

Bioaccumulation Efficiency Comparison of Heavy Metals in *Verbascum speciosum*, *Acantholimon hohenackeri*, *Acanthophyllum microcephalum*, and *Euphorbia macroclada*, Grown Around Lead and Zinc Mines

Mohsen Samimi

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Kermanshah University of Technology, Kermanshah, Iran.

Mohsen Shahriari-Moghadam

* Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. (Corresponding Author) mohsen.shahriari@uoz.ac.ir

Received: 2023/05/03

Accepted: 2023/09/08

Doi: 10.22038/jreh.2024.23860

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Purpose: Phytoremediation stands out as one of the effective techniques for stabilizing, extracting, trapping, or detoxifying pollutants utilizing plants. This cost-effective and environmentally friendly approach leads to the revitalization and enhancement of vegetation, along with increased activity and growth of microorganisms. In this study, the species cultivated in the tailings of the lead and zinc mines of Ravanj were identified and assessed.

Materials and Methods: Indigenous plants thriving in mineral tailings were isolated from the root portion. Random sampling of the identified soil and plant species was conducted. The accumulation of heavy metals (lead, zinc, manganese, chromium, copper, nickel, cadmium, and cobalt) in the soil, aerial organs, and roots of plants were quantified. Additionally, the bioconcentration factor of the aerial and root parts and the transfer factor were computed.

Results: Among the heavy metals, cadmium, zinc, lead, and manganese displayed the highest accumulations in the leaves of *Euphorbia macroclada* (3.91 ± 0.17 mg/kg), *Verbascum speciosum* (751.94 ± 42.67 mg/kg), *Acanthophyllum microcephalum* (272.11 ± 31.73 mg/kg), and *Acanthophyllum microcephalum* (594.59 ± 9.76 mg/kg), respectively. Conversely, cobalt, chromium, copper, and nickel exhibited the most significant accumulations in the roots of *Acantholimon hohenackeri* (3.17 ± 0.55 mg/kg), *Acantholimon hohenackeri* (20.16 ± 2.28 mg/kg), *Euphorbia macroclada* (19.51 ± 0.36 mg/kg), and *Verbascum speciosum* (17.56 ± 0.90 mg/kg), respectively. *Euphorbia macroclada* demonstrated the highest bioconcentration in aerial parts and roots concerning cadmium metal (0.40). Furthermore, the *Acantholimon hohenackeri* plant exhibited the highest transfer factor (2.75), primarily associated with lead metal.

Conclusion: Based on the findings of this study, the investigated species within the lead and zinc mines of Ravanj could serve as heavy metal-resistant ecotypes, contributing to the reduction of heavy metal mobility and bioavailability, thereby enhancing soil texture quality.

Keywords: Bioconcentration, Tailing, Polluted soils, Bioavailability, Ravanj mine

► **Citation:** Samimi M, Shahriari-Moghadam M. Bioaccumulation Efficiency Comparison of Heavy Metals in *Verbascum speciosum*, *Acantholimon hohenackeri*, *Acanthophyllum microcephalum*, and *Euphorbia macroclada*, Grown Around Lead and Zinc Mines. *Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2024; 9(4): 349-360.

مقایسه کارایی انباشت زیستی فلزات سنگین در *Verbascum speciosum*. *Acantholimon*

hohenackeri. *Acanthophyllum microcephalum*. *Euphorbia macroclada*

رشد یافته در اطراف معادن سرب و روی

چکیده

زمینه و هدف: گیاه‌بالایی از روش‌های کارآمد در تثبیت، استخراج، محبوس کردن و یا سمیت‌زدایی از آلاینده‌ها با استفاده از گیاهان بشمار می‌رود. این روش ارزان قیمت و دوستدار محیط زیست، موجب احیاء، توسعه پوشش گیاهی و همچنین افزایش فعالیت و رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود. در این مطالعه گونه‌های رشدیافته در خاک‌روبه‌های معادن سرب و روی راونج شناسایی و ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها: گیاهان بومی رشد کرده در خاک‌روبه‌های معدنی، از قسمت ریشه جدا شدند. نمونه‌برداری به صورت تصادفی از خاک و گونه‌های گیاهی شناسایی شده انجام شد. میزان تجمع فلزات سنگین (سرب، روی، منگنز، کروم، مس، نیکل، کادمیوم و کبالت) در خاک، اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان مورد سنجش قرار گرفت. همچنین شاخص‌های تغلیظ زیستی بخش هوایی و ریشه‌ای و عامل انتقال محاسبه گردید.

یافته‌ها: فلزات سنگین کادمیوم، روی، سرب و منگنز به ترتیب بیشترین تجمع را در برگ گیاهان *Verbascum speciosum* (۳/۹۱±۰/۱۷) میلی گرم بر کیلوگرم، *Euphorbia macroclada* (۷۵۱/۹۴±۴۲/۶۷) میلی گرم بر کیلوگرم، *Acanthophyllum microcephalum* (۲۷۲/۱۱±۳۱/۷۳) میلی گرم بر کیلوگرم و *Acanthophyllum microcephalum* (۵۹۴/۵۹±۹/۷۶) میلی گرم بر کیلوگرم) دارا بودند. همچنین فلزات کبالت، کروم، مس و نیکل به ترتیب بیشترین تجمع را در ریشه گیاهان *Acantholimon hohenackeri* (۳/۱۷±۰/۵۵) میلی گرم بر کیلوگرم، *Acantholimon hohenackeri* (۲۰/۱۶±۲/۲۸) میلی گرم بر کیلوگرم، *Euphorbia macroclada* (۱۹/۵۱±۰/۳۶) میلی گرم بر کیلوگرم و *Verbascum speciosum* (۱۷/۵۶±۰/۹۰) میلی گرم بر کیلوگرم) نشان دادند. گیاه *Euphorbia macroclada* بیشترین میزان تغلیظ زیستی در اندام هوایی و ریشه‌ای مربوط به فلز کادمیوم (۰/۴۰) را از خود نشان داد. همچنین بیشترین میزان عامل انتقال (۲/۷۵) مربوط به فلز سرب و توسط گیاه *Acantholimon hohenackeri* انجام شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج پژوهش حاضر، گونه‌های مورد بررسی در معدن سرب و روی راونج می‌تواند به عنوان گیاهان مقاوم به فلزات سنگین به منظور کاهش تحرک و فراهمی زیستی فلزات سنگین و در نتیجه بهبود کیفیت بافت خاک استفاده نمود.

کلید واژه‌ها: تغلیظ زیستی، خاک‌روبه معدن، خاک‌های آلوده، فراهمی زیستی، معدن راونج

محسن صمیمی

استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ایران.

محسن شهریار مقدم

* دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ایران. (نویسنده مسئول):

mohsen.shahriari@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۷

نوع مقاله: پژوهشی

◀ **استناد:** صمیمی م، شهریار مقدم م. مقایسه کارایی انباشت زیستی فلزات سنگین در *Verbascum speciosum*, *Acantholimon hohenackeri*, *Acanthophyllum microcephalum*, *Euphorbia macroclada* رشد یافته در اطراف معادن سرب و روی. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۴۰۲: ۳۴۹-۳۶۰.

فلزات سنگین به عنوان گروه مورد توجهی از آلودگی‌های خطرناک، از مسیرهای انسانی و طبیعی وارد محیط زیست می‌شوند (۲، ۱). از روش‌های طبیعی ورود فلزات سنگین می‌توان به هوازدگی و دگرگونی بافت خاک و همچنین فعالیت‌های آتشفشانی اشاره کرد. از طرفی فعالیت‌های گوناگون انسانی مانند کشاورزی، معدن کاری و صنعتی نیز از جمله مسیرهای غیر طبیعی ورود فلزات سنگین به محیط زیست می‌باشد. در بررسی‌های علمی، تخمین زده شده است که سهم فلزات سنگین خاک در اثر فعالیت‌های انسانی بیشتر از سهم منابع طبیعی است (۳، ۴). فعالیت‌های انسانی مانند استخراج و ذوب سنگ‌های فلزی منجر به گسترش آلودگی فلزات سنگین/کم یاب در سطح زمین شده است. از جمله مهم‌ترین خطرات مناطق معدنی و معادن متروکه، زهاب اسیدی معدن و باطله‌های رها شده در منطقه می‌باشد (۵). باطله‌های معدنی غلظت بالایی از عناصر فلزی مختلف دارند. در اثر عوامل محیطی مختلف این عناصر وارد منابع آب و خاک می‌شوند و اثرات محیطی جدی بر کیفیت خاک و منابع آبی می‌گذارند. همچنین مناطق استخراج شده از نظر خواص مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دچار مشکل می‌شوند. از این مشکلات می‌توان به ناپایداری و انسجام کم، محتوای کم مواد مغذی و آلی و همچنین سطوح بالای فلزات سنگین خاک اشاره کرد (۶، ۷).

استخراج معادن به خودی خود بر مناطق محدود اطراف خود تاثیرگذار است، اما فراوری کانه‌ها و تخلیه باطله‌ها در مناطق معدنی اثرات فراوانی بر محیط زیست می‌گذارند (۸). فعالیت‌های معدنی منجر به آلودگی خاک، رسوبات و از بین رفتن تنوع زیستی شده و با وارد شدن فلزات سنگین به زنجیره غذایی خطرات بالقوه‌ای برای سلامتی ساکنان مجاور منطقه معدن ایجاد می‌کند (۹). از آنجایی که مشکلات مرتبط با باطله‌های معدنی اهمیت جهانی دارند، مطالعات مختلفی در مورد اثرات محیط زیستی معدن کاری و رفتار آلاینده‌های ایجاد شده طی آن انجام شده است (۱۰).

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی باطله‌های معدن می‌تواند منجر به جلوگیری از فرآیندهای تشکیل خاک، رشد گیاهان و فعالیت میکروبی شود. علاوه بر افزایش غلظت فلزات در این مناطق عوامل دیگری از قبیل عدم وجود خاک مناسب در لایه بالایی و کمبود مواد مغذی ضروری باعث محدود شدن رشد گیاهان می‌شود. مطالعات قبلی نشان داده است که برخی از گیاهان قادر به رشد در این محیط‌های سخت هستند و می‌توانند به اکوتیپ‌های مقاوم به فلزات سنگین تبدیل شوند و در نتیجه مطالعه این اکوتیپ‌ها ضروری به نظر می‌رسد (۱۱، ۱۲).

روش‌های گوناگونی برای کاهش آلودگی آب و خاک وجود دارد، که میان آن‌ها می‌توان به روش‌های فیزیکی، شیمیایی، صنعتی و زیستی اشاره کرد (۱۳-۱۵). البته روش‌های غیرزیستی معمولاً دشوار بوده، موجب آلودگی بخش دیگری از محیط زیست شده و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه نیستند. گیاه‌پالایی یکی از روش‌های زیست‌پالایی است که از گیاهان برای تصفیه‌ی خاک و آب آلوده استفاده می‌کند (۱۶). گیاه‌پالایی شامل روش‌های مختلفی است که بسته به نوع آلاینده، نظیر عناصر سنگین، هیدروکربن‌ها و ترکیبات کلره متغیر می‌باشد (۱۷).

جذب فلزات سنگین توسط گیاهان به کمک مجموعه‌ای از فرایندها از جمله حذف فلزات سنگین بر روی دیواره سلولی، جذب ریشه‌ای، انتقال از طریق آوندهای چوبی، انتقال از ریشه به ساقه، انتقال به بخش‌های درون سلولی و جداسازی فلزات سنگین در واکنش‌ها با کمک مولکول‌های مختلف از جمله پروتئین‌هایی مانند فیتوکلاتین‌ها و متالوتیونین انجام می‌شود. جذب فلزات سنگین به ریشه عمدتاً از طریق دو مسیر انجام می‌شود، مسیر آپوپلاستیک (انتشار غیرفعال) و مسیر سمپلاستیک (انتقال فعال). جذب متداول فلزات سنگین از طریق مسیر سمپلاستیک و فرآیندی وابسته به انرژی است که توسط حامل‌های یون فلزی یا عوامل کمپلکس‌کننده واسطه انجام می‌شود (۱۸). گیاهانی که به منظور گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده به کار می‌روند، باید دارای

خصوصیاتی نظیر سازگاری اکولوژیک با محیط خاک و اقلیم مورد نظر، رشد سریع، مورفولوژی مناسب ریشه و توانایی تحمل فلزات سنگین باشند. بسیاری از گیاهان دارای چنین توانایی‌هایی هستند، ولی تاکنون تعداد محدودی از آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین مطالعات به منظور شناسایی و انتخاب گیاهان بومی مناسب برای هر منطقه اهمیت ویژه‌ای دارد (۱۹).

از مطالعات انجام شده می‌توان به توانایی گیاهان بومی *macroclada Euphorbia*, *Ziziphora clinopodioides*, *Cousinia sp.*, *Chondrila juncea*, *Stipa barbata*, *Verbascum speciosum* رشد کرده در معدن مس واقع در شمال غربی شهرستان همدان (۲۰)، معرفی گیاهان بومی *Reseda alba*, *Cistus libanotis*, *Stipa tenacissima* با ظرفیتی بالا برای تحمل و تجمع بیش از حد فلزات سنگین، به‌ویژه سرب در معدنی در مراکش (۲۱) و مطالعه آلودگی خاک به فلزات سنگین (روی، سرب، کروم، کادمیوم و کبالت) در منطقه معدنی انگوران (شمال غرب ایران) و جذب آنها توسط ۲۵ گونه گیاهی بومی اشاره کرد (۲۲).

با توجه به مطالب ذکر شده مطالعه حاضر با هدف شناسایی گونه‌های رشد کرده در خاک‌روبه‌های معدن سرب و روی راونج، سنجش میزان تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف و تعیین کاربرد بالقوه آن‌ها در مدیریت و اصلاح خاک‌های آلوده معدنی انجام گرفته است.

روش کار

ارزیابی منطقه مورد بررسی

محدوده مورد ارزیابی در مطالعه حاضر معدن سرب و روی راونج در استان مرکزی است. این معدن در $34^{\circ}10'19''N$ $50^{\circ}43'56''E$ قرار دارد. این منطقه گسل خوردگی شدیدی دارد و سنگ‌های آذرین به صورت رگه‌ای و توده‌ای سنگ‌های ژوراسیک و کرتاسه و گاهی ترسی‌یر را بریده‌اند. توده ماده معدنی در درون سنگ‌های آهکی کرتاسه زین و از نوع گالن، بلاند، پیریت، کالکوپیریت، مس و نیز

کانی‌های ثانوی بصورت سروسیت و انگلیزیت است. از روستاهای اطراف معدن می‌توان به روستای راونج در پنج کیلومتری آن اشاره کرد. معدن سرب و روی راونج در منطقه کوهستانی قرار دارد که از نظر آب و هوایی دارای تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد می‌باشد. تغییرات درجه حرارت سالانه متوسط بوده و از ۲۰- درجه در فصل زمستان تا ۳۰+ درجه سانتیگراد در فصل تابستان متغیر است. به دلیل مساعد بودن آب و هوا در این مناطق روستاهای اطراف از سکنه قابل توجهی برخوردار می‌باشند. در این منطقه رودخانه‌هایی جریان دارد که آب مصرفی در این روستاها را تامین می‌کنند.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین

نمونه برداری از خاک سطحی (عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متر) در مناطق مختلف اطراف معدن که موقعیت آن در شکل ۱ نشان داده شده است، به صورت تصادفی در ۱۲ نقطه انجام گرفت. سپس نمونه‌های خاک در آزمایشگاه با هم مخلوط و در مجاورت هوا خشک شدند. سپس نمونه خشک شده کوبیده و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد. در ادامه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد در آون خشک شدند و برای تعیین غلظت فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده

به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین در گیاهان رشد کرده در خاک‌روبه‌های معدنی، شش پایه گیاهی از هر گونه به صورت تصادفی از ریشه کنده و برای شناسایی و تعیین غلظت فلزات

$$\text{Bioconcentration Factor (بخش هوایی گیاه)} = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در بخش هوایی گیاه}}{\text{غلظت فلز سنگین در خاک}} \quad (1)$$

$$\text{Bioconcentration Factor (ریشه گیاه)} = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در ریشه گیاه}}{\text{غلظت فلز سنگین در خاک}} \quad (2)$$

$$\text{Transfer Factor} = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در بخش هوایی گیاه}}{\text{غلظت فلز سنگین در ریشه گیاه}} \quad (3)$$

یافته‌ها

غلظت فلزات سنگین موجود در خاک‌روبه‌های مناطق پیرامونی معدن سرب و روی راونج در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، بیشترین غلظت فلزات سنگین مربوط به فلز روی و پس از آن به ترتیب سرب، منگنز، مس، نیکل، کروم، کبالت و کادمیوم قرار دارند.

جدول ۱. غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در خاک‌روبه‌های پیرامون معدن راونج

غلظت (میلی گرم بر کیلوگرم)	نام فلز	علامت اختصاری
۲۴۱۳/۱۴±۷۸۱/۰۴	سرب	Pb
۵۹۸۲/۱۳±۱۹۷۰/۰۰	روی	Zn
۲۰۲۶/۷۰±۱۱۸/۹۲	منگنز	Mn
۱۰۵/۷۱±۱۱/۳۸	کروم	Cr
۱۱۷/۶۲±۴۰/۹۲۸	مس	Cu
۱۰۹/۲۳±۱۵/۱۷	نیکل	Ni
۹/۷۲±۳/۴۷	کادمیوم	Cd
۲۵/۹۰±۱/۷۹	کبالت	Co

در مطالعه حاضر چهار گونه گیاهی متفاوت در مناطق پیرامونی معدن سرب و روی راونج روی خاک‌روبه‌های معدنی شامل *Verbascum speciosum*, *Acantholimon hohenackeri*, *Acanthophyllum microcephalum* و *Euphorbia macroclada* با استفاده از هرباریوم دانشکده علوم و فناوری زیستی دانشگاه شهید بهشتی تهران شناسایی شدند. عناصر مورد مطالعه از لحاظ غلظت اندازه‌گیری شده در خاک به سه گروه تقسیم‌بندی شدند تا عکس‌العمل چهار گونه گیاهی شناسایی شده مورد ارزیابی قرار گیرد.

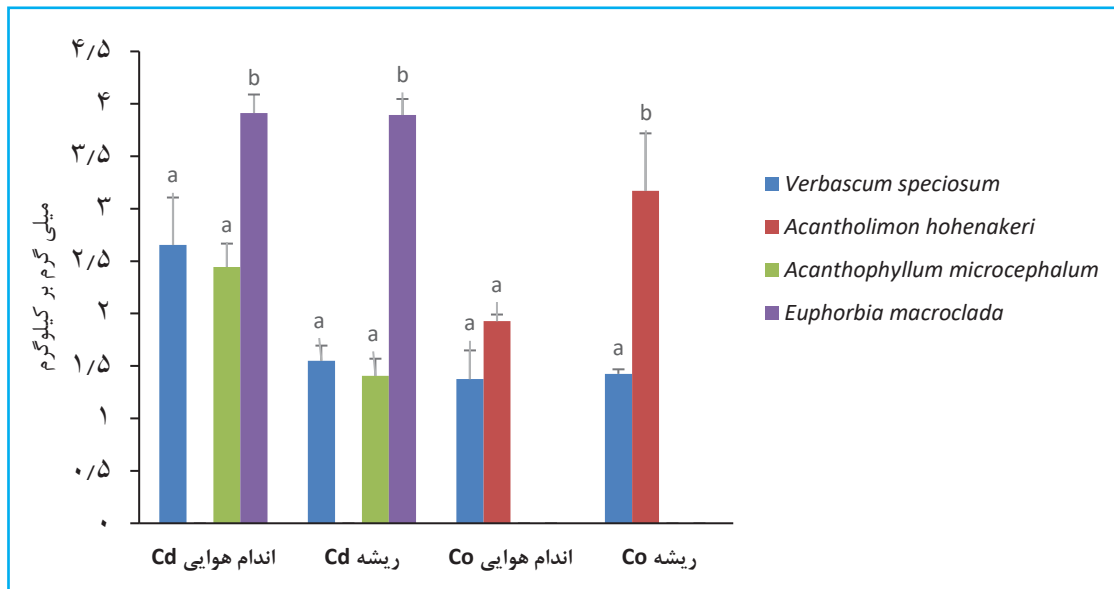
موجود در ریشه و اندام‌های هوایی به آزمایشگاه منقل شدند. پس از شناسایی، گیاهان با آب مقطر شسته و ریشه و اندام‌های هوایی از هم جدا و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد در آون خشک شدند. تعیین غلظت کل فلزات سنگین توسط دستگاه طیف‌سنجی پلاسما جفت شده القایی^۱ با استفاده از روش هضم چهار اسیدی در شرکت کان‌پژوه انجام شد. بدین منظور ۰/۵ گرم نمونه درون بوتله ریخته و به آن ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه گردید و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید پرکلریک و ۲ میلی‌لیتر اسید هیدروفلوئوریک غلیظ اضافه و بر روی هیتر با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. اضافه کردن اسید هیدروفلوئوریک اسید تا شفاف شدن نمونه ادامه پیدا کرد. در پایان ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک غلیظ در همان دما اضافه شد. پس از سرد شدن نمونه، آن را با بالن حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتری انتقال داده و با آب مقطر به حجم رسانده و توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرون فیلتر شدند. برای تعیین عامل تغلیظ زیستی^۲ در بخش هوایی گیاه از نسبت غلظت فلزات سنگین در بخش هوایی گیاه به غلظت این فلزات در خاک و برای تعیین عامل تغلیظ زیستی ریشه گیاه از نسبت غلظت فلزات سنگین در بخش هوایی گیاه به غلظت این فلزات در خاک استفاده شد (۲۳). برای تعیین عامل انتقال^۳ از نسبت فلزات سنگین در بخش هوایی گیاه به غلظت این فلزات در بخش ریشه‌ای استفاده گردید (۲۴). پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها برای بررسی میزان تجمع فلزات سنگین در ریشه و اندام‌های گیاهان مختلف از تجزیه واریانس یک طرفه^۴ و در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها از آزمون دانکن در سطح معنی‌دار پنج درصد استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار اس‌پی‌اس‌اس نسخه ۲۶ انجام گرفت. همچنین برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد. محاسبه فاکتورهای تغلیظ زیستی و انتقال زیستی در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه با استفاده از معادلات ۱ تا ۳ انجام شده است.

1. Spectro Genesis ICP-OES
2. Bioconcentration Factor
3. Transfer Factor
4. One-way ANOVA

دسته اول عناصر مورد مطالعه

میلی گرم بر کیلوگرم) و ریشه *A. hohenackeri* ($3/17 \pm 0/55$) بیشترین میزان تغلیظ میلی گرم بر کیلوگرم) سنجش گردید. زیستی در اندام هوایی برای فلز کادمیوم در *E. macroclada* ($0/40$) و برای کبالت در *A. hohenackeri* ($0/07$) محاسبه شد (جدول ۲). همچنین بیشترین میزان تغلیظ زیستی ریشه‌ای کادمیوم در *E. macroclada* ($0/40$) و برای فلز کبالت در *A. hohenackeri* ($0/12$) بدست آمد (جدول ۳).

عناصری که غلظت آن‌ها در خاک در محدوده ۰ تا ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود، در این دسته‌بندی قرار گرفتند (نمودار ۱). این عناصر شامل کادمیوم و کبالت بودند. به استثنای *A. hohenackeri* دیگر گونه‌های مطالعه‌شده تا حدی کادمیوم را در اندام‌های هوایی و ریشه خود تجمع داده بودند، همچنین کبالت در اندام‌های هوایی و ریشه گونه‌های *A. microcephalum* و *E. macroclada* اندازه‌گیری نشد. بیشترین میزان تجمع کادمیوم و کبالت به ترتیب در برگ *E. macroclada* ($3/91 \pm 0/17$)

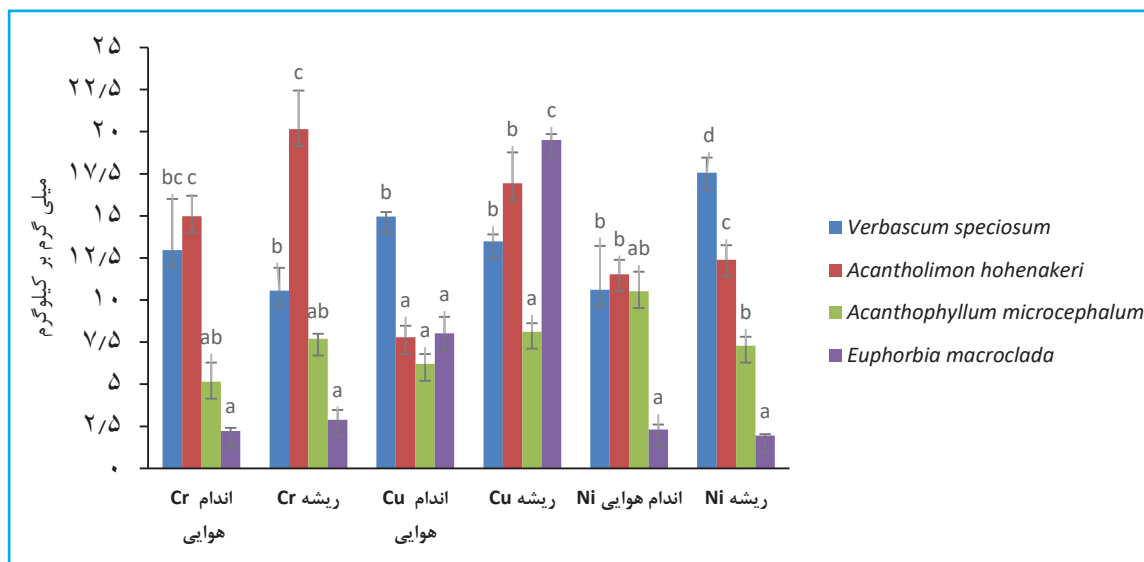


نمودار ۱. غلظت عناصر دسته اول (محدوده ۱ تا ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک و واکنش چهار گونه گیاهی

دسته دوم عناصر مورد مطالعه

بیشترین میزان تغلیظ زیستی در اندام هوایی کروم، مس و نیکل به ترتیب در *A. hohenackeri* ($0/14$)، *V. speciosum* ($0/13$) و *A. hohenackeri* ($0/11$) بدست آمد (جدول ۲). همچنین بیشترین میزان تغلیظ زیستی ریشه‌ای کروم، مس و نیکل به ترتیب در *A. hohenackeri* ($0/19$)، *E. macroclada* ($0/17$) و *V. speciosum* ($0/16$) بدست آمد (جدول ۳).

عناصری که غلظت آن‌ها در خاک در محدوده ۵۰ تا ۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم سنجش گردید، در این دسته‌بندی قرار گرفتند (نمودار ۲). این عناصر شامل کروم، مس و نیکل بودند. بیشترین میزان تجمع کروم در ریشه *A. hohenackeri* ($20/16 \pm 2/28$) میلی گرم بر کیلوگرم)، بیشترین میزان تجمع مس در ریشه *E. macroclada* ($19/51 \pm 0/36$) میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشترین میزان تجمع نیکل در ریشه *V. speciosum* ($17/56 \pm 0/90$) میلی گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری گردید.

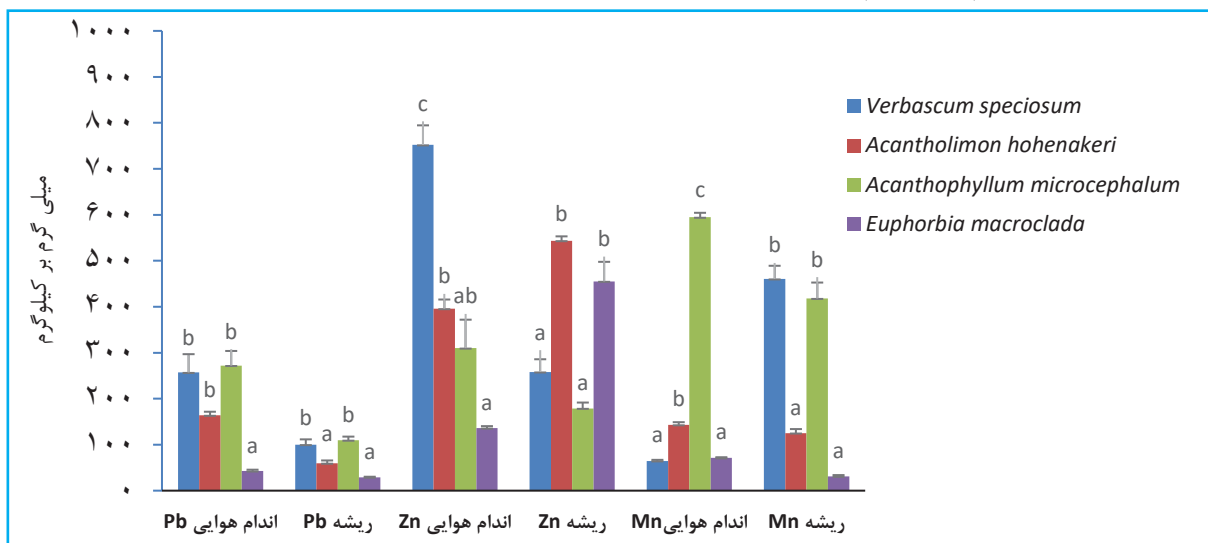


نمودار ۲. غلظت عناصر دسته دوم (محدوده ۵۰ تا ۱۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک و واکنش چهار گونه گیاهی

دسته سوم عناصر مورد مطالعه

میزان تغلیظ زیستی در اندام هوایی برای فلزات سرب، روی و منگنز به ترتیب در *V. speciosum* و *A. microcephalum* (۰/۱۱)، *V. speciosum* (۰/۱۳) و *A. microcephalum* (۰/۲۹) بدست آمد (جدول ۲). همچنین بیشترین میزان تغلیظ زیستی ریشه‌ای برای فلزات سرب، روی و منگنز به ترتیب در *A. microcephalum* (۰/۰۵)، *A. hohenakeri* (۰/۰۹) و *V. speciosum* (۰/۲۳) بدست آمد (جدول ۳).

عناصری که غلظت آن‌ها در خاک بیشتر از ۲۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد، در این دسته‌بندی قرار گرفتند (نمودار ۳). بیشترین میزان تجمع روی در برگ *V. speciosum* ($751/94 \pm 42/67$) میلی گرم بر کیلوگرم) بیشترین میزان تجمع سرب در برگ *A. microcephalum* ($272/11 \pm 31/73$) میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشترین میزان تجمع منگنز در برگ *A. microcephalum* ($594/59 \pm 9/76$) میلی گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. بیشترین



نمودار ۳. غلظت عناصر دسته سوم (محدوده غلظت بالای ۲۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک و واکنش چهار گونه گیاهی

جدول ۲. تغلیظ زیستی فلزات سنگین در اندام هوایی گونه‌های مطالعه شده

تغلیظ زیستی در اندام هوایی	سرب	روی	منگنز	کروم	مس	نیکل	کادمیوم	کبالت
<i>Verbascum speciosum</i>	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۲۷	۰/۰۵
<i>Acantholimon hohenackeri</i>	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۷
<i>Acanthophyllum microcephalum</i>	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۲۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۰۰
<i>Euphorbia macroclada</i>	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۴۰	۰/۰۰

جدول ۳. تغلیظ زیستی فلزات سنگین در ریشه گونه‌های مختلف مطالعه شده

تغلیظ زیستی ریشه	سرب	روی	منگنز	کروم	مس	نیکل	کادمیوم	کبالت
<i>Verbascum speciosum</i>	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۰۶
<i>Acantholimon hohenackeri</i>	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۱۲
<i>Acanthophyllum microcephalum</i>	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۰
<i>Euphorbia macroclada</i>	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۴۰	۰/۰۰

نتایج اندازه‌گیری عامل انتقال در جدول ۴ نشان داد بیشترین کارایی انتقال فلزات روی، کروم، مس و کبالت متعلق به گونه *V. speciosum*، بیشترین کارایی انتقال سرب متعلق به گونه *A. hohenackeri*، بیشترین عامل انتقال نیکل و کادمیوم برای گیاه *A. microcephalum* و بیشترین عامل انتقال منگنز برای گیاه *E. macroclada* محاسبه شد.

جدول ۴. عامل انتقال فلزات سنگین در گونه‌های مختلف مطالعه شده

عامل انتقال	سرب	روی	منگنز	کروم	مس	نیکل	کادمیوم	کبالت
<i>Verbascum speciosum</i>	۲/۶۹	۲/۹۱	۰/۱۴	۱/۲۳	۱/۱۱	۰/۶۰	۱/۷۱	۰/۹۶
<i>Acantholimon hohenackeri</i>	۲/۷۵	۰/۷۳	۱/۱۴	۰/۷۴	۰/۴۶	۰/۹۳	۰/۰۰	۰/۶۱
<i>Acanthophyllum microcephalum</i>	۲/۴۸	۱/۷۳	۱/۴۲	۰/۶۷	۰/۷۶	۱/۴۵	۱/۷۴	۰/۰۰
<i>Euphorbia macroclada</i>	۱/۴۶	۰/۳	۲/۳۰	۰/۷۷	۰/۴۱	۱/۱۹	۱/۰۱	۰/۰۰

بحث

بررسی میزان فلزات سنگین در خاک و گیاهان از مباحث مهم و تاثیرگذار بر سلامت انسان و اکوسیستم بشمار می‌رود (۲۵) و انتخاب گیاه مناسب برای رشد در مناطق آلوده به فلزات سنگین و گیاه‌پالایی بستگی به شرایط اقلیمی، میزان و نوع آلودگی، دامنه تحمل‌پذیری گیاه نسبت به آن ماده، نوع ماده و انتقال عنصر از ریشه به اندام هوایی دارد (۲۷). بر اساس آژانس حفاظت از محیط زیست بیشترین میزان قابل قبول فلزات منگنز ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کروم ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مس ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، نیکل ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، آرسنیک ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرب ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کادمیوم ۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در رسوبات می‌باشد (۲۸). بر این اساس میزان منگنز (۲۰۲۶/۷۰)، نیکل (۱۰۹/۲۳)، روی (۵۹۸۲/۱۳)، مس (۱۱۷/۶۲)، سرب (۲۴۱۳/۱۴) و کروم (۱۰۵/۷۱) در خاک‌روبه‌های معدنی بیشتر از مقادیر مرجع آژانس حفاظت از محیط زیست بود.

در مطالعه حاضر چهار گونه گیاهی در مناطق پیرامونی

تخریب شده در نظر گرفت (۳۳).

گیاهانی که در محیط‌های غنی از فلز رشد می‌کنند با دو استراتژی اساسی به استرس پاسخ می‌دهند. در رویکرد اول گیاهان از جذب و انتقال بیش از حد یون‌های فلزی اجتناب می‌کنند و در رویکرد دوم گیاهان فلزات را جذب و در واکوئل‌ها ذخیره می‌کنند (۳۴). گیاهانی که داری این ویژگی‌ها هستند می‌توانند برای حذف فلزات سنگین از خاک‌های آلوده استفاده شوند. در این روش، گیاهان آلاینده‌ها (برای مثال فلزات سنگین) را در ریشه، ساقه و برگ‌های خود به داخل جذب و در نهایت میزان زیادی از گیاهان حاوی آلاینده‌ها تولید می‌شود که برای دفع و بازیافت استفاده می‌شوند (۳۵، ۳۶). مطالعات انجام شده نشان داده است با افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک غلظت این فلزات در بافت‌های گیاهی نیز افزایش می‌یابد (۳۷) و بر همین اساس نتایج مشابهی نیز در مطالعه حاضر بدست آمد. گزارش‌های مختلف بیان کرده‌اند که گیاهان دارای تحمل متفاوت نسبت به فلزات سنگین هستند.

گیاهانی که دارای ظرفیت انباشت بالایی از فلزات سنگین هستند، بیش انباشته‌گر نامیده می‌شوند. گیاهانی که بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم، بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس و کروم، بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم آرسنیک، نیکل و سرب و بیش از ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی در بافت‌های خود انباشته می‌کنند بیش انباشته‌گر نامیده می‌شوند. تا به امروز بیش از ۷۰۰ گونه گیاهی بیش انباشته‌گر شناسایی و معرفی شده‌اند (۳۸). به عنوان مثال می‌توان به گیاهان *Pteris vittata* به عنوان بیش انباشته‌گر آرسنیک، *Arabidopsis halleri* به عنوان بیش انباشته‌گر کادمیوم، *Aeolanthus biformifolius* به عنوان بیش انباشته‌گر مس، *Haumaniastrum robertii* به عنوان بیش انباشته‌گر کبالت، *Virotia neurophylla* به عنوان بیش انباشته‌گر منگنز، *Berkheya coddii* به عنوان بیش انباشته‌گر نیکل، *Noccaea rotundifolia* به عنوان بیش انباشته‌گر سرب، *Astragalus bisulcatus* به عنوان بیش انباشته‌گر سلنیوم و *Noccaea caerulescens* به عنوان بیش

معدن سرب و روی راونج بر روی خاک‌روبه‌های معدنی شامل *Verbascum speciosum*, *Acantholimon hohenackeri*, *Acanthophyllum microcephalum* و *Euphorbia macroclada* شناسایی شدند. *Verbascum speciosum* در مناطق مختلف ایران علف خرگوش، خرگوشک و گل ماهور نامیده می‌شود. این گیاه از گونه‌های مطرح دارویی برای بیماری‌های عفونی است و بیشتر در دامنه‌های کوهستانی می‌روید (۲۹). تحقیقات تاکسونومیک نشان می‌دهد در ایران ۴۲ گونه گل ماهور انتشار دارد که ۱۴ گونه آن بومی ایران می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده *Verbascum songaricum* توانایی بالایی در جذب فلزات سنگین دارد (۳۰). *Acantholimon hohenackeri* با نام فارسی کلاه میرحسن متعلق به تیره بهمنیان است. پژوهشی در خاک‌های آلوده اطراف معادن سرب و روی در منطقه ایرانکوه اصفهان انجام شد. نتایج آن نشان داد که گونه‌های گیاهی *Acantholimon sp* بیشترین غلظت سرب را در اندام هوایی نشان داده‌اند. همچنین نتایج تحقیقی دیگر که بر روی اندازه‌گیری فلزات سنگین در گیاهان رشد کرده در اطراف کارخانه سیمان فیروزکوه انجام شده نشان داد که غلظت روی در گیاه کلاه میر حسن در اندام هوایی بیشتر از ریشه می‌باشد (۳۱). نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر هم راستا با نتایج این محققین است. *Acanthophyllum microcephalum* با نام فارسی چوبک متعلق به تیره میخکیان است. این جنس در ایران ۳۲ گونه گیاه بوته‌ای اغلب پشته‌ای دارد که در ارتفاعات کوهستانی و بیابانی می‌روید (۳۲). *Euphorbia macroclada* گیاهی سمی و متعلق به تیره فرفیونیان است. فرفیونیان تیره‌ای از گیاهان گلدار، دولپه‌ای و جدا گلبرگ است. این تیره یکی از تیره‌های بزرگ و از منظر ریخت‌شناسی، متنوع و پیچیده در کره زمین است. معمولاً طغیان یک گونه سمی و مقاوم به چرا در مراتع و زیستگاه‌های طبیعی بیانگر سوءمدیریت، چرای بیش از حد و انواع دیگر تخریب در آن منطقه می‌باشد. بنابراین، می‌توان فراوانی بسیاری از گونه‌های چندساله این جنس را به عنوان گیاهان شاخص در مناطق

انباشته گر روی اشاره کرد (۳۹). بر اساس نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر گیاهان مطالعه شده را نمی توان جزء گیاهان بیش انباشته گر فلزات سنگین طبقه بندی کرد.

برای تعیین شاخص تغلیظ زیستی از نسبت غلظت فلزات سنگین در بخش هوایی گیاه به غلظت این فلزات به شکل قابل تبادل در خاک استفاده می شود. در مطالعات جذب فلزات سنگین توسط گیاهان، این فاکتور اهمیت شایانی دارد. بنابراین، به منظور ارزیابی و بررسی میزان توانایی گیاهان شناسایی شده استفاده گردید. بر اساس نتایج محققان گونه ای که دارای ضریب تجمع زیستی در ریشه بزرگتر از یک و فاکتور انتقال کوچک تر از یک است برای تثبیت گیاهی و گونه ای که دارای ضریب تجمع زیستی در اندام هوایی بزرگتر از یک است برای برداشت گیاهی مناسب است (۲۴). در مطالعه حاضر تمامی گیاهان مطالعه شده دارای ضریب تجمع زیستی در ریشه و ساقه کمتر از یک و عامل انتقال بیشتر از یک بودند. در نتیجه گیاهان مطالعه شده برای تثبیت و برداشت گیاهی مناسب نیستند. ولی با توجه به توانایی رشد چهار گونه مورد مطالعه، موجود در خاک روبه های گیاهی، این گیاهان نقش موثری در اصلاح بافت خاک، ایجاد محیط مناسب برای رشد میکروارگانیسم ها و همچنین کاهش انتقال فلزات سنگین در محیط دارا هستند. مطالعات نشان داده اند استفاده از گیاهان مقاوم به فلزات سنگین برای کاهش تحرک این دسته از آلودگی در خاک و تثبیت گیاهی مفید و موثر است. این فرآیند نه تنها تحرک فلز و

فراهمی زیستی را کاهش می دهد بلکه شرایط بهبود یافته ای را برای تضعیف سموم فراهم کرده و در نتیجه برای کاهش اثرات مخرب معدن کاری مفید است.

نتیجه گیری

به طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر، از گیاهان شناسایی شده در خاک روبه های معدن سرب و روی راونج می توان به عنوان گونه های مقاوم به فلزات سنگین برای کاهش تحرک و فراهمی زیستی فلزات و همچنین بهبود بافت خاک استفاده کرد. با این حال با توجه به آنکه گونه های شناسایی شده توانایی محدودی در انباشت زیستی فلزات دارند، برای تثبیت و برداشت گیاهی مناسب نیستند.

ملاحظات اخلاقی

مقاله حاضر با شماره گرنت UOZ.GR.5120 انجام شده است. نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. همچنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می کنند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در انجام این پژوهش یاری نموده اند به ویژه حمایت های مالی دانشگاه زابل (گرنت شماره: UOZ.GR.5120) تشکر و قدردانی می شود.

References

- Samimi M, Mansouri E. Efficiency evaluation of *Falcaria vulgaris* biomass in Co(II) uptake from aquatic environments: characteristics, kinetics and optimization of operational variables. *International Journal of Phytoremediation*. 2024; 26(4). <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2250462> PMID:37622683
- Azimi N, Azimi P, Samimi M, Mansouri Jalilian T. Ultrasonic-assisted adsorption of Ni(II) ions from aqueous solution onto Fe₃O₄ nanoparticles. *Advances in Nanochemistry*. 2019;1(2):66-72.
- Igwe O, Adephelin EJ, Iwuanyanwu C, Una CO. Risks associated with the mining of Pb-Zn minerals in some parts of the Southern Benue trough, Nigeria. *Environmental monitoring and assessment*. 2014;186:3755-3765. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3655-3> PMID:24577621
- Samimi M. Efficient biosorption of cadmium by *Eucalyptus globulus* fruit biomass using process parameters optimization. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2024;10(1):27-38.
- Samimi M, Shahriari-Moghadam M. Isolation and identification of *Delftia lacustris* Strain-MS3 as a novel and efficient adsorbent for lead biosorption: Kinetics and thermodynamic studies, optimization of operating variables. *Biochemical Engineering Journal*; 2021;173:108091. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108091>
- Lu T, Chen WQ, Ma Y, Qian Q, Jia J. Environmental

- impacts and improvement potentials for copper mining and mineral processing operations in China. *Journal of Environmental Management*. 2023; 342:118178. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118178> PMID:37196612
7. Benson A, Akinterinwa A, Milam C, Hammed AM. Chemical profiling of minerals and elemental composition of rock and soil samples from Bakin Dutse Hills, Madagali, Adamawa State Nigeria. *Eurasian Journal of Science and Technology*. 2023; 3(4):238-251.
 8. Shu XH, Zhang Q, Lu GN, Yi XY, Dang Z. Pollution characteristics and assessment of sulfide tailings from the Dabaoshan Mine, China. *International biodeterioration and biodegradation*. 2018;128:122-128. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.01.012>
 9. Wang C, Jing J, Qi Y, Zhou Y, Zhang K, Zheng Y, Zhai Y, Liu F. Basic characteristics and environmental impact of iron ore tailings. *Frontiers in Earth Science*. 2023;11:1181984. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1181984>
 10. Helser J, and V. Cappuyns, Trace elements leaching from pbzn mine waste (plombières, belgium) and environmental implications. *Journal of Geochemical Exploration*. 2021; 220:106659. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106659>
 11. Freitas H, M Prasad, J Pratas. Analysis of serpentinophytes from north-east of Portugal for trace metal accumulation--relevance to the management of mine environment. *Chemosphere*. 2004;54(11):1625-1642. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.09.045> PMID:14675842
 12. Cacciuttolo C, Cano D. Environmental impact assessment of mine tailings spill considering metallurgical processes of gold and copper mining: case studies in the Andean countries of Chile and Peru. *Water*. 2022;14(19): 3057. <https://doi.org/10.3390/w14193057>
 13. Samimi M, Shahriari-Moghadam M. The Lantana camara L. stem biomass as an inexpensive and efficient biosorbent for the adsorptive removal of malachite green from aquatic environments: kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *International Journal of Phytoremediation*. 2023; 25(10):1328-1336. <https://doi.org/10.1080/15226514.2022.2156978> PMID:37154395
 14. Moghadam H, Samimi, M. Effect of condenser geometrical feature on evacuated tube collector basin solar still performance: productivity optimization using a Box-Behnken design model. *Desalination*. 2022;542:116092. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116092>
 15. Samimi M, Zakeri M, Alobaid F, Aghel B. A Brief Review of Recent Results in Arsenic Adsorption Process from Aquatic Environments by Metal-Organic Frameworks: Classification Based on Kinetics, Isotherms and Thermodynamics Behaviors. *Nanomaterials*. 2023;13(1):60. <https://doi.org/10.3390/nano13010060> PMID:36615970 PMCid:PMC9823661
 16. Samimi, M, Shahriari-Moghadam M. Optimal conditions for the biological removal of ammonia from wastewater of a petrochemical plant using the response surface methodology. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2018;4(3):315-324.
 17. Thakuria A, Singh KK, Dutta A, Corton E, Stom D, Barbora L, Goswami, P. Phytoremediation of toxic chemicals in aquatic environment with special emphasis on duckweed mediated approaches. *International Journal of Phytoremediation*. 2023;25(13):1699-1713. <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2188423> PMID:36941761
 18. 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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359> PMID:32425957 PMCid:PMC7203417
 19. Azizi M, Faz A, Zornoza R, Martinez-Martinez S, Acosta JA. Phytoremediation Potential of Native Plant Species in Mine Soils Polluted by Metal (loid)s and Rare Earth Elements. *Plants*. 2023;12(6):1219. <https://doi.org/10.3390/plants12061219> PMID:36986908 PMCid:PMC10058974
 20. Lorestani B, Cheraghi M, Yousefi N. Phytoremediation potential of native plants growing on a heavy metals contaminated soil of copper mine in Iran. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*. 2011;5(5):299-304.
 21. Hasnaoui SE, Fahr M, Keller C, Levard C, Angeletti B, Chaurand P, Triqui ZEA, Guedira A, Rhazi L, Colin F, Smouni, A. Screening of native plants growing on a Pb/Zn mining area in eastern Morocco: Perspectives for phytoremediation. *Plants*. 2020;9(11):1458. <https://doi.org/10.3390/plants9111458> PMID:33137928 PMCid:PMC7693513
 22. Hosseinniaee S, Jafari M, Tavili A, Zare S, Cappai G, De Giudici G. Perspectives for phytoremediation capability of native plants growing on Angouran Pb-Zn mining complex in northwest of Iran. *Journal of Environmental Management*. 2022;315:115184. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115184> PMID:35523070
 23. Munishi LK, Ndakidemi PA, Blake W, Comber S, Hutchinson TH. Accumulation and bioconcentration of heavy metals in two phases from agricultural soil to plants in Usangu agroecosystem-Tanzania. *Heliyon*. 2021;7(7): e07514. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07514> PMID:34296014 PMCid:PMC8282977

24. Naz R, Khan MS, Hafeez A, Fazil M, Khan MN, Ali B, Javed MA, Imran M, Shati AA, Alfaifi MY, Elbehairi SEI, Ahmed AE. Assessment of phytoremediation potential of native plant species naturally growing in a heavy metal-polluted industrial soils. *Brazilian Journal of Biology*. 2022;26:84:e264473. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.264473> PMID:36169410
25. Samimi M, Mohammadzadeh E, Mohammadzadeh A. Rate enhancement of plant growth using Ormus solution: optimization of operating factors by response surface methodology. *International Journal of Phytoremediation*, 2023; 25(12):1636-1642. <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2179014> PMID:36850037
26. Safari M, Shahriari Moghadam M, Samimi M, Azizi Z. Study of the Optimal Conditions for (Zn+2) Removal Using the Biomass of Isolated Bacteria from Ravang Mine. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 2019;50(1): 149-160. (Persian)
27. Kafle A, Timilsina A, Gautam, A, Adhikari K, Bhattarai A, Aryal N. Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. *Environmental Advances*. 2022;8:100203. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203>
28. Onjefu SA, Shaningwa F, Lusilao J, Abah J, Hess E, Kwaambwa HM. Assessment of heavy metals pollution in sediment at the Omaruru River basin in Erongo region, Namibia. *Environmental Pollutants and Bioavailability*. 2020;32(1):187-193. <https://doi.org/10.1080/26395940.2020.1842251>
29. Motamedi J, Ahmadzadeh N, Alijanpoor A, Shydai karkaj E. Ecological and morphological characteristics of *Verbascum speciosum* Schrader. in the mountainous rangelands of Sahand. *Journal of Rangeland*. 2019;13(1):76-89. (Persian).
30. Vahid Karimian V, Wahhabi M, Rostakhiz J, Nodehi N. Investigation of habitat characteristics of *Verbascum songaricum* schrenk in rangeland ecosystems of zagros. *Plant Ecosystem Conservation*. 2016;4(8):88-102. (Persian).
31. Montazeri F, Reza Tamartash R, Tatian MR, Hojati M. Potential of rangeland species *Astragalus globiflorus* and *Acantholimon hohenackeri* in heavy metals absorption (Case study: rangelands around the Firoozkouh cement factory). 2018;25(2):278-288. (Persian).
32. Safaei MH, Bashari, and H.A. Shirmardi. Evaluating the Effects of Study Scale on Spatial Patterns of three Range Plant Species Using Quadratic Indices and Point Pattern Analysis in Chaharmahal- Bakhtirai Province Rangelands. *Iranian Journal of Applied Ecology*. 2016;5(17):37-49. (persian). <https://doi.org/10.18869/acadpub.ijae.5.17.37>
33. Pahlevani A. Study of the genus *Euphorbia* and importance of its species in Iran with emphasis on biodiversity and their conservation status. *Rostaniha*. 2022;1(64):59-78. (Persian)
34. Xiao WL, Luo CL, Chen YH, Shen ZG, Li XD. Bioaccumulation of heavy metals by wild plants growing on copper mine spoils in China. *Communications in soil science and plant analysis*. 2008;39(3-4):315-328. <https://doi.org/10.1080/00103620701826415>
35. Gavrilesco M. Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Current Opinion in biotechnology*. 2022;74:21-31. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.10.024> PMID:34781102
36. Castañares E, Lojka B. Potential hyperaccumulator plants for sustainable environment in tropical habitats. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/528/1/012045>
37. Singh G, M Bhati, Growth of *Dalbergia sissoo* in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry. *Bioresource Technology*. 2005;96(9):1019-1028. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.011> PMID:15668198
38. Xu W, Xiang P, Liu X, Ma LQ. Closely-related species of hyperaccumulating plants and their ability in accumulation of As, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn. *Chemosphere*. 2020;251:126334. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126334> PMID:32169705
39. Reeves RD, Baker AJ, Jaffré T, Erskine PD, Echevarria G, van Der Ent A. A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. *New Phytologist*. 2018;218(2):407-411. <https://doi.org/10.1111/nph.14907> PMID:29139134