرایط محیطی مانند شدت نور و pH خاک بستگی دارد (۹). اشکال مختلف گونه‌های فلزات سنگین به سبب دارا بودن حلالیت‌های متفاوت در مختلف، در روند جذب و حتی انتقال به اندام‌های هوایی و انباشتگی در این اندام‌ها و به‌خصوص برگ‌ها از الگوهای متفاوت پیروی می‌کنند (۴۵).

دراین پژوهش قابلیت گیاه برای تجمع عناصر از خاک و همچنین توانایی گیاه در انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی به ترتیب توسط فاکتورهای تجمع‌زیستی و انتقال ارزیابی شد. بدیهی است تجمع عناصر هنگامی در گیاه رخ می‌دهد که آلاینده جذب‌شده توسط گیاه به‌سرعت مورد تجزیه و فروپاشی قرار نگیرد. از طرفی فرایند استخراج گیاهی نیز معمولاً نیازمند انتقال عناصر به بخش‌هایی از گیاه مانند شاخه‌ها است که به‌راحتی قابل‌برداشت هستند (۶۹). دراین خصوص، لاست (۲۰۰۰) اعتقاد داشت که ضریب انتقال فلزات از اندام زیرزمینی به اندام هوایی در زمره مهم‌ترین عوامل تجمع فلزات در اندام هوایی گیاهان است (۵۲). نتایج مطالعات جذب زیستی بیان‌گر آن بود که کارآیی استخراج گیاهی در جذب فلزات سنگین به دو عامل زیتوده و غلظت فلز در زیتوده بستگی دارد (۲). از طرفی فاکتور تجمع‌زیستی به عواملی همچون نرخ جذب عنصر، تحرک عنصر و ذخیره آن در ریشه گیاه بستگی دارد (۷۱). براساس یافته‌های زاچینی و همکاران (۲۰۰۹) گونه گیاهی با ضریب تجمع‌زیستی در ریشه بزرگ‌تر از یک و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک، برای تثبیت گیاهی و گونه گیاهی با ضریب تجمع‌زیستی در اندام‌های هوایی بزرگ‌تر از یک، برای برداشت گیاهی مناسب است (۷۰). با استناد به نتایج این پژوهش، بیش‌ترین ضریب انتقال عناصر مورد مطالعه با ۱۷/۵ مربوط به انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی گون پنبه ای بود. در این زمینه، پارسادوست و همکاران (۱۳۸۶) طی مطالعه خود نتیجه گرفتند که بیش-ترین ضریب انتقال فلزات از اندام زیرزمینی به اندام هوایی گون با ۳/۵۴، مربوط به عنصر سرب بوده است (۴). لذا، بر این اساس و همچنین در نظر گرفتن زیتوده مناسب و بالا و شرایط سازگاری مناسب، گونه گون پنبه ای را می‌توان برای پالایش خاک‌های آلوده به عنصر سرب توصیه کرد. هرچند این موضوع می‌تواند بیان‌گر قابلیت انتقال سرب به زنجیر غذایی و مخاطرات ناشی از آن باشد. از طرفی نتایج محاسبه فاکتور انتقال توسط متشرع‌زاده (۱۳۸۷) و بلادی و

همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که جذب سرب در اندام هوایی گونه‌های گون و یونجه بیش‌تر از اندام ریشه‌ای بوده است (۳و ۳۷). این در حالی است که نتایج مطالعه پارسادوست و همکاران (۱۳۸۶) و پارسافر و معروفی (۱۳۹۲) نیز مؤید این موضوع بود (۴و ۵). روی به‌عنوان یک عنصر ضروری از قابلیت تجمع در گونه گون پنبه ای برخوردار است (۴۷). در بین عناصر مورد مطالعه، روی با فاکتور انتقال برابر با ۰/۷۳، کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد. این موضوع می‌تواند مؤید تحریک‌پذیری اندک این عنصر در گیاه باشد. به‌طوری‌که ثابت شده است روی از قابلیت تجمع بالا در سیستم ریشه‌ای گیاهان برخوردار است (۶۳). این در حالی است که برخلاف پژوهش حاضر، نتیجه مطالعه شنبه دستجردی و همکاران (۱۳۸۵) بیان‌گر تجمع بیش‌تر عنصر روی در اندام هوایی گونه‌های مرتعی در مقایسه با اندام‌های زیرزمینی بود (۲۴).

مقادیر کوچک‌تر از یک برای فاکتور انتقال نشان از تمایل گیاه به تجمع عناصر در اندام‌های زیرزمینی در مقایسه باانداام هوایی و درواقع تحرک کم عنصر در اندام‌های گیاهی دارد. با استناد به نتایج حاصل از تحقیق حاضر، فاکتورهای انتقال و انباشتگی زیستی به ترتیب برابر با ۰/۷۳ (کوچک‌تر از یک) و ۰/۵۲ عنصر روی بیان‌گر تحرک اندک این عنصر در گیاه است. لذا، می‌توان نتیجه گرفت که گونه گون پنبه‌ای از قابلیت تثبیت عنصر روی برخوردار است. از طرفی فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک و فاکتور انباشتگی زیستی کوچک‌تر از یک عناصر آرسنیک، سرب و نیکل نشان‌دهنده تحرک بالای این عناصر در گیاه است. لذا، می‌توان نتیجه گرفت که گونه گون پنبه ای از قابلیت انباشت عناصر آرسنیک، سرب و نیکل برخوردار است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان برای فراهم کردن امکانات اجرای این پژوهش تقدیر می‌شود.

منابع

۱- افیونی، م.، رضایی‌نژاد، ی.، و خیامباشی، ب.، ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین بوسیله کاهو و اسفناج، علوم آب و خاک، ۲(۱)، صفحات ۳۰-۱۹.

۲- بابائیان، ا.، همایی، م.، و راهنمایی، ر.، ۱۳۹۱. افزایش کارآیی استخراج گیاهی سرب از خاک بوسیله هویج با کاربرد کی‌لیت-های طبیعی و سنتزی، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶(۳)، صفحات ۶۱۷-۶۰۷.

۳- بلادی، س. م.، کاشانی، ع.، حبیبی، د.، و پاک‌نژاد، ف.، ۱۳۸۹. ارزیابی توزیع فلز سنگین سرب و مس و نقش دو آنزیم آنتی‌اکسیدان در یونجه (*Medicago sativa*) رقم همدانی، زراعت و اصلاح نباتات ایران، ۶(۴)، صفحات ۸۴-۷۳.

۴- پارسادوست، ف.، بحرینی‌نژاد، ب.، صفری سنجانی، ع. ا.، و کابلی، م. م.، ۱۳۸۶. گیاه‌پالایی عنصر سرب توسط گیاهان مرتعی و بومی در خاک‌های آلوده منطقه ایران‌کوه (اصفهان)، پژوهش و سازندگی در منابع‌طبیعی، ۲۰(۲)، صفحات ۶۳-۵۴.

۵- پارسافر، ن.، و معروفی، ص.، ۱۳۹۲. بررسی ضریب انتقال کادمیوم، روی، مس و سرب از خاک به گیاه سیب‌زمینی تحت تأثیر کاربرد فاضلاب، علوم و فنون کشاورزی و منابع‌طبیعی، ۱۷(۶۶)، صفحات ۲۰۹-۱۹۹.

۶- تائبی، ا.، جیرانی، ک.، میرلوحی، آ. ف.، و زاده بافقی، ع.، ۱۳۸۶. گیاه‌پالایی خاک‌آلوده به سیانور توسط گیاهان غیرچوبی، علوم آب و خاک، ۱۱(۴۲)، صفحات ۵۲۳-۵۱۵.

۷- تقی‌زاده، م.، و کافی، م.، ۱۳۸۷. معرفی تکنولوژی گیاه پالایی و گیاه پالاینده‌های فضای سبز، شهرداری‌ها، ۸(۸۸)، صفحات ۳۱۷-۳۰۸.

۸- حاج رسولی‌ها، ش.، امینی، ح.، هودجی، م.، و نجفی، پ.، ۱۳۸۵. زیست ردیابی آلودگی هوا و خاک در منطقه اصفهان، پژوهش در علوم کشاورزی، ۲(۲)، صفحات ۵۴-۳۹.

۹- حاجی بلند، ر.، ۱۳۸۶. جذب، انتقال و تحمل مسمومیت منگنز و مس در چندگونه از فلور آذربایجان، زیست‌شناسی ایران، ۲۰(۲)، صفحات ۱۹۰-۱۷۴.

۱۰- خادم حقیقت، م. ر.، ۱۳۶۴. توزیع سرب در برگ‌های چنار نسبت به مراکز تردد خودروها در مناطق مختلف تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی تهران، ۱۰۱ صفحه.

۱۱- داودپور، ر.، جمشیدی، ک.، و ترنج‌زر، ح.، ۱۳۹۱. گیاه‌پالایی در نقاط مختلف کشور ایران، سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، ۷ صفحه.

۱۲- درویش‌نیا، ز.، ریاحی بختیاری، ع.، کامرانی، ا.، و سجادی، م. م. ۱۳۹۴. تجمع زیستی فلزات سنگین (سرب، آهن و روی) در بافت اسکلتی مرجان خانواده Faviidae و رسوبات پیرامونی آن در جنوب جزیره قشم، خلیج‌فارس، بوم‌شناسی آبزیان، ۵(۱)، صفحات ۸۷-۷۷.

۱۳- دهرآزما، ب.، رحمتی، ش.، اصغری، ح. ر.، و صادقیان، م.، ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر معدن متروکه مس چغندر سر بر غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاهان بومی منطقه (جنوب غرب عباس‌آباد)، مهندسی معدن، ۱۰(۲۷)، صفحات ۹۴-۸۱.

۱۴- ذوفن، پ.، سعادت‌خواه، ع.، و رستگارزاده، س.، ۱۳۹۲. مقایسه توانایی تغلیظ فلزات سنگین در پوشش گیاهی منطقه اطراف صنایع فولادسازی در جاده بندر امام-ماهشهر، اهواز، زیست-شناسی گیاهی، ۵(۱۶)، صفحات ۵۶-۴۱.

۱۵- رحیم ملک، م.، فضیلتی، م.، غریبی، ش.، و وهابی، م.، ۱۳۹۰. بررسی تنوع ژنتیکی جمعیت‌های گون‌های زرد و سفید در مناطق حفاظت‌شده استان اصفهان با استفاده از نشانگر ISSR، تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱(۱)، صفحات ۳۴-۲۵.

۱۶- رخ بر، م.، شریفی، م.، و قشلاقی، ا.، ۱۳۹۳. بررسی غلظت سرب، روی، کادمیوم و سلنیوم در گیاهان طبیعی اطراف معدن سرب و روی دره امرود قهرود، جنوب کاشان، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین، ۷ صفحه.

۱۷- ۱۷. رفعتی، م.، خراسانی، ن.، مراقبی، ف.، و شیروانی، ا.، ۱۳۹۱. توانایی گونه‌های توت سفید (*Morus alba*) و سپیدار (*Populus alba*) در تثبیت و برداشت فلزات سنگین، محیط‌زیست طبیعی، ۶۵ (۲)، صفحات۱۹۱-۱۸۱.

۱۸- رضی کرد محله، ل.، ۱۳۸۵. بررسی انواع روش‌های گیاه پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و فناوری‌های مصرف محصولات گیاهی آلوده آن، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، ۱۱ صفحه.

۱۹- رونیاسی، ن.، و پرویزی مساعد، ح.، ۱۳۹۵. بررسی میزان فلزات سنگین در قسمتهای مختلف برخی از سبزیجات مصرفی شهر کرج، سلامت و محیط‌زیست، ۹(۲)، صفحات ۱۸۴-۱۷۱.

۲۰- سبحان اردکانی، س.، جمالی، م.، معانی‌جو، م.، ۱۳۹۳الف. بررسی غلظت آرسنیک، روی، کروم و منگنز در منابع آب زیرزمینی دشت رزن و تهیه نقشه پهنه‌بندی عناصر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۶(۲)، صفحات ۳۸-۲۵.

۲۱- سبحان اردکانی، س.، معانی‌جو، م.، و اسدی، ه.، ۱۳۹۳ب. بررسی غلظت سرب، کادمیوم، مس و منیزیم در منابع آب زیرزمینی دشت رزن. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، ۲۱(۴)، صفحات ۳۲۹-۳۱۹.

۲۲- سلیمی، م.، بهمنیار، م. ع.، قاجار سپانلو، م.، و محمدی، آ.، ۱۳۹۴. تغییرات سرب و کادمیوم خاک و گیاه کلزا در حاشیه جاده ساوه- همدان، دانش آب و خاک، ۲۵(۲)، صفحات ۲۰۵-۱۹۳.

۲۳- سنجر، ف.، جواهری بابلی، م.، و عسکری ساری، ا.، ۱۳۸۸. اندازه گیری و مقایسه فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در عضله و پوست ماهی زمین‌کن دم نواری (*Platycephalus indicus*) منطقه صیادی بندر ماهشهر، زیست‌شناسی دریا، ۱(۴)، صفحات ۴۶- ۳۵.

۲۴- شنبه دستجردی، ف.، بحرینی‌نژاد، ب.، و صفایی، ل.، ۵، ۱۳۸۵. تعیین پتانسیل ضریب انتقال عنصر روی در برخی از گونه‌های گیاهی منطقه ایرانکوه اصفهان، نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات، ۱ صفحه.

۲۵- طبری کوچکسرایی، م.، صالحی، آ.، ۱۳۹۰. بررسی تأثیر آبیاری با استفاده از فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۳(۴)، صفحات ۵۹-۴۹.

۲۶- عاقلان، ن.، و سبحان اردکانی، س.، ۱۳۹۵. بررسی مخاطره سلامت مصرف چای عرضه‌شده در بازار مصرف شهر همدان (مطالعه پتانسیل خطر آرسنیک، سرب، کادمیوم و کروم)، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، ۲۳(۱)، صفحات ۷۴-۶۵.

۲۷- عبدی، ن.، عبدی، م.، و حسن‌زاده، ص. ر.، ۱۳۸۹. معرفی گیاهان دارویی شهرستان اراک، یافته‌های نوین کشاورزی، ۵(۱)، صفحات ۴۹-۳۷.

۲۸- عبدی، ن.، مداح عارفی، ح.، و زاهدی امیری، ق. ا.، ۱۳۸۷. برآورد ظرفیت ترسیب کربن در گونزارهای استان مرکزی (مطالعه موردی منطقه مالمیر شهرستان شازند)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۵(۲)، صفحات ۲۸۲-۲۶۹.

۲۹- عظیمی، ع.، صفاهیه، ع.، علی دادالهی، س.، ذوالقرنین، ح.، و سواری، ا.، ۱۳۹۰. تجمع زیستی فلزات سنگین جیوه، کادمیوم، سرب و مس در دوکفه‌ای در منطقه بندر امام خمینی (ره)، علوم و فنون دریایی، ۱۰(۳)، صفحات ۳۲-۲۳.

۳۰- عمویی، ع.، محوی، ا. ح.، و ندافی، ک.، ۱۳۹۰. مقایسه میزان سرب، کادمیوم و روی در خاک مناطق صنعتی، کشاورزی و بزرگراه آمل و بابل، ۱۳۸۷. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بابل، ۱۴(۱)، صفحات ۸۲-۷۷.

۳۱- عمویی، ع.، محوی، ا. ح.، ندافی، ک.، فهیمی، ح.، مصداقی‌نیا، ع.، و ناصری، س.، ۱۳۹۱. بررسی شرایط بهینه عملیاتی در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم توسط گیاهان بومی ایران، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، ۱۷(۴)، صفحات ۱۰۲-۹۳.

۳۲- قلیچ، س.، زرین‌کمر، ف.، و نیکنام، و.، ۱۳۹۴. بررسی میزان انباشتگی سرب و تأثیر آن بر فعالیت آنزیم پراکسیداز، محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در مرحله جوانه‌زنی در گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.)، پژوهش‌های گیاهی، ۲۸(۱)، صفحات ۱۷۴-۱۶۴.

۳۳- کرباسی، ع.، نبی بیدهندی، غ.، معطر، ف.، و برزگری، ز.، ۱۳۸۸. بررسی منشأ و دسترسی بیولوژیکی عناصر سنگین در خاک ارتفاعات شمال غرب تهران، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۱(۳)، صفحات ۴۱-۲۹.

۳۴- کمری، ا.، و فرشادفر، م.، ۱۳۹۱. فناوری نوین گیاه پالایی برای ایجاد محیط‌زیست پایدار، ایمنی زیستی، ۵(۲)، صفحات ۱۲۱-۱۰۷.

۳۵- گلچین، ا.، آتش نما، ک.، و تکاسی، م.، ۱۳۸۵. بررسی نحوه توزیع سرب در اندام‌های مختلف آفتابگردان و کلزا به عنوان گیاهان تولیدکننده روغن، همایش خاک، محیط‌زیست و توسعه پایدار، ۲ صفحه.

۳۶- گلستانی، م. ع.، و فرجزاده، ز.، ۱۳۸۹. پالاینده‌های محیط‌زیست در طراحی کاشت، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست، ۱۰ صفحه.

۳۷- متشرع‌زاده، ب.، ۱۳۸۷. بررسی امکان افزایش کارایی گیاه‌پالایی خاک آلوده به فلزات سنگین توسط عوامل زیستی، رساله دکتری تخصصی خاک‌شناسی، دانشگاه تهران، ۱۴۲ صفحه.

۳۸- محسن‌زاده، ف.، و خدابنده‌لو، س.، ۱۳۹۷. زیست‌پالایی خاک‌های آلوده به روغن موتور مصرف شده با استفاده از گیاه آلاله .L *Ranunculus arvensis* و برخی قارچ‌های ریزوسفری، پژوهش‌های گیاهی، ۳۱ (۱)، صفحات ۵۶-۴۵.

۳۹- محوی، ا. ح.، و مسافری، م.، ۱۳۸۰. آرسنیک در آب آشامیدنی، نگرانی‌ها، استاندارد، روش‌های حذف، چهارمین همایش ملی بهداشت محیط، ۱۱ صفحه.

۴۰- مشروفه، ع.، ریاحی بختیاری، ع.، و پورکاظمی، م.، ۱۳۹۲. غلظت کادمیوم، نیکل، وانادیوم و روی در عضله و خاویار تاسماهی ایرانی (*Acipenser persicus*) با تاکید بر ارزیابی ریسک ناشی از مصرف عضله، سلامت و محیط‌زیست، ۶(۳)، صفحات ۴۱۶-۴۰۷.

۴۱- موسوی، ا.، سفیانیان، ع.، میرغفاری، ن. ا.، و خداکرمی، ل.، ۱۳۹۰. بررسی توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در خاکهای استان همدان، پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۵(۴)، صفحات ۳۳۶-۳۲۳.

۴۲- نادری، م.، دانش شهرکی، ع.، و نادری، ر.، ۱۳۹۱. مروری بر گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، انسان و محیط-زیست، ۱۰(۴)، صفحات ۴۹-۳۵.

43- Al-Masri, M. S., Al-Akel, B., Nashawani, A., Amin, Y., Khalifa, K. H., and Al-Ain, F., 2008. Transfer of ^{40}K, ^{238}U, ^{210}Pb, and ^{210}Po from soil to plant in various locations in south of Syria. J. Environ. Radioactiv, 99, PP: 322-331.

44- Chaney, R. L., Malik, M., Li, Y. M., Brown, S. L., Brewer, E. P., Angle, J. S., and Baker, A. J. M., 1997. Phytoremediation of soil metals. Curr. Opin. Biotechnol, 8(3), PP: 279-284.

45- Cook, C. M., Sqardelis, S. P., Pantis, J. D., and Lanaras, T., 1994. Concentrations of Pb, Zn and Cu in *Taraxacum* spp. in relation to urban pollution, Bull, Environ. Contam. Toxicol, 53(2), PP: 204-210.

46- Ding, Q., Cheng, G., Wang, Y., and Zhuang, D., 2017. Effects of natural factors on the spatial distribution of heavy metals in soils surrounding mining regions, Sci,Total Environ, 578, PP: 577-585.

47- Dunn, C., 2007. Biogeochemistry in Mineral Exploration, Elsevier Science, 480 p.

48- Dushenkov, D., 2003. Trends in phytoremediation of radionuclides. Plant Soil, 249(1), PP: 167-175.

49- Freeman, J. L., Persans, M. W., Nieman, K., Albrecht, C., Peer, W., Pickering, I. J., and Salt, D. E., 2004. Increased glutathione biosynthesis plays a role in nickel tolerance in Thlaspi nickel hyperaccumulators, Plant Cell, 16(8), PP: 2176-2191.

50- Ghosh, M., and Singh, V., 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Appl. Ecol. Environ. Res, 3(1), PP: 1-18.

51- Ji, P., Sun, T., Song, T., Ackland, M. L., and Liu, Y., 2011. Strategies for enhancing the phytoremediation of cadmium contaminated agricultural soils by *Solanum nigrum* L., Environ, Pollut, 159(3), PP: 762-768.

52- Lasat, M. M., 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soils: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues, J., Hazard, Subst, Res, 2, PP: 1-25.

53- Lin, W., Xiao, T., Wu, Y., Ao, Z., and Ning, Z., 2012. Hyperaccumulation of zinc by *Corydalis davidii* in Zn-polluted soils, Chemosphere 86(8), PP: 837-842.

54- Luo, M. C., Hwu, K. K., and Huang, T. C., 2000. Taxonomic study of Taiwan *Astragalus* based on genetic variation. Taxon, 49(1), PP: 35-46.

55- Ma, L. Q., Komar, K. M., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y., and Kennelley, E. D., 2001. A fern that hyperaccumulates arsenic. Nature, 409, PP: 579-585.

56- Maassoumi, A. A., 1998. Astragalus in the Old World: Check-list. Research Institute of Forests and Rangelands Publication, Tehra, 617 p.

57- Malekirad, A., Fani, A., Abdollahi, M., Oryan, S., Babapor, V., Shariat Zade, S. M. A., and Davodi, M., 2011. lood-urine and cognitive-mental parameters in mine workers exposed to lead and zinc. Arak Med, Univ. J., 13(4), PP: 106-114.

58- McCutcheon, S. C., and Schnoor, J. L., 2003. Overview of phytotransformation and control of wastes, in Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants (eds S. C. McCutcheon and J. L. Schnoor), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

59- Miclean, M., Roman, C., Levei, E., Senila, M., Abraham, B., and Cordos, E., 2007. Heavy metals availability for plants in a mining area from North-Western Romania. Chem. Spec, Bioavailab, 1, PP: 11-25.

60- Mohammadi Roozbahani, M., Sobhanardakani, S., Karimi, H., and Sorooshnia, R., 2015. Natural and anthropogenic source of heavy metals pollution in the soil samples of an industrial complex, a case study. Iran. J., Toxicol, 9(29), PP: 1336-1341.

61- Muhammad, S., Tahir Shah, M., and Khan, S., 2011. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. Microchem, J, 98(2), PP: 334-343.

62- Pyatt, F. B., 1999. Comparison of foliar and bioaccumulation of heavy metals by *Corsican pines* in the mount Olympus area of Cyprus. Ecotoxicol. Environ. Safety, 42(1), PP: 57-61.

63- Rinne, R. W., and Langston, R., 1960. Effect of growth on redistribution of some mineral elements in peppermint. Plant Physiol, 35(2), PP: 210-215.

64- Sobhanardakani, S., and Jamshidi, K., 2015. Assessment of metals (Co, Ni and Zn) content in the sediments of Mighan Wetland using geo-accumulation index, Iran, J., Toxicol, 30, PP: 1386-1390.

65- Sobhanardakani, S., Ghoochian, M., and Taghavi, L., 2016. Assessment of heavy metal contamination in surface sediment of the Darreh-Morad Beyg River, Iran. J., Health Sci, 4(3), PP: 22-34.

66- Sobhanardakani, S., and Kianpour, M., 2016. Heavy metal levels and potential health risk assessment in honey consumed in west of Iran. Avicenna, J., Environ, Health Eng, 3(2), 7795 p.

67- Sobhanardakani, S., Hosseini, S. V., and Tayebi, L., 2018. Heavy metals contamination of canned fish and related health implications in Iran, Turk, J., Fish. Aquat, Sci, 18(8), PP: 951-957.

68- Yanqun, Z., Yuana, L., Schvartz, C., Langlade, L., and Fan, L., 2004. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead–zinc mine area, China. Environ, Int, 30(4), PP: 567-576.

69- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., and Ma, L. Q., 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Sci. Total Environ, 368, PP: 456-464.

70- Zacchini, M., Pietrini, F., Scarascia Mugnozza, G., Iori, V., Pietrosanti, L., and Massacci, A., 2009. Metal tolerance, accumulation and

translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. Water Air Soil Pollut, 197(1-4), PP: 23-34.

71- Zhuang, P., Yang, Q. W., Wang, H. B., Shu, W. S., 2007. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. Water Air Soil Pollut, 184(1-4), PP: 235-242.

Bioconcentration and stabilization potential studies of arsenic and some heavy metals in *Astragalus gossypinus*

Davodpour R.,[1] Sobhanardakani S.,[1] Cheraghi M.,[1] Abdi N.[2] and Lorestani B.[1]

1. Dept. of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, I.R. of Iran.

2. Dept. of Rangeland and Watershed, College of Agriculture, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, I.R. of Iran.

Abstract

Nowadays, soil contamination by heavy metals is one of the dangerous environmental pollutions and various methods such as phytoremediation as an environmental-friendly, simple and inexpensive method has been proposed to reduce it. Therefore, the present study was conducted to compare the capability of *Astragalus gossypinus* which grown in Markazi Province, Iran in 2016 for feasibility the introduce hyperaccumulator species. In so doing, a total of 48 soil samples and also 48 Astragalus samples were collected. After acid digestion of samples, the heavy metal concentrations were measured using ICP-OES. Also, the TF and BCF of metals were computed. The results showed that the mean concentrations of elements (mg/kg) in soil samples to be: 10.09 for As, 168.97 for Zn, 41.22 for Pb, and 50.49 for Ni. The mean contents of As, Zn, Pb, and Ni (mg/kg) in root samples were found to be 1.02, 47.87, 3.63, and 2.83 respectively, while, the mean concentrations of metals (mg/kg) in flower (aerial part) samples were 2.02 for As, 21.18 for Zn, 10.84 for Pb, and 4.03 for Ni. Based on the results, since the TF and the BCF of Zn were 0.73 and 0.52 respectively, therefore Zn mobility in Astragalus was low. While the TF and BCF of As, Pb and Ni were > 1 and < 1 respectively, and indicates the high mobility of these elements in the plant. Thus, *A. gossypinus* can be considered as a suitable species for stabilization of Zn and efficient for the accumulation of As, Pb, and Ni.

Key words: Bioconcentration factor, Translocation factor, Heavy metals, *Astragalus gossypinus*, Phytoremediation