



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

تعیین مقدار عناصر نقره، سرب و روی در برخی گونه‌های گیاهی بومی رشد یافته در منطقه معدن طلای زرشوران، شمال غرب ایران

سمانه تربتی^{۱*}، شکوه اسمعیل بگی کرمانی^۲

۱- گروه اکولوژی و مدیریت ذخایر آبی، پژوهشکده آرمیا و آبی پروری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: فناوری گیاه پالایی از جمله روش‌های پالایش سازگار با محیط زیست است که می‌تواند در حذف فلزات سنگین نقش مهمی ایفا نماید. در این پژوهش که در سال ۱۴۰۰ به انجام رسید؛ توانایی ۲۰ گونه گیاهی در پالایش عناصر نقره، سرب و روی از خاک معدن زرشوران ارزیابی گردید.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹

روش بررسی: پس از انتخاب ۲۰ ایستگاه نمونه برداری، عملیات نمونه‌گیری از خاک و گیاهان انجام شد. پس از آماده سازی نمونه‌ها، مقدار عناصر مورد مطالعه با بهره‌گیری از روش طیفسنجی جرمی پلاسمای جفت شده القائی (ICP-MS) تعیین شدند. سطوح آلودگی فلزات در خاک با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی (EF) ارزیابی شد. همچنین ضرایب غنی‌شدگی عناصر در ریشه (ECR) و اندام هوایی (ECS)، فاکتور انتقال (TF) و نیز شاخص انباشت فلزات در گیاهان (MAI) محاسبه گردید.

واژگان کلیدی: انباشت زیستی، گیاه پالایی، تثبیت گیاهی، استخراج گیاهی، کانسار زرشوران

یافته‌ها: آلودگی بالایی برای عناصر Ag، Pb و Zn در خاک منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. دو گونه گیاهی *Astragalus rostratus* و *Prangos ferulacea* دارای ECS و TF بالاتر از یک برای عنصر نقره بودند. همچنین تنها *Eryngium billardieri* و *Scrozonera latifolia* دارای $ECS/ECR > 1$ و $TF < 1$ برای هر سه عنصر بودند. بیشترین میزان MAI در ریشه و اندام هوایی به ترتیب با مقادیر ۲۹/۷ و ۱۶/۲ به گیاه *E. billardieri* تعلق داشت.

نتیجه‌گیری: گیاهان *P. ferulacea* و *A. rostratus* دارای قابلیت استخراج عنصر نقره از خاک بودند. همچنین تنها دو گونه *S. latifolia* و *E. billardieri* قابلیت تثبیت هر سه عنصر را داشتند. با استناد به مقادیر MAI، گیاه *E. billardieri* از بیشترین توانایی در انباشت زیستی عناصر نقره، سرب و روی برخوردار بود.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

s.torbati@urmia.ac.ir

samaneh.torbati@yahoo.com

Please cite this article as: Torbati S, Esmailbegi Kermani Sh. Determining the concentration of Ag, Pb and Zn elements in some indigenous plant species grown in Zarshouran mining area, northwestern Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(3):379-98.



مقدمه

فلزات سنگین از جمله مهمترین گروه‌های آلاینده محیط زیست هستند. در دو دهه اخیر فعالیت‌های بشری از جمله فعالیت‌های مرتبط با معدن‌کاری منجر به افزایش روز افزون این آلاینده‌ها در محیط زیست شده است (۱، ۲). این دسته از آلاینده‌ها به دلیل انحلال کم در بوم‌سازگان، غیر قابل تجزیه بودن و داشتن اثرات نامطلوب در سلامت انسان از قبیل اختلال در عملکرد دستگاه گوارش، کلیه و سیستم ایمنی، اختلالات سیستم عصبی، ضایعات پوستی و سرطان (۳-۶)، نیازمند توجه ویژه به منظور حذف و یا کاهش اثرات مخرب آنها، هستند (۷). امروزه روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی از جمله روش‌های تبادل یون، اسمز معکوس، اکسایش و احیا، استخراج با حلال و ... در پالایش فلزات سنگین از محیط استفاده می‌شوند (۸، ۹). اما اکثر این روش‌ها مقرون به صرفه نبوده و در اغلب موارد سازگار با محیط زیست نیستند. در دو دهه اخیر کاربرد روش‌های زیستی به دلیل هزینه پایین و سازگاری با محیط زیست مورد توجه واقع شده است. گیاه پالایی از جمله فناوری‌های مقبول در این حوزه است (۲، ۳، ۱۰) و شامل تمام فرآیندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی گیاهان می‌شود که در حذف آلاینده‌ها از محیط نقش دارند. تاکنون کاربرد این روش برای حذف آلاینده‌های مختلفی مانند هیدروکربن‌های نفتی، علف‌کش‌ها، فلزات سنگین و ترکیبات رادیواکتیو گزارش شده است (۱۰-۱۲). قابلیت دسترسی و سمیت فلزات در خاک وابسته به شاخص‌های مختلفی از جمله غلظت کل فلزات در خاک، گونه‌های شیمیایی، نوع و موقعیت پیوند فلز و همچنین خصوصیات مثل pH، هدایت الکتریکی و مواد آلی است (۱۳، ۱۴). گیاهان در مواجهه با فلزات سنگین از سازوکارهای دفاعی کنترل‌کننده بهره می‌برند که از جمله آنها می‌توان به استخراج گیاهی (Phytoextraction)، تجزیه گیاهی (Phytodegradation)، تبخیر گیاهی (Phytovolatilization)، تثبیت گیاهی (Phytostabilization) و تصفیه ریشه‌ای

(Rhizofiltration) اشاره نمود (۱۵). استخراج گیاهی یکی از مهمترین و مناسب‌ترین روش‌های گیاه‌پالایی در پالایش خاک‌های آلوده معرفی شده است (۱۶، ۱۷). گیاهانی با بیومس بالا، نظیر ذرت، آفتابگردان و تنباکو، همچنین علف‌هایی نظیر *Trifolium alexandrinum* و برخی گونه‌های درختی از جمله گونه‌های مناسب برای استخراج فلزات عنوان شده‌اند (۱۵). به عنوان مثال در پژوهش انجام گرفته بر روی نقش گیاهان بومی در پالایش فلزات موجود در خاک محدوده معدن متروکه‌ای در جنوب چین، مشخص شد که گونه علفی و زینتی *Polygonum capitatum* توانایی بالایی را در استخراج عناصر Ni، Cr، Cd و Cu دارد (۱۸)؛ یا توانایی گونه درختی *Erato polymnioides* رشد یافته در منطقه معدن طلائی در اکوادور، در استخراج عناصر Zn، Cd و Hg، بالا ارزیابی شده است (۱۹). همچنین گزارشات زیادی تاییدکننده توانایی بالای برخی گونه‌های بومی در تثبیت عناصر هستند. مثلا کمیت فلزات سنگین در اندام هوایی ۳۵ گونه گیاهی بومی معدن مس سونگون اندازه‌گیری شده و گیاهانی از جنس‌های *Teucrium*، *Achillea* و *Papaver* به ترتیب دارای توانایی تثبیت عناصر Al، Pb و Cu ارزیابی شدند (۲۰). برخی از گیاهان توانایی انباشت مقادیر بالایی از عناصر جزئی را در اندام هوایی خود دارند و به عنوان گیاهان ابرانباشتگر (hyperaccumulator) معرفی می‌گردند. تاکنون حدود ۵۰۰ گونه گیاهی متعلق به ۴۵ خانواده (حدود ۰/۲ درصد از کل گونه‌های گیاهی موجود در طبیعت) به عنوان گیاهان ابرانباشتگر معرفی شده‌اند (۱۴).

معدن‌کاری فلزات سنگین یکی از مهمترین صنایع در ایران است و کانسار زرشوران که در فاصله ۲۵ km شمال شهرستان تکاب واقع شده است، مهمترین معدن طلای در شمال غرب ایران است. معدنکاری در این منطقه گذشته‌ای طولانی دارد و فعالیت استخراجی در رابطه با طلا و زرنیخ در این منطقه به چند صد سال پیش نسبت داده می‌شود. مطالعات انجام گرفته از منطقه تکاب تاییدکننده آلودگی آب و رسوبات این

امکان سنجی گیاه‌پالایی و تعیین توانایی برخی گیاهان رشد یافته در منطقه مورد مطالعه در پالایش گیاهی عناصر مذکور از خاک، از اهداف اصلی این پژوهش است.

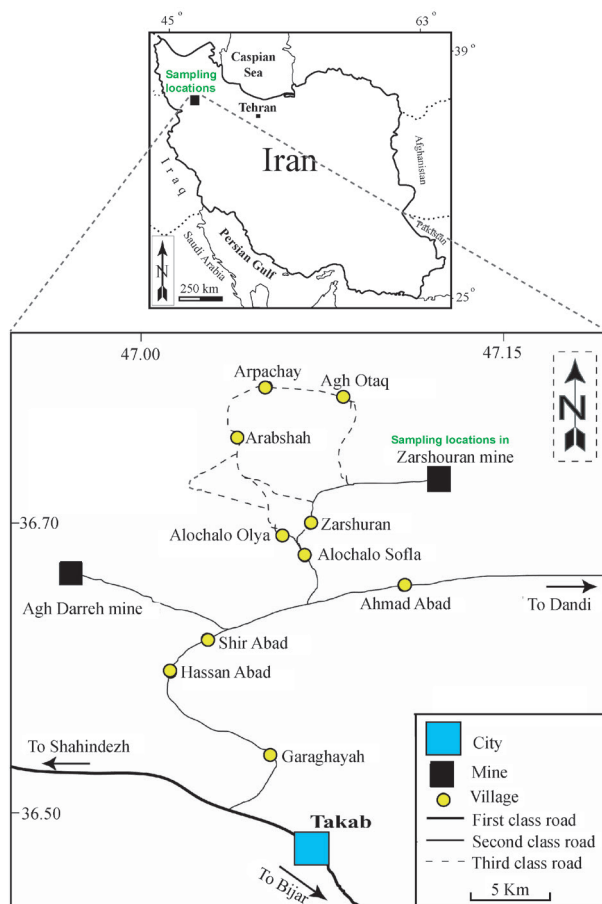
مواد و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

محدوده معدن زرشوران در نزدیکی شهرستان تکاب در جنوب شرقی استان آذربایجان غربی (E ۰۸' ۴۷°، N ۴۳' ۳۶°) واقع شده است. این منطقه با آب و هوای نیمه خشک، تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد، دارای میانگین دمای سالانه ۹ °C و متوسط بارندگی ۴۰۰ mm است. شکل ۱ نمایش‌دهنده نقشه منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی آن بوده و مختصات جغرافیایی دقیق ایستگاه‌های نمونه برداری در جدول ۱ آورده شده است.

ناحیه به عناصر سمی مانند آرسنیک و آنتیموان است (۲۱-۲۳). فعالیت‌های معدنی، هوازگی حجم زیادی از مواد باطله معدنی و مقدار بالای فلزات کمیاب در منطقه معدن به عنوان منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین در این منطقه عنوان شده است (۲۱).

با توجه به افزایش روز افزون فلزات سنگین به ویژه در مناطق معدنی و خطرات محیط زیستی و بهداشتی این آلاینده‌ها، ضرورت پایش کمیت آنها در مناطق آلوده و ارائه راهکارهای تصفیه‌کننده جدید، موثر و سازگار با محیط زیست به شدت احساس می‌شود. همچنین از آنجائی که در مورد نقش پالایش خاک توسط گیاهان بومی رویش یافته در مناطق معدنی، بررسی‌های اندکی صورت پذیرفته است؛ بنابراین بررسی میزان آلودگی سه عنصر نقره، سرب و روی در محدوده معدنی کانسار زرشوران به عنوان مهمترین معدن فعال طلای کشور و نیز



شکل ۱- نقشه موقعیت و راه‌های دسترسی به منطقه معدنی زرشوران

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری

ایستگاه نمونه برداری	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	۴۷° ۰۸' ۰۹/۴۸۰ " E	۳۶° ۴۳' ۳۲/۰۸۹ " N
۲	۴۷° ۰۸' ۰۹/۳۵۹ " E	۳۶° ۴۳' ۳۲/۰۸۹ " N
۳	۴۷° ۰۸' ۰۸/۴۲۰ " E	۳۶° ۴۳' ۳۱/۹۴۴ " N
۴	۴۷° ۰۸' ۰۸/۶۴۹ " E	۳۶° ۴۳' ۳۲/۱۹۲ " N
۵	۴۷° ۰۸' ۰۶/۳۰۷ " E	۳۶° ۴۳' ۳۲/۶۰۸ " N
۶	۴۷° ۰۸' ۰۵/۶۸۵ " E	۳۶° ۴۳' ۳۲/۴۷۷ " N
۷	۴۷° ۰۸' ۰۳/۷۴۴ " E	۳۶° ۴۳' ۳۱/۱۶۹ " N
۸	۴۷° ۰۸' ۱۳/۸۸۶ " E	۳۶° ۴۳' ۲۵/۶۸۳ " N
۹	۴۷° ۰۸' ۱۳/۹۵۹ " E	۳۶° ۴۳' ۲۵/۲۸۵ " N
۱۰	۴۷° ۰۸' ۱۳/۹۷۷ " E	۳۶° ۴۳' ۲۵/۹۰۴ " N
۱۱	۴۷° ۰۸' ۱۴/۵۵۵ " E	۳۶° ۴۳' ۲۵/۷۴۰ " N
۱۲	۴۷° ۰۸' ۱۴/۲۴۷ " E	۳۶° ۴۳' ۲۶/۰۸۲ " N
۱۳	۴۷° ۰۸' ۱۸/۴۶۱ " E	۳۶° ۴۳' ۲۱/۶۶۳ " N
۱۴	۴۷° ۰۸' ۱۵/۹۷۷ " E	۳۶° ۴۳' ۲۰/۱۵۶ " N
۱۵	۴۷° ۰۸' ۱۴/۴۲۹ " E	۳۶° ۴۳' ۲۰/۷۱۵ " N
۱۶	۴۷° ۰۸' ۱۵/۱۴۲ " E	۳۶° ۴۳' ۲۰/۷۰۶ " N
۱۷	۴۷° ۰۸' ۱۴/۰۲۳ " E	۳۶° ۴۳' ۲۰/۵۸۶ " N
۱۸	۴۷° ۰۸' ۱۵/۱۱۳ " E	۳۶° ۴۳' ۲۲/۵۶۶ " N
۱۹	۴۷° ۰۸' ۱۱/۷۷۳ " E	۳۶° ۴۳' ۲۳/۱۷۵ " N
۲۰	۴۷° ۰۸' ۱۰/۸/۳۷۲ " E	۳۶° ۴۳' ۲۳/۳۱۶ " N

۴۰ صاف و به کمک آب مقطر به حجم ۱۰۰ mL رسانده شدند. در تمام این فرایند نسبت HCl به HNO₃، ۳:۱ بوده است (۲۵، ۲۶).

به منظور شناسایی گیاهان، نمونه‌ای از گیاه جمع‌آوری شده در هر ایستگاه (گیاه جمع‌آوری شده واجد تمام بخش‌های گیاهی اعم از ریشه، ساقه، برگ و گل) پرس و حفظ گردید. شناسایی گیاهان با استفاده از منابع معتبر گیاه‌شناسی از جمله فلور ایرانیکا (۲۷) انجام گرفت و سپس با سایر فلورهای منطقه از جمله فلور ترکیه (۲۸) و فلور عراق (۲۹) نیز مقایسه شدند. مطابق مراحل شناسایی گونه‌های گیاهی، هیچ مورد مشکوکی از جمله احتمال دو رگ بودن نمونه و یا وجود گیاهانی با ویژگی‌های حد واسط مشاهده نشد.

ج) تعیین آلودگی عناصر *Zn* و *Pb*، *Ag* در خاک محدوده معدنی زرشوران

برای تعیین میزان آلودگی در نمونه‌های خاک مورد مطالعه، از شاخص آلودگی فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment coefficient (EF)) استفاده گردید (۳۰، ۳۱). این ضریب از نسبت غلظت عنصر مورد نظر در نمونه خاک مورد مطالعه به غلظت همان عنصر در ماده مرجع به دست می‌آید (۳۲). استفاده از این ضریب در بررسی‌های محیط زیستی، امری بسیار مهم است و با استفاده از آنها می‌توان به منشا عناصر پی برد. مقادیر $EF < 1$ نشان‌دهنده عدم غنی‌شدگی عنصر مورد نظر در نمونه خاک، $1 < EF < 3$ نشان‌دهنده غنی‌شدگی ضعیف، $3 < EF < 5$ نشان‌دهنده غنی‌شدگی متوسط، $5 < EF < 10$ نشان‌دهنده غنی‌شدگی نسبتاً شدید و $10 < EF < 25$ غنی‌شدگی شدید و بالاتر از این مقدار نیز به عنوان غنی‌شدگی بسیار قابل توجه عنصر مورد نظر در خاک در نظر گرفته می‌شود و از طریق معادله ۱ محاسبه می‌شود.

$$EF = \frac{\left(\frac{Cx}{Cref}\right)_{Sample}}{\left(\frac{Cx}{Cref}\right)_{Background}} \quad (1)$$

ب) تهیه و آماده سازی نمونه‌های خاک و گیاه و شناسایی گونه‌های گیاهی

تهیه نمونه‌های خاک و گونه‌های گیاهی در خرداد ماه سال ۱۴۰۰ در ۲۰ ایستگاه از محدوده معدن انجام گرفت. در هر ایستگاه، بعد از جمع‌آوری ریشه و اندام هوایی یک گونه گیاهی (سه تکرار) و با شرایط رشد تقریباً یکسان، نمونه خاک مربوط به آن گیاه، از عمق ۲۰-۵ cm و از ناحیه ریزوسفر گیاه (در سه تکرار) تهیه گردید. گیاهان جمع‌آوری شده جزو گونه‌های گیاهی غالب با فراوانی بالا در منطقه مورد مطالعه بودند. به منظور ایجاد شرایط یکنواخت در نمونه‌برداری، همه نمونه‌های گیاهی و خاک در روز آفتابی با میزان رطوبت ۱۵ درصد و با فاصله حدودی ۵۰ متر از همدیگر به کمک ابزار آلات نمونه‌برداری برداشته شد. نمونه‌های خاک به کیسه‌های پلاستیکی و نمونه‌های گیاهی به پاکت‌های کاغذی با برچسب اختصاصی انتقال داده شدند.

پس از انتقال به آزمایشگاه، عملیات خشک کردن نمونه‌های خاک در دمای محیط و الک کردن آنها با الک ۲ mm انجام و برای آنالیز با دستگاه ICP-MS آماده‌سازی شد. در مورد نمونه‌های گیاهی نیز، پس از جداسازی دو بخش ریشه و اندام هوایی، نمونه‌ها ابتدا به کمک آب شهری و سپس با آب مقطر شستشو و در دمای محیط کاملاً خشک شدند و در نهایت بعد از خردایش اولیه، در داخل کیسه‌های پلاستیکی نگهداری و برای انجام آنالیز ICP-MS آماده شدند. آماده سازی نمونه‌های خاک و گیاه برای ICP-MS مطابق با روش استاندارد هضم اسید انجام گردید (۲۴). بدین منظور مقدار مشخصی از HNO₃ به ۱ g نمونه خشک شده اضافه گردید و به مدت ۱۰ min تا دمای ۹۵ °C حرارت داده شد. پس از چندین بار سرد کردن و حرارت مجدد تا دمای ۹۵ °C همراه با اضافه کردن اسید نیتریک (انجام عمل رفلاکس)، مقدار مشخصی آب مقطر و ۳۰ H₂O₂ درصد اضافه و حرارت داده شد. بعد از سرد شدن، ۱۰ mL از HCl غلیظ اضافه و حرارت داده شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها تا دمای محیط، با کاغذ صافی واتمن شماره

همچنین فاکتور انتقال (Translocation factor (TF)) عنصر مورد مطالعه از ریشه گیاه به اندام هوایی آن، با تقسیم مقدار آن عنصر در اندام هوایی به مقدار آن در ریشه محاسبه می‌شود (۲، ۳۵).

باید توجه داشت که گیاهانی که دارای $TF > 1$ و $ECS/ECR < 1$ برای یک عنصر باشند، دارای عملکرد خوبی در استخراج و انتقال آن عنصر از ریشه به اندام هوایی خود بوده و تحمل و سازگاری مطلوبی در مواجهه با غلظت بالای فلز از خود نشان می‌دهند. همچنین گیاهانی با $TF > 1$ و $ECS/ECR > 1$ می‌توانند در فرایند استخراج گیاهی مورد استفاده قرار بگیرند. از طرف دیگر گیاهانی با قابلیت تثبیت گیاهی دارای $TF < 1$ و $ECS/ECR > 1$ هستند و زمانی که این دو فاکتور دارای مقدار کمتر از یک باشند، گیاه توانایی کمی برای جذب عنصر دارد و یا گیاه از جذب آن عنصر اجتناب می‌نماید (۳۶-۳۸).

ه) شاخص انباشت فلزات (MAI)

به منظور درک کلی عملکرد گیاهان در زمینه جذب و انباشت فلزات هواپرد، از شاخص جامع انباشت فلزات (Metal accumulation index (MAI)) استفاده شد (۳۹-۴۱). برای این منظور از معادله ۳ استفاده گردید.

$$MAI = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{j=1}^N I_j \quad (3)$$

در این معادله، N تعداد فلزات اندازه‌گیری شده است و I_j عبارت است از میانگین هر عنصر در ریشه یا اندام هوایی هر گونه گیاهی (X) تقسیم بر انحراف معیار داده‌ها (ΔX) ، $(I_j = X/\Delta X)$.

و) تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام گردید و نتایج بر مبنای میانگین داده‌ها ارائه داده شده است. به منظور بررسی آماری

در این معادله EF فاکتور غنی‌شدگی، Cx غلظت عنصر مورد نظر، و $Cref$ غلظت عنصر مرجع است. عنصر مرجع عنصری است که در منطقه مورد مطالعه، تغییرپذیری و تحرک کمی داشته باشد. غلظت Fe در نمونه‌های خاک و رسوب معمولاً دارای مقدار بالا بوده و انتظار نمی‌رود که منابع انسان‌زاد نقش مهمی در غنی‌شدگی آن ایفا نماید (۳۳). در این بررسی از Fe به عنوان عنصر مرجع در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی استفاده گردید.

د) ضریب غنی‌شدگی در گیاه یا ضریب جذب زیست‌شناختی معمولاً توانایی گیاه در جذب عناصر به وسیله مقایسه میزان غلظت عنصر در گیاه (ریشه یا اندام هوایی) نسبت به غلظت آن در خاک ارزیابی می‌شود؛ که تحت عنوان ضریب جذب زیست‌شناختی (Biological absorption coefficient (BAC)) معرفی می‌شود. البته از این پارامتر تحت عنوان ضریب غنی‌شدگی در اندام هوایی (Enrichment coefficient of shoot (ECS)) و یا ضریب غنی‌شدگی در ریشه (Enrichment coefficient of root (ECR)) نیز نام برده می‌شود. این ضریب عبارت است از: مقدار عنصر در گیاه (ریشه یا اندام هوایی) تقسیم بر مقدار همان عنصر در خاک (معادله ۲).

$$BAC = \frac{C_p}{C_s} \quad (2)$$

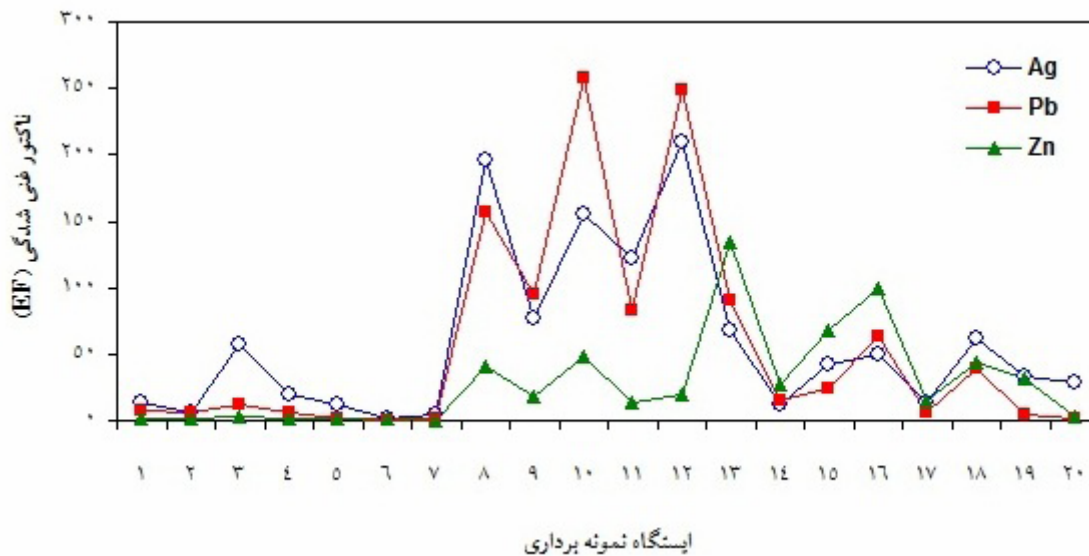
که در این معادله، C_p مقدار عنصر در گیاه (ریشه/ اندام هوایی) و C_s مقدار همان عنصر در خاک است (۳۴). مطابق دسته‌بندی Perel'man (۳۴)، گیاهان بر پایه مقدار ضریب زیست‌شناختی به پنج گروه؛ دارای جذب شدید ($BAC: 100-10$)، جذب قوی ($BAC: 10-1$)، جذب متوسط ($BAC: 1-0.1$)، جذب ضعیف ($BAC: 0.1-0.01$) و جذب خیلی ضعیف ($BAC: 0.01-0.001$) تقسیم بندی می‌شود.

نمونه‌برداری است. مطابق این نمودار میانگین EF، در ۲۰ ایستگاه نمونه‌برداری برای عناصر Ag، Pb و Zn به ترتیب برابر با ۵۹/۲۴، ۵۵/۸۱ و ۲۸/۶۰ تعیین گردید. با در نظر گرفتن مقادیر EF خاک این منطقه برای هر سه عنصر مورد بررسی دارای آلودگی قابل توجهی است. مطابق شکل ۲، ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۸، ۱۰ و ۱۲ برای دو عنصر Ag و Pb دارای بیشترین آلودگی بودند. همچنین بیشترین مقادیر آلودگی عنصر Zn در ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۱۳، ۱۵ و ۱۶ تعیین گردید (نمودار ۱).

نتایج از نرم افزار GraphPadInStat 3 بهره گرفته شد و به منظور تایید تفاوت معنی‌دار مابین غلظت عناصر در اندام هوایی و ریشه هر گیاه با خاک آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) با آزمون Tukey در سطح احتمال $p < 0.05$ انجام شد.

یافته‌ها

الف) مقدار عناصر Ag، Pb و Zn در نمونه‌های خاک و تعیین میزان آلودگی نمودار ۱ نشان دهنده EF عناصر مورد بررسی در ۲۰ ایستگاه



نمودار ۱- میانگین فاکتور غنی شدگی عناصر Ag، Pb و Zn در خاک محدوده معدنی کانسار زرشوران

هوایی گیاهان و نیز ضریب ECS، ECR و TF برای این عنصر در نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه است. مطابق جدول مذکور، مقدار نقره در نمونه‌های ریشه، اندام هوایی و خاک به ترتیب در بازه ۰/۱-۲/۴ mg/kg، ۰/۱-۲/۱ mg/kg و ۰/۱-۹/۴ mg/kg بود. بیشترین میزان عنصر Ag در ریشه گیاه *E. billardieri* به میزان ۲/۴ mg/kg تعیین شد. همچنین بیشترین مقدار نقره در اندام هوایی *Plantago maritima* به میزان ۲/۱ mg/kg تعیین گردید.

ب) عملکرد گونه‌های گیاهی در پالایش عناصر Ag، Pb و Zn از خاک منطقه معدنی گونه‌های گیاهی نمونه‌برداری شده و شناسایی شده از ایستگاه‌های منطقه معدنی زرشوران در شکل ۲ نمایش داده شده است. بادر نظر گرفتن سه عنصر مورد بررسی یافته‌های زیر حاصل گردیدند. _ عنصر نقره جدول ۲ نشان دهنده محتوی عنصر Ag در خاک، ریشه و اندام



Astragalus rostratus



Euphorbia cheiradenia



Hypericum perforatum



Glycyrrhiza glabra



Eryngium billardieri



Chenopodium foliosum



Scorzonera latifolia



Juncus inflexus



Lotus comiculatus



Plantago maritima



Pseudocomelina glaucophylla



Centurea virgata



Scrophularia azerbaijanica



Papaver orientale



Prangos ferulacea



Silene latifolia



Astragalus brachystachys



Cirsium aduncum



Cichorium intybus



Euphorbia virgata

شکل ۲- گیاهان بومی مورد مطالعه

یک محاسبه شد. این در حالی است که مقدار TF در ۶ گونه گیاهی موجود در جدول ۲، عددی بالاتر از یک بدست آمد. از این تعداد، در ۴ گونه گیاهی که دارای $TF < 1$ بودند، مقادیر ECS و ECR کوچکتر از یک بدست آمد و دو مورد استثناء با مقدار ECS یک و بالاتر از یک، گیاهان *A. rostratus* و *P. ferulacea* بودند (جدول ۲).

با توجه به جدول ۲، فاکتور ECS در ۴ گونه گیاهی شامل *E. billardieri*، *Euphorbia cheiradenia*، *A. rostratus* و *Prangos ferulacea* عددی بالاتر از یک بدست آمد. فاکتور ECR در گیاهان *E. cheiradenia*، *Glycyrrhiza glabra*، *Chenopodium foliosum* و *E. billardieri* و *Scrozonera latifolia* عددی بیشتر از

جدول ۲- میانگین مقادیر BAC، ECR، TF برای عنصر Ag و نیز میانگین مقادیر این عنصر (Mean±SD) در نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه و خاک*

TF	ECR	ECS	مقدار عنصر (mg/kg)			گونه گیاهی
			ریشه	اندام هوایی	خاک	
۴/۰۰	۰/۴۰	۱/۶۰	۰/۲ ± ۰/۰۳ ^b	۰/۸ ± ۰/۰۸ ^a	۰/۵ ± ۰/۲۰ ^{ab}	<i>A. rostratus</i>
۰/۱۹	۵/۳۳	۱/۰۰	۱/۶ ± ۰/۱۵ ^a	۰/۳ ± ۰/۰۴ ^b	۰/۳ ± ۰/۲۰ ^b	<i>E. cheiradenia</i>
۱/۷۱	۰/۴۷	۰/۸۰	۰/۷ ± ۰/۱۰ ^a	۱/۲ ± ۰/۳۰ ^a	۱/۵ ± ۰/۶۵ ^a	<i>H. perforatum</i>
۰/۲۶	۲/۳۸	۰/۶۳	۱/۹ ± ۰/۲۱ ^a	۰/۵ ± ۰/۱۳ ^b	۰/۸ ± ۰/۲۰ ^b	<i>C. foliosum</i>
۰/۰۶	۲/۱۳	۰/۱۳	۱/۷ ± ۰/۱۵ ^a	۰/۱ ± ۰/۰۲ ^b	۰/۸ ± ۰/۳۰ ^b	<i>G. glabra</i>
۰/۳۳	۲۴/۰۰	۸/۰۰	۲/۴ ± ۰/۰۸ ^a	۰/۸ ± ۰/۰۵ ^b	۰/۱ ± ۰/۰۲ ^c	<i>E. billardieri</i>
۰/۱۳	۴/۰۰	۰/۵۰	۰/۸ ± ۰/۱۰ ^a	۰/۱ ± ۰/۰۳ ^b	۰/۲ ± ۰/۱۲ ^b	<i>S. latifolia</i>
۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۸ ± ۰/۲۰ ^b	۰/۲ ± ۰/۰۵ ^b	۴/۹ ± ۱/۲۰ ^a	<i>L. corniculatus</i>
۰/۰۸	۰/۶۰	۰/۰۵	۲/۴ ± ۱/۰۰ ^a	۰/۲ ± ۰/۰۳ ^b	۳ ± ۰/۳۰ ^a	<i>J. inflexus</i>
۱/۷۵	۰/۱۷	۰/۳۰	۱/۲ ± ۰/۰۸ ^c	۲/۱ ± ۰/۱۵ ^b	۷ ± ۰/۵۶ ^a	<i>P. maritima</i>
۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۳ ± ۰/۰۴ ^b	۰/۱ ± ۰/۰۱ ^b	۶/۴ ± ۳/۱۰ ^a	<i>P. glaucophylla</i>
۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۳ ± ۰/۱۱ ^b	۰/۱ ± ۰/۰۲ ^b	۶/۴ ± ۱/۶۰ ^a	<i>C. virgata</i>
۰/۴۰	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۵ ± ۰/۲۰ ^b	۰/۲ ± ۰/۰۴ ^b	۳/۶ ± ۰/۱۴ ^a	<i>P. orientale</i>
۴/۰۰	۰/۲۵	۱/۰۰	۰/۱ ± ۰/۰۲ ^a	۰/۴ ± ۰/۱۰ ^a	۰/۴ ± ۰/۵۰ ^a	<i>P. ferulacea</i>
۱/۰۰	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۳ ± ۰/۰۹ ^b	۰/۳ ± ۰/۰۸ ^b	۱/۷ ± ۰/۴۱ ^a	<i>S. azerbaijanica</i>
-	-	۰/۰۶	< ۰/۱	۰/۱ ± ۰/۰۵ ^b	۱/۶ ± ۰/۱۲ ^a	<i>Si. latifolia</i>
۳/۰۰	۰/۲۹	۰/۸۶	۰/۲ ± ۰/۰۵ ^b	۰/۶ ± ۰/۰۷ ^a	۰/۷ ± ۰/۰۳ ^a	<i>C. aduncum</i>
۰/۳۳	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۳ ± ۰/۰۳ ^b	۰/۱ ± ۰/۰۲ ^b	۴/۲ ± ۱/۳۰ ^a	<i>C. intybus</i>
۰/۵۰	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۶ ± ۰/۲۰ ^b	۰/۳ ± ۰/۰۶ ^b	۱/۷ ± ۰/۵۴ ^a	<i>E. virgata</i>
-	۰/۲۴	-	۰/۴ ± ۰/۲۰ ^b	< ۰/۱	۱/۷ ± ۰/۶۱ ^a	<i>A. brachystachys</i>

*حروف انگلیسی غیرمشترک (a, b, c و ...) در هر سطر مربوط به مقدار عنصر، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) است.

_ عنصر سرب

مطابق جدول ۳، بیشترین مقدار عنصر سرب از ایستگاه ۱۰ به میزان ۲۰۶۶ mg/kg و کمترین مقدار آن از ایستگاه ۶ معادل با ۴ mg/kg تعیین شد. همچنین مقدار این عنصر در نمونه‌های ریشه و اندام هوایی (بدون در نظر گرفتن نمونه‌هایی که دارای مقادیر پایین‌تر از حد تشخیص روش آنالیز (<1 mg/kg) بوده‌اند) به ترتیب در بازه ۳-۳۴۱ mg/kg و

۳-۶۰ mg/kg تعیین شد.

هر دو فاکتور ECS و ECR در سه گونه گیاهی *S. latifolia*، *E. billardieri*، *G. glabra* و *A. rostratus* یک بودند. البته در دو گونه گیاهی *E. cheiradenia* نیز $ECR > 1$ تعیین گردید. از میان ۲۰ گونه گیاهی مورد مطالعه فقط گیاه *H. perforatum* دارای $TF > 1$ بود.

جدول ۳- میانگین مقادیر BAC، ECR و TF برای عنصر Pb و نیز میانگین مقادیر این عنصر (Mean±SD) در نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه و خاک*

TF	ECR	ECS	مقدار عنصر (mg/kg)			گونه گیاهی
			ریشه	اندام هوایی	خاک	
۰/۳۷	۱/۲۱	۰/۴۴	۶۳±۵/۶۰ ^a	۲۳±۵/۷۰ ^b	۵۲ ± ۱۱/۸۰ ^a	<i>A. rostratus</i>
۰/۲۸	۱/۲۳	۰/۳۴	۵۴±۴/۱۵ ^a	۱۵±۲/۴۰ ^b	۴۴ ± ۹/۶۳ ^a	<i>E. cheiradenia</i>
۱/۶۳	۰/۳۰	۰/۴۸	۱۶±۲/۸۰ ^c	۲۶±۱/۲۰ ^b	۵۴ ± ۵/۸۰ ^a	<i>H. perforatum</i>
۰/۹۲	۰/۶۸	۰/۶۳	۲۶±۱/۹۰ ^b	۲۴±۱/۶۰ ^b	۳۸ ± ۱۰/۳۰ ^a	<i>C. foliosum</i>
۰/۲۳	۴/۸۰	۱/۱۰	۴۸±۱/۹۰ ^a	۱۱±۰/۶۸ ^b	۱۰ ± ۳/۹۰ ^b	<i>G. glabra</i>
۰/۵۸	۶/۵۰	۳/۷۵	۲۶±۰/۷۰ ^a	۱۵±۰/۸۷ ^b	۴ ± ۱/۶۰ ^c	<i>E. billardieri</i>
۰/۱۵	۱۷/۲۰	۲/۶۰	۱۷۲±۹/۲۰ ^b	۲۶±۱/۰۰ ^b	۱۰ ± ۳/۴۰ ^c	<i>S. latifolia</i>
۰/۷۸	۰/۱۱	۰/۰۹	۷۷±۶/۵۰ ^b	۶۰±۷/۵۰ ^b	۶۹۹ ± ۷۸/۹۶ ^a	<i>L. corniculatus</i>
۰/۰۵	۰/۳۸	۰/۰۲	۳۴۱±۲۵/۰۰ ^b	۱۸±۱/۵۰ ^c	۸۹۱ ± ۱۰۲/۳۰ ^a	<i>J. inflexus</i>
۰/۴۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۹۴±۵/۶۰ ^b	۴۲±۳/۲۰ ^b	۲۰۶۶ ± ۶۵۳/۰ ^a	<i>P. maritima</i>
۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۰۴	۲۰±۵/۱۰ ^b	۳±۰/۹۰ ^b	۷۷۳ ± ۱۱۸/۳۰ ^a	<i>P. glaucophylla</i>
-	۰/۰۳	-	۶۱±۱۲/۸۰ ^b	<۱	۱۹۹۸ ± ۵۶۷/۰ ^a	<i>C. virgata</i>
-	۰/۰۳	-	۲۲±۱/۸۰ ^b	<۱	۸۵۹ ± ۲۱۳/۰ ^a	<i>P. orientale</i>
-	۰/۰۱	-	<۱	<۱	۸۲ ± ۲۴/۲۰	<i>P. ferulacea</i>
-	۰/۲۰	-	۳±۰/۴۲ ^b	<۱	۱۷۳ ± ۵۶/۳۰ ^a	<i>S. azerbaijanica</i>
-	-	-	<۱	<۱	۳۶۰ ± ۳۹/۶۰	<i>Si. latifolia</i>
-	-	-	<۱	<۱	۵۴ ± ۱۱/۹۰	<i>C. aduncum</i>
۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۱	۲۹±۲/۳۰ ^b	۳ ± ۰/۵۱ ^b	۴۷۰ ± ۶۶/۸۰ ^a	<i>C. intybus</i>
-	-	-	<۱	<۱	۳۷ ± ۱۲/۴۰	<i>E. virgata</i>
-	-	-	<۱	<۱	۲۳ ± ۹/۱۰	<i>A. brachystachys</i>

*حروف انگلیسی غیر مشترک (a, b, c و ...) در هر سطر مربوط به مقدار عنصر، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) است.

– عنصر روی

مطابق یافته‌ها، بیشترین مقدار میانگین عنصر روی در خاک در ایستگاه شماره ۱۳ و معادل با ۷۱۱۷ mg/kg تعیین شد. همچنین بیشترین مقدار این عنصر در ریشه گیاهان، به ریشه گیاه *Papaver orientalis* جمع آوری شده در همان ایستگاه مربوط می‌شد. مقدار عنصر روی در اندام هوایی ۲۰ گونه گیاهی مورد مطالعه، عددی بین ۱۶۵-۲۱ mg/kg تعیین

گردید (جدول ۴).

تنها گونه گیاهی *E. billardieri* دارای $ECS > 1$ ($ECS = 1/14$) بود و گونه‌های *A. rostratus*، *E. billardieri* و *S. latifolia* به عنوان گیاهانی واجد $ECR > 1$ تعیین شدند. همچنین فاکتور TF تنها در گونه‌های گیاهی، *H. perforatum*، *C. foliosum* و *Astragalus brachystachys* بیشتر از یک محاسبه شد.

جدول ۴- میانگین مقادیر BAC، ECR، TF برای عنصر Zn و نیز میانگین مقادیر این عنصر (Mean±SD) در نمونه‌های

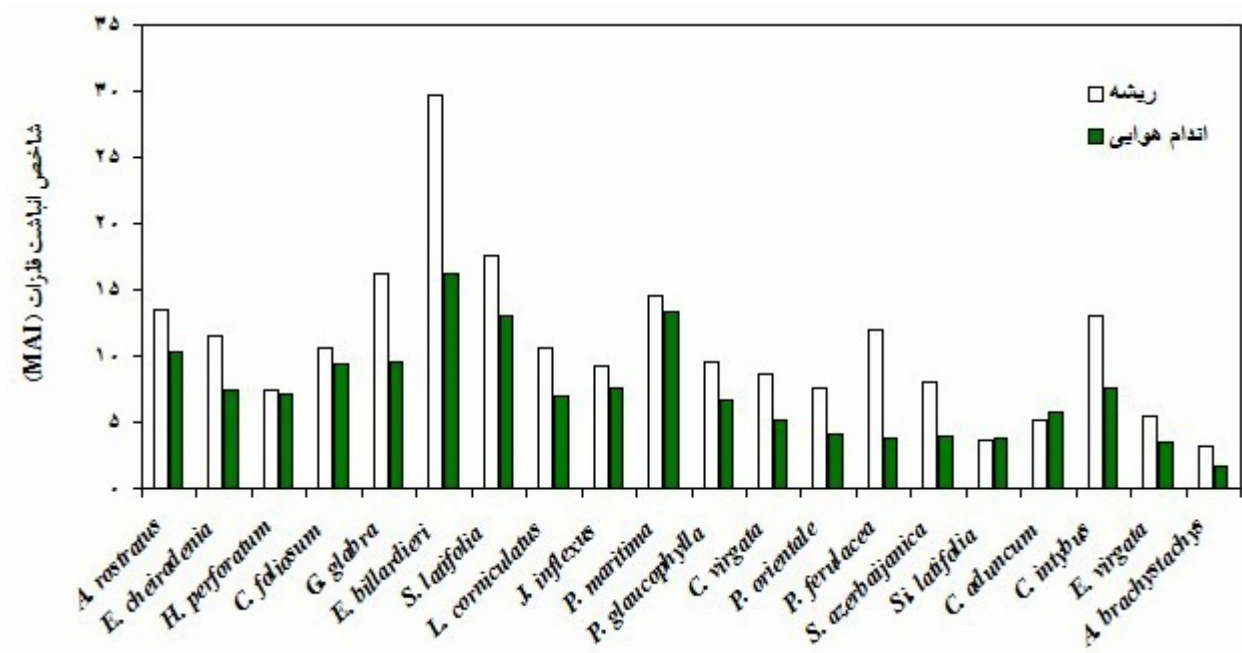
گیاهی مورد مطالعه و خاک*

TF	ECR	ECS	مقدار عنصر (mg/kg)			گونه گیاهی
			ریشه	اندام هوایی	خاک	
۰/۳۹	۱/۵۹	۰/۶۱	۷۰ ± ۳/۱۰ ^a	۲۷ ± ۱/۶۰	۴۴ ± ۱۰/۲۰ ^c	<i>A. rostratus</i>
۰/۹۱	۰/۴۸	۰/۴۴	۴۳ ± ۳/۹۰ ^b	۳۹ ± ۴/۵۰ ^b	۸۹ ± ۲۱/۹۰ ^a	<i>E. cheiradenia</i>
۱/۶۴	۰/۳۷	۰/۶۰	۲۵ ± ۲/۶۰ ^c	۴۱ ± ۱۱/۲۰ ^b	۶۸ ± ۵/۶۰ ^a	<i>H. perforatum</i>
۱/۲۴	۰/۵۴	۰/۶۷	۳۸ ± ۴/۲۰ ^b	۴۷ ± ۵/۱۲ ^b	۷۰ ± ۱۵/۸۰ ^a	<i>C. foliosum</i>
۰/۶۸	۰/۲۵	۰/۱۷	۳۴ ± ۲/۸۰ ^b	۲۳ ± ۳/۱۰ ^b	۱۳۵ ± ۳۵/۶۰ ^a	<i>G. glabra</i>
۰/۹۶	۱/۱۹	۱/۱۴	۶۸ ± ۳/۱۰ ^a	۶۵ ± ۴/۲۰ ^a	۵۷ ± ۹/۶۰ ^a	<i>E. billardieri</i>
۰/۱۹	۴/۶۷	۰/۸۸	۱۱۲ ± ۴/۳۰ ^a	۲۱ ± ۲/۲۰ ^b	۲۴ ± ۲/۴۰ ^b	<i>S. latifolia</i>
۰/۵۸	۰/۱۳	۰/۰۸	۱۳۴ ± ۸/۳۰ ^b	۷۸ ± ۸/۸۰ ^b	۱۰۲۴ ± ۶۹/۹۰ ^a	<i>L. corniculatus</i>
۰/۲۳	۰/۶۴	۰/۱۵	۵۸۲ ± ۵۰/۳ ^b	۱۳۳ ± ۳۲/۱ ^c	۹۰۷ ± ۷۸/۲۰ ^a	<i>J. inflexus</i>
۰/۴۵	۰/۱۷	۰/۰۸	۳۶۳ ± ۳۰/۶ ^b	۱۶۵ ± ۱۲/۹ ^b	۲۱۶۹ ± ۳۶۵/۲۰ ^a	<i>P. maritima</i>
۰/۶۵	۰/۰۸	۰/۰۵	۵۴ ± ۳/۱۰ ^b	۳۵ ± ۵/۲۰ ^b	۷۰۲ ± ۷۴/۴ ^a	<i>P. glaucophylla</i>
۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۰۲	۱۳۳ ± ۷/۳۰ ^b	۲۱ ± ۲/۰۰ ^c	۸۷۹ ± ۶۵/۹۰ ^a	<i>C. virgata</i>
۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۰۲	۶۵۳ ± ۸۰/۲ ^b	۱۴۵ ± ۲۰/۳ ^c	۷۱۱۷ ± ۱۱۲۳/۰ ^a	<i>P. orientale</i>
۰/۴۹	۰/۱۲	۰/۰۶	۹۹ ± ۳/۲۰ ^b	۴۹ ± ۶/۷۰ ^b	۸۵۷ ± ۱۰۲/۳۰ ^a	<i>P. ferulacea</i>
۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۱۶۱ ± ۱۱/۹۰ ^b	۳۴ ± ۴/۲۰ ^b	۲۷۶۴ ± ۳۰۴/۵۰ ^a	<i>S. azerbaijanica</i>
۰/۳۷	۰/۰۳	۰/۰۱	۱۰۸ ± ۹/۸۰ ^b	۴۰ ± ۴/۲۰ ^c	۳۱۷۵ ± ۱۱۰۲/۰ ^a	<i>Si. latifolia</i>
۰/۸۱	۰/۱۲	۰/۰۹	۹۰ ± ۷/۸۲ ^b	۷۳ ± ۸/۲۰ ^b	۷۸۲ ± ۸۹/۷۰ ^a	<i>C. aduncum</i>
۰/۴۳	۰/۰۷	۰/۰۳	۲۰۹ ± ۱۲/۷ ^b	۸۹ ± ۷/۴۰ ^c	۲۹۵۶ ± ۱۴۲۳/۱ ^a	<i>C. intybus</i>
۰/۶۸	۰/۰۴	۰/۰۳	۷۲ ± ۱۵/۳۰ ^b	۴۹ ± ۸/۶۰ ^b	۱۶۲۰ ± ۲۳۹/۶۵ ^a	<i>E. virgata</i>
۱/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۳	۲۶ ± ۳/۵۰ ^b	۲۹ ± ۵/۹۰ ^b	۲۱۶ ± ۶۱/۸۴ ^a	<i>A. brachystachys</i>

*حروف انگلیسی غیرمشترک (a, b, c و ...) در هر سطر مربوط به مقدار عنصر، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.05$) است.

MAI شاخص ۱/۶-۱۶/۲ محاسبه گردید. بیشترین میزان MAI در ریشه و اندام هوایی به ترتیب با مقادیر ۲۹/۷ و ۱۶/۲ به گیاه *E. billardieri* تعلق دارد.

MAI شاخص برای دو بخش ریشه و اندام هوایی گونه‌های گیاهی محاسبه گردید (نمودار ۲). مقدار این شاخص برای ریشه و اندام هوایی گیاهان به ترتیب در بازه ۳/۱-۲۹/۷ و



نمودار ۲- شاخص MAI در ریشه و اندام هوایی گیاهان مورد مطالعه

مقدار میانگین Ag در پوسته زمین معادل ۰/۰۶ mg/kg گزارش شده است. همچنین مقدار متوسط آن در خاک‌های جهان ۰/۱۳ mg/kg است (۴۲). این در حالی است که میانگین نقره در نمونه‌های خاک مورد مطالعه ۲/۶ mg/kg بوده و خاک این منطقه آلودگی قابل توجهی به عنصر نقره دارد. مقدار نقره در گیاهان ۰/۰۳-۰/۰۵ گزارش شده است (۴۲، ۴۳). اگرچه مقدار نقره در گیاه با توجه به گونه گیاهی،

بحث

تاریخ طولانی معدنکاری در منطقه معدنی زرشوران، منجر به تولید و انباشت حجم بالایی از مواد معدنی باطله شده است و مطابق نتایج پژوهش‌های گذشته، فعالیت‌های معدنکاری، هوازدگی مواد باطله و مقدار بالای فلزات کمیاب در این محدوده از عمده‌ترین منابع آلودگی فلزات سنگین هستند (۲۱).

روی در ایران کوه و کوشک تایید شده است. به طوری که از بین ۶۷ گونه گیاهی در منطقه ایران کوه، تنها گونه بومی *Scrozonera tortuosissima* توانایی انباشت 650 mg/kg سرب را در پیکر خود داشته است (۴۶) و یا گونه *Achillea willhelmsii* در منطقه کوشک جزو گیاهانی تعیین شد که مقادیر بالایی از سرب را در ریشه خود انباشت می کند (۴۷). همچنین گزارشاتی مبنی بر تجمع بالای سرب در جنس *Euphorbia prostrata* از خانواده Euphorbiaceae نیز در توافق با نتایج بدست آمده در این پژوهش، وجود دارد (۴۸). طبق مطالعات گذشته، گیاهانی که دارای ریشه گسترده تری هستند، به طور متوسط می توانند Pb را در خود انباشت کنند؛ اما گیاهان واجد اندام هوایی گسترده تر معمولاً در انباشت سرب قوی تر عمل می کنند (۴۹).

مقدار میانگین روی در پوسته زمین و نیز مقدار میانگین جهانی آن در خاک به ترتیب معادل 70 mg/kg و $60-90 \text{ mg/kg}$ گزارش شده است (۴۲) و مهم ترین دلیل آلودگی روی ناشی از فعالیت های انسانی در کره زمین، در وهله اول فعالیت های صنایع فلزی غیر آهن و در وهله دوم فعالیت های کشاورزی است. در نمونه های خاک مورد بررسی در این منطقه، میانگین عنصر روی 1283 mg/kg تعیین گردید که نشان از آلودگی بالای این عنصر دارد. مطالعات قبلی مقدار میانگین روی در گیاهان علوفه ای مانند گندمیان و حبوبات را به میزان $12-47 \text{ mg/kg}$ گزارش کرده اند (۴۲). سه گونه گیاهی *A. rostratus*، *E. billardieri* و *S. latifolia* دارای ECR و یا ECS بالاتر از یک بوده، در حالی که مقدار TF در این سه گونه گیاهی عددی کوچک تر از یک است. بنابراین هر سه گونه مذکور دارای قابلیت تثبیت گیاهی عنصر روی هستند. توانایی برخی اعضای خانواده گیاهی Asteraceae که گیاهان *E. billardieri* و *S. latifolia*

مقدار نقره در خاک و نیز زمان نمونه برداری می تواند متفاوت باشد. مطابق نتایج بدست آمده، تنها دو گونه گیاهی *A. rostratus* و *P. ferulacea* دارای ECS و TF بالاتر از یک بودند. بنابراین با در نظر گرفتن میزان Ag در خاک، این گیاهان قابلیت استفاده در فرایند استخراج گیاهی را دارا هستند. همچنین گونه های گیاهی *C. foliosum*، *E. billardieri*، *G. Glabra* و *S. latifolia* با وجود داشتن مقدار ECR و یا ECS بالاتر از یک، دارای $TF < 1$ هستند. پس چهار گونه مذکور دارای توانایی تثبیت گیاهی عنصر Ag هستند.

مقدار میانگین جهانی سرب در پوسته زمین و نیز در خاک مناطق مختلف جهان به ترتیب معادل 15 mg/kg و 27 mg/kg گزارش شده است (۴۲). در نمونه های خاک منطقه مورد مطالعه، مقادیر سرب در بازه $4-2066 \text{ mg/kg}$ تعیین شد. مطابق با نتایج بدست آمده، گیاهان *A. rostratus* و *G. glabra* هر دو متعلق به خانواده Fabaceae، گیاه *E. cheiradenia* متعلق به خانواده Euphorbiaceae، گیاه *E. billardieri* جزو خانواده Apiaceae و گیاه *S. latifolia* جزو خانواده Asteraceae همگی دارای ECS و یا ECR بالاتر از یک بوده و دارای $TF < 1$ هستند؛ بنابراین این گیاهان دارای قابلیت تثبیت گیاهی عنصر سرب در خاک هستند. جذب عنصر سرب توسط گیاهان متأثر از چندین عامل است که از آن جمله می توان به مقدار ماده ارگانیک موجود در خاک، وضعیت دانه بندی خاک، pH، عوامل ژنتیکی گیاه، سطح و آگزودیت های ریشه اشاره نمود (۴۴). مطابق مطالعات گذشته، توانایی بالایی گیاه *Vachellia campechiana* به عنوان عضو دیگری از خانواده Fabaceae در انباشت سرب در پیکر خود، به اثبات رسیده است (۴۵). تجمع بالای Pb در جنس های *Scrozonera* و *Achillea* (هر دو متعلق به خانواده Asteraceae) به ترتیب در منطقه معدنی سرب-

نیز متعلق به این خانواده گیاهی هستند، در پژوهش‌های گذشته به اثبات رسیده است. به طوری که توانایی بالای دو گونه *Matricaria inodora* و *Crepis setosa* در گیاه‌پالایی عنصر Zn از خاک تایید و به عنوان گونه‌های مناسب برای پالایش سبز Zn معرفی شده‌اند (۵۰).

مطابق نتایج بدست آمده بیشینه MAI محاسبه شده برای گیاهان، به *E. billardieri* مربوط می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که این گیاه توانایی بیشتری در جذب و انباشت عناصر نقره، سرب و روی دارد. اگرچه، مقایسه نتایج مطالعات انجام گرفته بر روی مقادیر MAI در چندین شهر آلوده به فلزات از جمله عسلویه در ایران، نشان داد که سطوح MAI می‌تواند براساس گونه گیاهی، میزان رشد گیاه، زمان نمونه برداری، نوع فعالیت‌های انسانی، منابع اصلی آلوده کننده، تاثیرات باد و ... متفاوت باشد (۵۱). در مطالعات نشان داده شده است که گیاهان دارای برگ‌های بزرگ و زیاد می‌توانند فلزات سنگین هوا برد بیشتری را گردآوری کنند و به عنوان موانعی در برابر آسیب ناشی از آلودگی فلزات سنگین عمل نمایند (۴۰).

با توجه به محدودیت‌های زمانی و مالی در این پژوهش و البته پوشش گیاهی بسیار متنوع در منطقه مورد مطالعه، امکان ارزیابی عملکرد گونه‌های گیاهی بیشتر در پالایش خاک وجود نداشت. از میان گونه‌های گیاهی مورد مطالعه، گیاه ابرناباشگر نقره، سرب و یا روی شناسایی نشد و فقط بر نقش موفق برخی گونه‌ها در استخراج یا تثبیت فلزات مورد مطالعه، تاکید گردید. بدیهی است افزایش تعداد نمونه‌ها در هر ایستگاه و افزایش تعداد گونه‌های گیاهی بومی مورد مطالعه در منطقه، منجر به نتایج دقیق‌تر و شناسایی تعداد بیشتری از گونه‌های گیاهی موفق در امر گیاه‌پالایی فلزات سنگین می‌شود. بنابراین نسبت به مطالعه سایر گونه‌های گیاهی منطقه، به منظور شناسایی و معرفی گونه‌های گیاهی توانمند در گیاه‌پالایی فلزات توصیه می‌گردد. شناسایی گونه‌های گیاهی موفق در پالایش گیاهی به ویژه گیاهان ابرناباشگر

بومی می‌تواند مقدمه‌ای بر کشت این گونه‌های گیاهی در بخش‌های به شدت آلوده و مدیریت سبز آلاینده‌های فلزی ناشی از فعالیت‌های انسانی در منطقه گردد. اگرچه این پژوهش منجر به شناسایی برخی گونه‌های گیاهی موفق در گیاه‌پالایی فلزات نقره، سرب و روی گردید؛ ولی به دلیل محدودیت‌های مالی امکان مطالعه عملکرد پالایش گونه‌های گیاهی بیشتر وجود نداشت. بنابراین در پژوهش‌های آتی نسبت به مطالعه سایر گونه‌های گیاهی منطقه، به منظور شناسایی و معرفی گونه‌های گیاهی توانمند در گیاه‌پالایی فلزات به ویژه گیاهان ابرناباشگر توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج بررسی شاخص آلودگی EF، آلودگی بالایی برای عناصر Ag، Pb و Zn در نمونه‌های خاک برداشت شده از محدوده معدنی زرشوران تعیین گردید. همچنین مشخص شد که دو گونه گیاهی *A. rostratus* و *P. ferulacea* قابلیت استفاده در فرایند استخراج گیاهی عنصر نقره را دارند و گونه‌های گیاهی، *E. billardieri*، *C. foliosum* و *G. glabra* و *S. latifolia* می‌توانند عنصر Ag را در خاک تثبیت نمایند. گیاهان *A. rostratus* و *G. glabra* به عنوان گیاهانی با قابلیت تثبیت گیاهی عنصر سرب در خاک تعیین شدند. همچنین سه گونه گیاهی، *A. rostratus*، *E. billardieri* و *S. latifolia* دارای قابلیت تثبیت گیاهی عنصر روی بودند. براساس مقادیر شاخص MAI محاسبه شده نیز گیاه *E. billardieri* از بیشترین توانایی در انباشت زیستی عناصر نقره، سرب و روی برخوردار بود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار

برخی از فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی رشد یافته در محدوده کانسار طلای زرشوران، شمال غرب ایران"، در سال ۱۴۰۰ با کد ۹۹۰۱۹۵۸۰ استخراج شده است. لازم است مراتب قدردانی خود را از ریاست محترم این صندوق اعلام داریم.

دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل از طرح تحقیقاتی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور با عنوان "ارزیابی انباشت زیستی

References

1. Fashola MO, Ngole-Jeme VM, Babalola OO. Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016;13(11):1047.
2. Sarwar N, Imran M, Shaheen MR, Ishaque W, Kamran MA, Matloob A, et al. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*. 2017;171:710-21.
3. Rascio N, Navari-Izzo F. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*. 2011;180(2):169-81.
4. Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, Khazdair MR, Sadeghi M. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology*. 2021;12.
5. Sobhanardakani S, Tayebi L, Hosseini SV. Health risk assessment of arsenic and heavy metals (Cd, Cu, Co, Pb, and Sn) through consumption of caviar of *Acipenser persicus* from Southern Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(3):2664-71.
6. Sobhanardakani S. Potential health risk assessment of heavy metals via consumption of caviar of Persian sturgeon. *Marine Pollution Bulletin*. 2017;123(1):34-38.
7. Hosseinniaee S, Jafary M, Tavili A, Zare S. Geochemical and ecological assessment of some heavy metals in the soil around the lead and zinc mine in northwestern of Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;14(1):159-72.(in Persian)
8. Sasmaz M, Arslan Topal EI, Obek E, Sasmaz A. The potential of *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. to remove Cu, Pb, Zn, and As in gallery water in a mining area in Keban, Turkey. *Journal of Environmental Management*. 2015;163:246-53.
9. Khalid S, Shahid M, Niazi NK, Murtaza B, Bibi I, Dumat C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017;182:247-68.
10. Pilon-Smits E. Phytoremediation. *Annual*

- Review of Plant Biology. 2005;56:15-39.
11. Susarla S, Medina VF, McCutcheon SC. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*. 2002;18(5):647-58.
 12. Chandanshive VV, Rane NR, Tamboli AS, Gholave AR, Khandare RV, Govindwar SP. Co-plantation of aquatic macrophytes *Typha angustifolia* and *Paspalum scrobiculatum* for effective treatment of textile industry effluent. *Journal of Hazardous Materials*. 2017;338:47-56.
 13. Shahid M, Dumat C, Khalid S, Schreck E, Xiong T, Niazi NK. foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*. 2017;325:36-58.
 14. Sheoran V, Sheoran AS, Poonia P. Factors affecting phytoextraction: a review. *Pedosphere*. 2016;26(2):148-66.
 15. Yan A, Wang Y, Tan SN, Mohd Yusof ML, Ghosh S, Chen Z. Phytoremediation: a promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:359.
 16. Peer WA, Baxter IR, Richards EL, Freeman JL, Murphy AS. Phytoremediation and hyperaccumulator plants. In: Tamas MJ, Martinoia E, editors. *Molecular Biology of Metal Homeostasis and Detoxification: From Microbes to Man*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2006. p. 299-340.
 17. Chirakkara RA, Cameselle C, Reddy KR. Assessing the applicability of phytoremediation of soils with mixed organic and heavy metal contaminants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2016;15(2):299-326.
 18. Wu B, Peng H, Sheng M, Luo H, Wang X, Zhang R, et al. Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area in Southwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;220:112368.
 19. Chamba-Eras I, Griffith DM, Kalinhoff C, Ramírez J, Gázquez MJ. Native hyperaccumulator plants with differential phytoremediation potential in an artisanal gold mine of the Ecuadorian Amazon. *Plants*. 2022;11(9):1186.
 20. Alizadeh A, Ghorbani J, Motamedi J, Vahabzadeh G, Edraki M, van der Ent A. Metal and metalloids accumulation in native plants around a copper mine site: implications for phytostabilization. *International Journal of Phytoremediation*. 2022;24(11):1141-51.
 21. Modabberi S, Moore F. Environmental geochemistry of Zarshuran Au-As deposit, NW Iran. *Environmental Geology*. 2004;46(6):796-807.
 22. Karimi N, Ghaderian SM, Maroofi H, Schat H. Analysis of arsenic in soil and vegetation of a contaminated area in Zarshuran, Iran. *International Journal of Phytoremediation*. 2009;12(2):159-73.
 23. Torbati S, Alipour S, Rostami M, Hajjalizadeh S. Bio-accumulation of major, trace, and rare earth elements by two *Astragalus* species grown on Agh-Dareh and Zarshouran gold deposits, Takab,

- NW Iran. Journal of Mining and Environment. 2018;9(2):417-29.
24. USEPA. Method 3050B: acid digestion of sediments, sludges, and soils. Washington, DC: EPA; 1996.
25. Khalid N, Hussain M, Young HS, Ashraf M, Hameed M, Ahmad R. Lead concentrations in soils and some wild plant species along two busy roads in Pakistan. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2018;100(2):250-58.
26. Hosseini NS, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Merrikhpour H. Feasibility of using *Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba* for biomonitoring and bioremediation of heavy metals (Zn, Pb and Ni) in the roadside environments. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):607-20.(in Persian)
27. Rechinger KH. Flora Iranica. Graz, Austria: Akademische Druck und Verlagsanstalt; 1963-2010.
28. Davis PH. Flora of Turkey. Edinburgh.: Edinburgh University Press; 1984.
29. Townsend CC, Guest E. Flora of Iraq. Baghdad, Iraq: Ministry of Agriculture and Agrarian Reform; 1966-1985.
30. Pekey H, Karakaş D, Ayberk S, Tolun L, Bakoğlu M. Ecological risk assessment using trace elements from surface sediments of İzmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. Marine Pollution Bulletin. 2004;48(9):946-53.
31. Anbuselvan N, Senthil Nathan D, Sridharan M. Heavy metal assessment in surface sediments off Coromandel Coast of India: Implication on marine pollution. Marine Pollution Bulletin. 2018;131:712-26.
32. Ghosh M, Singh SP. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. Environmental Pollution. 2005;133(2):365-71.
33. Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian A, Ali-Taleshi M, Azimi Yancheshmeh R. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(1):75-86.(in Persian)
34. Perel'man AI. Landscape geochemistry (translation no. 676, Geological Survey of Canada, 1972). Moscow: Vysshaya Shkola; 1966.
35. Baker AJM, Reeves RD, Hajar ASM. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. & C. Presl (Brassicaceae). New Phytologist. 1994;127(1):61-68.
36. Sasmaz A. Translocation and accumulation of boron in roots and shoots of plants grown in soils of low boron concentration in Turkey's Keban Pb-Zn mining area. International Journal of Phytoremediation. 2008;10(4):302-10.
37. Yoon J, Cao X, Zhou Q, Ma LQ. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of The Total Environment. 2006;368(2):456-64.

38. Aghelan N, Sobhanardakani S, Cheraghi M, Lorestani B, Merrikhpour H. Evaluation of chelating agents with different biodegradability rates on the enhanced phytoremediation efficiency of ornamental species (*Amaranthus caudatus* and *Tagetes patula*) in cadmium Contaminated Soils. *Journal of Environmental Health Engineering*. 2020;7(4):427-42.
39. Liu Y-J, Zhu Y-G, Ding H. Lead and cadmium in leaves of deciduous trees in Beijing, China: Development of a metal accumulation index (MAI). *Environmental Pollution*. 2007;145(2):387-90.
40. Hatami-manesh M, Mortazavi S, Solgi E, Mohtadi A. Assessing the uptake and accumulation of heavy metals and particulate matter from ambient air by some tree species in Isfahan Metropolis, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28(30):41451-63.
41. Liang J, Fang HL, Zhang TL, Wang XX, Liu YD. Heavy metal in leaves of twelve plant species from seven different areas in Shanghai, China. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017;27:390-98.
42. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton, Florida: CRC Press; 2010.
43. Smith IC, Carson BL. Trace metals in the environment: silver. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science Publishers; 1977.
44. Steinnes E. Lead. In: Alloway BJ, editor. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Dordrecht: Springer Netherlands; 2013. p. 395-409.
45. Santoyo-Martínez M, Mussali-Galante P, Hernández-Plata I, Valencia-Cuevas L, Flores-Morales A, Ortiz-Hernández L, et al. Heavy metal bioaccumulation and morphological changes in *Vachellia campechiana* (Fabaceae) reveal its potential for phytoextraction of Cr, Cu, and Pb in mine tailings. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;27(10):11260-76.
46. Ghaderian SM, Hemmat GR, Reeves RD, Baker AJM. Accumulation of lead and zinc by plants colonizing a metal mining area in Central Iran. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2007;81(2):145-50.
47. Mahdavian K, Ghaderian SM, Torkzadeh-Mahani M. Accumulation and phytoremediation of Pb, Zn, and Ag by plants growing on Koshk lead-zinc mining area, Iran. *Journal of Soils and Sediments*. 2017;17(5):1310-20.
48. Machado-Estrada B, Calderón J, Moreno-Sánchez R, Rodríguez-Zavala JS. Accumulation of arsenic, lead, copper, and zinc, and synthesis of phytochelatins by indigenous plants of a mining impacted area. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20(6):3946-55.
49. Alexander PD, Alloway BJ, Dourado AM. Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables. *Environmental Pollution*. 2006;144(3):736-45.
50. GliŠIĆ RM, Simić ZB, Grbović FJ, Rajičić VR, Branković SR. Phytoaccumulation of metals in three plants species of the Asteraceae family

sampled along a highway. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2021;49(2):12180.

51. Safari M, Ramavandi B, Sanati AM, Sorial GA, Hashemi S, Tahmasebi S. Potential of trees leaf/bark to control atmospheric metals in a gas and petrochemical zone. *Journal of Environmental Management*. 2018;222:12-20.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>
Original Article



Determining the concentration of Ag, Pb and Zn elements in some indigenous plant species grown in Zarshouran mining area, northwestern Iran

Samaneh Torbati^{1,*}, Shokouh Esmailbegi Kermani²

1- Department of Ecology and Aquatic Stocks Management, Artemia and Aquaculture Research Institute, Urmia University, Urmia, Iran
2- Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 16 August 2022
Revised: 1 November 2022
Accepted: 6 November 2022
Published: 20 December 2022

ABSTRACT

Background and Objective: Phytoremediation is one of the eco-friendly treatment methods that can play important role in removing heavy metals. In the present research that was done in 2021, the potential of 20 plant species for treatment of silver, lead, and zinc elements from the soil of Zarshouran mine area was evaluated.

Materials and Methods: Sampling of the soil and plants were done following the selection of 20 sampling points. After preparing the samples, the amount of the studied elements were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Metal pollution levels in the soil were assessed using the enrichment factor (EF). Moreover, the enrichment coefficient of root (ECR) and shoot (ECS), translocation factor (TF) and metal accumulation index (MAI) were calculated.

Results: A high contamination of Ag, Pb and Zn elements were determined in the soil of the studied area. Two plant species *Astragalus rostratus* and *Prangos ferulacea* had ECS and TF higher than one for Ag. Also, only *Eryngium billardieri* and *Scrozonera latifolia* had ECS/ECR >1 and TF <1 for the three elements. The highest amount of MAI in root and shoot belonged to *E. billardieri* with values of 29.7 and 16.2, respectively.

Conclusion: *A. rostratus* and *P. ferulacea* had the potential for phytoextraction of Ag from the soil. Also, only two species *E. billardieri* and *S. latifolia* were able to phytostabilization all three elements. Based on MAI values, *E. billardieri* had the greatest ability to bioaccumulate Ag, Pb and Zn elements.

Keywords: Bioaccumulation, Phytoremediation, Phytostablization, Phytoextraction, Zarshouran deposit

*Corresponding Author:

s.torbati@urmia.ac.ir
samaneh.torbati@yahoo.com

Please cite this article as: Torbati S, Esmailbegi Kermani Sh. Determining the concentration of Ag, Pb and Zn elements in some indigenous plant species grown in Zarshouran mining area, northwestern Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(3):379-98.

