نقش دو گونهٔ گیاهی *Rumex Pulcher* و *Verbascum Songaricum* در جذب برخی عناصر سنگین در مناطق اطراف معدن مس سرچشمه

صالح آزاد شهرکی*[۱]، علی احمدی مقدم[۱]، فرزین ناصری[۲] و عصمت اسماعیل‌زاده[۳]

[۱] *دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکدهٔ علوم، گروه زیست شناسی*
[۲] *مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته وعلوم محیطی ماهان، کرمان*
[۳] *امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه، ایران*

تاریخ ثبت اولیه:۱۳۸۷/۴/۸، **تاریخ دریافت نسخهٔ اصلاح‌شده:**۱۳۸۷/۵/۸، **تاریخ پذیرش قطعی:**۱۳۸۷/۵/۲۴

چکیده معدن مس سرچشمه در جنوب غرب کرمان یکی از معادن روباز بزرگ جهان و یکی از قطب‌های مهم معدنی و صنعتی کشور است. خاک این منطقه به‌طور طبیعی و همچنین دراثر فعالیت‌های معدنی حاوی فلزات سنگین است. درحال‌حاضر روش‌های متنوعی برای کاهش آلودگی خاک به‌کارمی‌رود. بیشتر این روش‌ها زمان‌بر و پرهزینه‌اند. استفاده‌از گیاهان مناسب برای آلایش‌زدایی خاک‌های آلوده به این فلزات به‌علت قیمت پایین و کم‌کردن تخریب‌های زیست‌محیطی در دهه‌های اخیر بیشتر مورد توجه است. از این رو دو گونهٔ گیاهی *Rumex pulcher* و *Verbascum Songaricum* برای تعیین جذبی عناصر مس، روی و سرب آزمایش شده‌اند. نمونه‌برداری از ریشه، بخش هوایی گیاه و خاک اطراف ریشه در بهار و تابستان ۱۳۸٦ در سه ایستگاه انجام شد. نمونه‌های برداشت‌شده پس‌از آماده‌سازی در آزمایشگاه امدل استرالیا با روش بدون خاکسترسازی و بااستفاده‌از دستگاه ICP آنالیز شد. نتایج جذب فراوانی از عناصر فوق را در هر دو گیاه نشان می‌دهد. همچنین جذب اغلب عناصر در فصل تابستان بیشتر از فصل بهار بوده است. به‌طورکلی این گیاهان پتانسیل خوبی در جذب عناصر فوق و پالایش خاک از خود نشان دادند.

کلمات کلیدی آلایش‌زدایی خاک، گونهٔ گیاهی، عناصر سنگین، معدن مس سرچشمه.

Role of Plants Rumex Pulcher and Verbascum Songaricum in Accumulation of some Heavy Metals in Sarcheshmeh Copper Mine, Iran

S. Azad Shahraki[1*], A. Ahmadimoghadam[1], F. Naseri[2] and E. Esmailzade[3]

[1] *Departmenrt of Biology, Science College, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran*
[2] *Departmenrt of International Center for Science, High Technology and Environmental Science, Kerman, Iran*
[3] *Environment Researcher in R and D Sarcheshme Copper Complex, Iran*

Abstract Sarcheshmeh copper mine, is located in south-west of Kerman, is one of a large open mine in the world and is one the important mineral and industrial site of Iran. The soil of the area naturally contains some heavy metals. Mining activities has also caused accumulation of polluting metals into the soil. Different methods are applied to reduce water and soil pollutants. Most of the methods are expensive and time consuming. Using suitable plants for remediation of the polluted soils, which is because of low cost and minimum environmental hazardous effects has accelerated in recent years. In this study, plants *Rumex pulcher* and *Verbascum songaricum* were collected from three sites around the Sarcheshmeh copper mine, and plant roots, shoots and the soils of the rhizosphere were analyzed for Cu, Zn and Pb in spring and summer 2007. The plant and soil samples were sent to Amdel laboratory in Australia were analyses for their metals contents using ICP. The results showed higher ranges of metals in sites accumulated in plants. Accumulation of these metals of plants in summer was more than spring. According to results it is indicated that the plants have high potential of accumulating of these metals.

Keywords Phytoremediation, Plant Species, Heavy Metal, Sarcheshmeh Copper Mine.

* **عهده‌دار مکاتبات**

نشانی: دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده علوم، گروه زیست شناسی.

پیام‌نگار:saleh.azad@yahoo.com

۱_ مقدمه

فلزات سنگین آلاینده‌های محیطی مهمی هستند و بسیاری از آنها حتی در غلظت‌های کم سمی‌اند. مسئلهٔ آلودگی محیط زیست با فلزات سمی از زمان آغاز تحول صنعتی شتاب چشمگیری یافته و امروزه یکی از مسائل مهم در جوامع بشری است [۱]. ورود فلزات به خاک، آب‌های جاری و زیرزمینی سلامتی انسان و سایر موجودات زنده را به خطر می اندازد. درحال حاضر روش‌های متنوعی برای کاهش آلودگی آب و خاک به‌کار می‌رود. بیشتر این روش‌ها زمان‌بر و پرهزینه‌اند؛ به‌طوری‌که هزینهٔ پاک‌سازی هر مترمکعب خاک حدود ۱۰ تا ۱۰۰ دلار برآورد شده است [۲]. درنتیجه تکنیک‌های آلودگی‌زدایی خاک امروزه یک موضوع جدی است. پاک‌سازی با گیاهان یک اصطلاح کلی است که به استفاده‌از گیاهان برای حذف، تجزیه و تثبیت آلاینده‌ها در خاک اطلاق می‌شود. تحقیقات نشان داده است که گیاهان می‌توانند در پاک‌سازی مناطق آلوده بسیار مؤثر واقع شوند [۳].

پاک‌سازی مناطق آلوده با گیاهان نسبت‌به سایر روش‌ها مزایای فراوانی دارد: قیمت پایین، رشد گیاهان غنی که از فلز چرخش مجدد ایجاد می‌کنند ، پاک‌سازی گستره‌ای از فلزات سمی و رادیونوکلئوئیدها، حداقل‌شدن تخریب‌های زیست‌محیطی، دفع ضایعات ثانویهٔ آب یا هوا و پذیرش همگانی، که مهم‌ترین آن کم‌هزینه‌بودن این روش است [۵،۴،۱]. پاک‌سازی به‌کمک گیاهان خود به روش های مختلفی تقسیم می شود [۶] که استخراج مادهٔ آلاینده از بسترخاک[1] یکی از این روش‌هاست. گیاهانی که در این تکنیک به‌کار می‌روند استعداد بالایی برای جذب آلاینده‌های فلزی دارند و بدون آنکه علایم مسمومیت در اندام‌هایشان مشاهده شود بیش از نیاز خود اقدام به جذب می‌کنند. حتی در بیشتر اوقات بدون آنکه به این فلزات نیاز داشته باشند آنها را در اندام‌های خویش و به‌خصوص بخش هوایی ذخیره می‌کنند. این دسته از گیاهان به گونه‌های گیاهی ابرجاذب[2] موسوم‌اند. گیاهانی که بتوانند بیش‌از ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم، ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب، مس و کبالت و ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و نیکل در اندام‌های هوایی خویش ذخیره سازند، گیاهان ابرجاذب به‌حساب می‌آیند [۷]. این مقادیر ۱۰ الی ۵۰۰ مرتبه بیش از گیاهان عادی است [۶].

برخی از محققان شاخص‌های دیگری را برای تشخیص و تمایز گیاهان ابرجاذب ضروری دانسته‌اند که در این ارتباط می‌توان به فاکتورهای انتقال[3] و غلظت[4] اشاره کرد [۶،۹]. این فاکتورها برای گیاهان ابرجاذب بیش‌از واحد است؛ درحالی‌که در گیاهان عادی این مقادیر بسیار ناچیز و کمتر از واحد است [۱۰]. تکنیک کاربرد گیاهان برای اصلاح خاک‌های آلوده به آلاینده‌های مختلف در بسیاری از نقاط جهان استفاده شده است و امروزه نیز از بهترین روش‌های اصلاحی محیط زیست به‌حساب می‌آید. کاربرد این تکنیک در ایران تاکنون چندان موردتوجه قرارنگرفته‌است و باتوجه‌به اینکه بسیاری از گونه‌های گیاهی ابرجاذب شناسایی‌شده درجهان با شرایط آب و هوایی کشور ما سازگاری ندارند، شناسایی و استفاده از گونه‌های سازگار با شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک کشور ما نخستین گام برای استفاده از این تکنیک در رفع آلودگی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در کشور خواهد بود.

در این تحقیق از دو گونهٔ گیاهی گل ماهور (*Verbascum Songaricum*) و ترشک (*Rumex pulcher*) استفاده شد. این دو از گیاهان بومی ایران‌اند و تاکنون در این مورد تحقیقی صورت نگرفته است (شکل ۱). این گیاهان به‌طور طبیعی در خاک‌هایی با مقادیر مختلف فلزات سنگین رشد خوبی داشته‌اند و برای بررسی میزان تجمع فلزات سنگین آزمایش شدند، بنابراین بخش‌های مختلف گیاه و خاک اطراف ریشه در ایستگاه‌های مختلف جمع‌آوری و آنالیز شدند و

1. Phytoextraction.
2. Hyperaccumulator.
3. Translocation Factor.
4. Concentration Factor.

Rumex Pulcher

Verbascum Songaricum

شکل ۱. تصاویر گیاهان مورد مطالعه.

مقادیر عناصر سنگین موردنظر در آنها اندازه‌گیری شد.

۲ـ مواد و روش‌ها

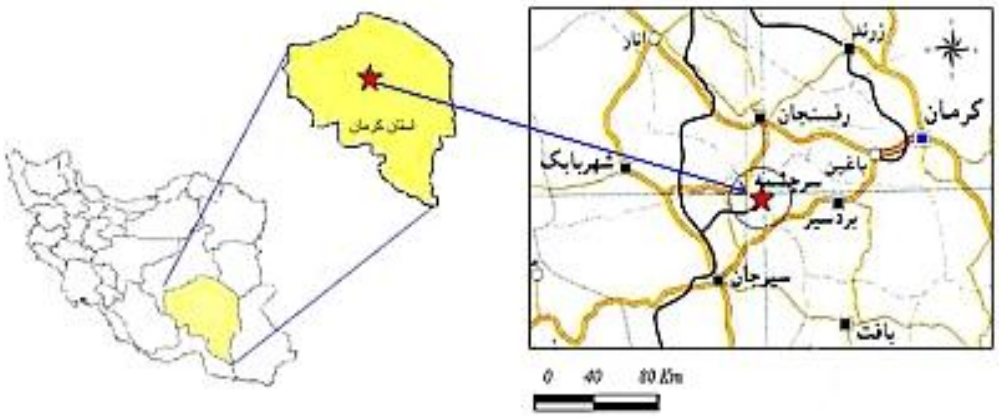
۲ـ۱ـ منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در ۶۰ کیلومتری جنوب غربی رفسنجان در استان کرمان و در طول جغرافیایی °۵۶ شرقی و عرض جغرافیایی °۳۰ شمالی در ارتفاع حدود ۲۷۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۲). آب و هوای این منطقه معتدل و سرد و متوسط بارندگی آن ۴۴۰ میلی‌متر در سال است. خاک این منطقه به‌طور طبیعی حاوی فلزات سنگین مختلفی است که درطی ۳۰ سال گذشته دراثر فعالیت‌های معدنی فلزات سنگین بیشتری به خاک‌های سطحی منتقل شده و آلودگی‌های گسترده‌ای ایجاد کرده است.

۲ـ۲ـ جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی و خاک

برای نمونه‌برداری، سه ایستگاه در معدن مس سرچشمه، معدن مس دره‌زار و منطقه دال‌خون که دورتر از مناطق معدنی قرار داشت، انتخاب شد. نمونه‌های گیاهی در بهار و تابستان ۸۶ جمع‌آوری و بااستفاده‌از منبع فلورا ایرانیکا [۸] و فلور ایران [۱۱] شناسایی شدند.

برای بررسی میزان عناصر در خاک،۲۵۰ گرم نمونهٔ خاک از شعاع ۱۰ سانتی‌متری اطراف ریشهٔ سه نمونهٔ گیاهی از سطح تا عمق ۲۵ سانتی‌متر (معرف منطقهٔ رشد ریشه) جمع‌آوری و با یکدیگر کاملاً مخلوط شد و سپس در داخل پلاستیک درحالی‌که در آنها بسته بود به آزمایشگاه منتقل شد. پس‌از همگن‌سازی نمونه‌های خاک، حدود ٤ گرم از خاک غربال‌شده داخل هاون چینی درحد کمتر از ۸۰ میکرون سائیده شد و ۲ گرم از نمونه‌ها برای آنالیز در پاکت‌های مخصوص ریخته شد. سه گیاه هم‌اندازه در هر ایستگاه برداشت و به قسمت ریشه و بخش هوایی تفکیک و دو بار با آب مقطر شسته و داخل پاکت‌های مخصوص قرار داده شدند و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد داخل خشک‌کن به‌مدت ۷۲ ساعت کاملاً خشک گردیدند. هر سه نمونهٔ یک ایستگاه پس‌از خشک‌شدن آسیاب



شکل۲. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به مجتمع مس سرچشمه نشان داده شده است.

و کاملاً مخلوط و سپس داخل هاون چینی درحد کمتر از ۸۰ میکرون سائیده شدند. ۲/۵ گرم از نمونه‌ها برای آنالیز در پاکت‌های مخصوص ریخته شد. نمونه های آماده‌شدهٔ خاک و گیاه برای آنالیز به آزمایشگاه امدل استرالیا فرستاده شد. آنالیز نمونه‌ها با دستگاه ICP[5] با حساسیت ۰/۲ppm برای هر سه عنصر مس، روی و سرب انجام گرفت. نمونه‌های گیاهی با روش بدون خاکسترسازی و هضم اسیدی آنالیز شد. (آزمایشگاه شرح کامل روش را به‌علت انحصاری‌بودن اعلام نکرده است). داده های حاصل میانگین سه تکرار به‌حساب آمده است که به‌صورت هیستوگرام نشان داده شده است. بنابراین هر ستون در هیستوگرام مربوط حاصل میانگین سه نمونهٔ خاک، ریشه و بخش هوایی در هر ایستگاه است. ازآنجاکه در هر فصل و در هر ایستگاه سه نمونهٔ مجتمع (Cumulative) جمع‌آوری شد، داده های مربوط به هر فصل حاصل از وجود سه عدد نمونهٔ مجتمع در هر ایستگاه است و بر این اساس میزان جذب فلزات در دو فصل بهار و تابستان براساس ایستگاه‌های مختلف بااستفاده‌از آنالیز واریانس با یکدیگر مقایسه شدند. معنی داربودن داده‌ها درمقایسه‌با یکدیگر نیز از آنالیز مربوط مشخص شد.

۳_ نتیجه‌گیری و بحث

براساس نتایج (جدول ۱و۲)، بالاترین غلظت کل عناصر در خاک ٦٨٦/٩ppm برای مس، ٣٧٤ppm برای روی و ٥٦/٣ppm برای سرب در ایستگاه معدن مس سرچشمه اندازه‌گیری شد. مقدار عناصر مس، روی و سرب در بخش هوایی گیاهان ۳ ایستگاه بررسی شد. بالاترین غلظت عناصر مس و سرب به ترتیب ٥٦٦/٣ppm و ۱۷/۵ppm در بخش هوایی گیاه *Verbascum Songaricum* و بالاترین غلظت روی با ۵۱۰ppm درقسمت هوایی گیاه *Rumex Pulcher* در ایستگاه معدن مس سرچشمه ثبت شد. بالاترین میزان جذب مس در ریشهٔ گیاه *Verbascum Songaricum* با ۱۳۲ppm در ایستگاه دال‌خون و بالاترین میزان جذب روی و سرب به‌ترتیب با ٢٣٦ppm و ۷/۵ppm در ریشهٔ گیاه *Rumex Pulcher* در ایستگاه معدن مس سرچشمه اندازه‌گیری شد.

5. Inductive Coupled Plasma.

جدول ۱. میزان عناصر مس، سرب و روی در ریشه، بخش هوایی گیاه و خاک اطراف ریشهٔ *Verbascum Songaricum* در بهار و تابستان در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

			بهار			تابستان	
	METALS	Pb	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn
	UNITS	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	DETECTION	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	METHOD	IC 3M	IC 3M	IC 3E	IC 3M	IC 3M	IC 3E
ایستگاه معدن مس سرچشمه	قسمت هوایی	۱۳/۸	٤٧١	۲۳٦	۱۷/٥	٥٦٦/۳	۳۲۸
	ریشه	۱/۸	٤٦/۱	۷۱/۷	٦/۳	۸۹/۸	۱٦۱
	خاک اطراف ریشه	٤۹/٥	٦۱۱	۲۷٥	٥٦/۳	٦٥۱	۲۷۹
ایستگاه معدن مس دره‌زار	قسمت هوایی	٤	۲۹٥	۱۰٥/۲	۹	۳٥۰	۱۹٥/۳
	ریشه	۱/٥	٤٦/۲	٤۸/٤	٦/۸	٦۹	٥۹
	خاک اطراف ریشه	۳۹/٥	٥۰٦/۳	۲٦۳	٤۱/۳	٥۱۱	۲۷۰
ایستگاه دال‌خون	قسمت هوایی	۹	۱۱۷	٦۸/۱	۱۱	۲۰۱	۹٦/۳
	ریشه	۳/۹	٥۲	٥۸/۳	٥/۸	۱۳۲	٦۳/۲
	خاک اطراف ریشه	۳۱/٥	۲٦۰/۲	۱۳٤	۳٤/٦	۲٦۳	۱۳۷

براساس نتایج مقدار همهٔ عناصر در خاک در فصل بهار کمتر از فصل تابستان است. در این باره می توان گفت که علی رغم جذب زیاد عناصر در خاک در فصل بهار، به دلیل بارندگی های فصول قبل، آب شویی کاتیون ها انجام شده و کاتیون ها به لایه های پایینی خاک منتقل می شوند؛ .از این رو جذب عناصر در گیاهان در فصل تابستان بیشتر است [۱۲]. در هر دو گیاه میزان جذب هر سه عنصر به‌خصوص عناصر مس و روی در ریشه و بخش هوایی در فصل تابستان بیشتر از فصل بهار است (نمودار ۱و۲و۳و٤). باتوجه‌به رطوبت نسبتاً بالا در خاک اطراف ریشه، دلیل جذب بالاتر فلزات خاک در گیاهان در فصل تابستان می تواند ناشی از اثر دما نیز باشد که سبب رشد و نمو سلول ها و باعث افزایش میزان جذب شده است. به هرحال این امر باید در تحقیقات بعدی مورد توجه قرار گیرد. از آزمون معنی داری t-test برای بررسی های آماری استفاده شد. تفاوت های معنی‌داری در هر دو گیاه ازنظر جذب عناصر مس و روی در دو فصل و در هر سه ایستگاه مشاهده می شود (α=۰/۰٥). درمورد جذب عنصر سرب تفاوت های معنی داری در دو فصل در هر سه ایستگاه مشاهده نمی شود.

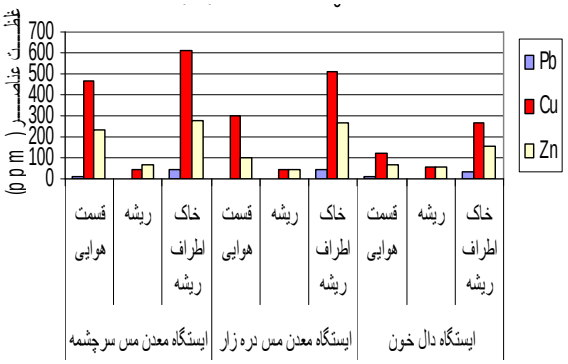
جدول۲. میزان عناصر مس،سرب و روی در ریشه، بخش هوایی گیاه و خاک اطراف ریشه *Rumex Pulcher* در بهار و تابستان در ایستگاه های مورد مطالعه.

			بهار			تابستان	
	METALS	Pb	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn
	UNITS	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	DETECTION	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	METHOD	IC 3M	IC 3M	IC 3E	IC 3M	IC 3M	IC 3E
ایستگاه معدن مس سرچشمه	قسمت هوایی	٤/٨	٣٨٩	٤٩٠	٩/٦	٤٣٦/٢	٥١٠
	ریشه	٣/٩	٣٩	١٧٨	٧/٥	٥٣/٢	٢٣٦
	خاک اطراف ریشه	٤٢	٦٨٠	٣٦٩	٤٦	٦٨٦/٩	٣٧٤
ایستگاه معدن مس دره زار	قسمت هوایی	٦/٣	٣٢٠	١٩٨	٨/١	٣٦٠/٨	٢٢٣
	ریشه	٥	٦٨	٢٩	٥/٩	٨٢	٤٩
	خاک اطراف ریشه	٣١	٥٦٠	٢٤١	٣٣	٥٧١	٢٤٦
ایستگاه دال خون	قسمت هوایی	١١	٩٥	٧٤	٧	١٠٣/٧	٨٢/٥
	ریشه	٩/٣	٣٦	٤٢	٦/٦	٣٨	٤٠
	خاک اطراف ریشه	٢٣	٢٣٦/٢	١٩٦	٢٦	٢٣٦	٢٠٩

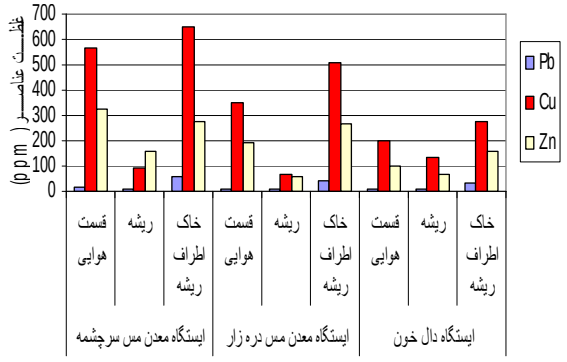
نتایج نشان می‌دهد که غلظت عناصر سنگین مس، روی و سرب هم در خاک و هم در بخش هوایی و ریشهٔ گیاهان دو ایستگاه معدن مس سرچشمه و معدن مس دره زار نسبت به ایستگاه دال‌خون که دورتر از مناطق معدنی است، بالاتر است. علت این مقادیر بالا در گیاهان این منطقه می تواند در اثر این عوامل باشد:

۱. مقدار بالاتر این عناصر به خصوص مس در خاک ایستگاه‌های معدن مس سرچشمه و معدن مس دره‌زار نسبت‌به خاک ایستگاه دال‌خون.
۲. PH پایین خاک در ایستگاه‌های معدن مس سرچشمه و معدن مس دره‌زار نسبت به ایستگاه دال‌خون. طبق گزارش های موجود PH خاک در ایستگاه های معدن مس سرچشمه و معدن مس دره‌زار درحدود ٦/٥_٦ بود که در این PH دسترسی گیاه به فلزات سنگین ازجمله مس افزایش می یابد؛ زیرا با افزایش غلظت یون های H^+، یون های مس که به صورت جذب سطحی به کلوئیدهای خاک هستند بیشتر در دسترس گیاه قرار می‌گیرند.

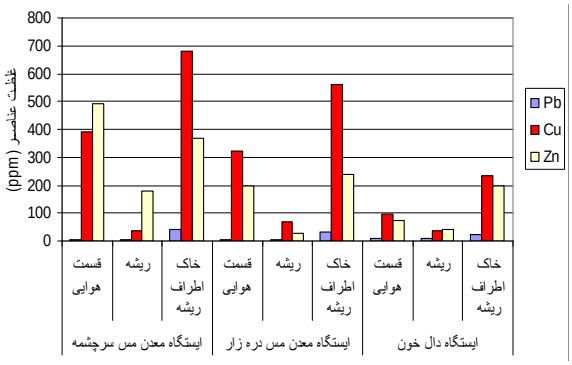
بدیهی است که میزان بالای عناصر سنگین در خاک ایستگاه‌های موردنظر به‌ویژه معدن سرچشمه و دره‌زار علاوه‌بر



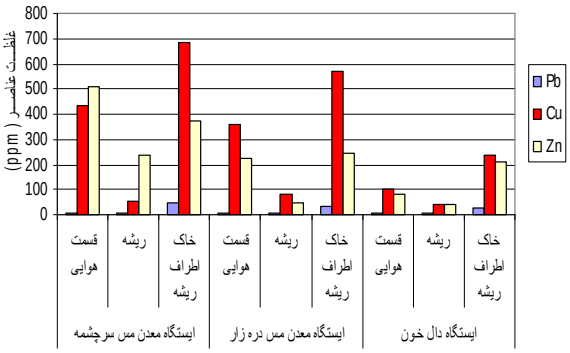
نمودار ۱. میزان عناصر مس، سرب و روی در ریشه، بخش هوایی گیاه و خاک اطراف ریشه *Verbascum songaricum* در فصل.



نمودار۲. میزان عناصر مس، سرب و روی در ریشه، بخش هوایی گیاه و خاک اطراف ریشه *Verbascum songaricum* در فصل تابستان.



نمودار ۳. میزان عناصر مس، سرب و روی در ریشهٔ، بخش هوایی گیاه و خاک اطراف ریشهٔ *Rumex pulcher* در فصل بهار.



نمودار ٤. میزان عناصر مس، سرب و روی در ریشهٔ، بخش هوایی گیاه و خاک اطراف ریشهٔ *Rumex pulcher* در فصل تابستان.

اینکه به‌دلیل کانسارسازی به‌طور طبیعی بالاست، دراثر فعالیت‌های انسان درطی سال‌های گذشته نیز تاحدودی افزایش یافته است.

در بحث گیاه‌پالایی عناصر سنگین، گونه‌هایی مناسب‌اند که تحمل بالایی دربرابر غلظت بالای فلزهای سنگین، سرعت رشد بالا، بیوماس بالا، سیستم ریشه‌ای قوی و همچنین فاکتور انتقال بالایی داشته باشند تا بتوانند سطوح بالایی از فلزها را در اندام های قابل رؤیت انباشته کنند. علاوه بر این به کاربردن سیستم‌های متعدد ازقبیل انتخاب گونه‌های گیاهی یا واریته‌هایی با پتانسیل بالا به‌منظور زدودن آلاینده‌های معین، به‌کاربردن روش‌های کشاورزی متعدد مانند تنظیم PH، افزودن کیلیت‌کنندگان به‌منظور افزایش کارایی فرایندهای آلودگی‌زدایی و به کاربردن روش‌های بیوتکنولوژی به منظور افزایش توانایی گیاهان برای بالابردن سطح پاک‌سازی مناطق آلوده، کارایی گیاه‌پالایی را افزایش می‌دهد [۳].

در مجموع می توان چنین نتیجه گیری کرد که وجود غلظت بالای عناصر سنگین به خصوص مس و روی در

بخش های مختلف گونهٔ گیاهی موردنظر، سرعت رشد بالا، بیوماس بالا، سیستم ریشه‌ای قوی و همچنین فاکتور انتقال بالا انگیزه ای برای کاربردی کردن این روش برای پاک سازی و همچنین جلوگیری از انتقال خاک آلوده با باد و باران ایجاد کرده است. ازآنجاکه استفاده‌از گیاهان در پالایش محیط زیست آلوده روشی طبیعی و کم‌هزینه است سرمایه گذاری علمی و اقتصادی در این زمینه بسیار ارزشمند است.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت مالی واحد امور تحقیقات معدن مس سرچشمه انجام شده است. بدین وسیله از جناب آقای مهندس قاسمی، مدیر محترم این مجموعه و جناب آقای مهندس شکرچیان، رئیس بخش امور آب و محیط زیست در فراهم‌آوردن امکانات و تسهیلات صمیمانه تشکر می‌شود.

مراجع

1. Memon, A. R., Aktoprakligil, D., Ozdemir, A. and Vertii, A., "Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants", ***Turkish Journal of Botany***, Vol. 25 (2001) 111-121.
2. Watanabe, M. E., "Phytoremediation on the Brink of Commercialization", ***Environmental Science and Technology***, Vol. 31 1997 182-186.
3. Wenzel, W. W., Aderiano, D. C., Salt, D. and Smith, R., "Phytoremediation: a Bioremediation of Contaminated Soils", ***American Society of Agronomy***, Madison, (1999) WI.
4. Glick, B. R., "Phytoremediation: Synergistic use of Plants and Bacteria to Clean up the Environment", Biotechnology, Vol. 21 (2003) 383–393.
5. Mitch M. L., "Phytoextration of Toxic Metals: a Review of Biological Mechanism", ***Journal of Environment Quality***, Vol. 31 (2002) 109-20.
6. Yanqun, Z., Yuan, L., Schvartz, C., Langlade, L. and Fan, L., "Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn Inplants and Hyperaccumulator Choice in Lanping Lead–Zinc Mine Area", China, ***Environment International***, Vol. 30 (2004) 567-576.
7. Wei, C. Y., Chen, T. B. and Huang, Z., "Can Arsenic Accumulating Plant", 2002.
8. Rechinger, K. H., "Flora Inranica", Vol. 1-176, Akademische Druck, U. Verlagsantalt Geraz. Austria, 1963-1999.
9. Yanqun, Z., Yuan, L., Jianjun, C., Haiyan, C., Li, Q. and Schvartz, C. "Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in Herbaceous Grown on Lead–Zinc Mining Area in Yunnan", China, ***Environment International***, Vol. 31 (2005) 755-762.
10. Fytianos, K., Katsianis, G. and Zachariadis, G. "Accumulation of Heavy Metals in Vegetables Grown in an Industrial Area in Relation to Soil. Environment Contamination and Toxicology", Vol. 67 (2001) 423-430.

۱۱. اسدی، م، معصومی، ع.ا.، خاتم ساز، م. و مظفریان، و، ۱۳۶۷-۱۳۸۲. فلور ایران. ج ۱-۴۴. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، تهران.

۱۲. وفادار، م. و زارع ماریون، ح.. مقایسه نقش برخی گیاهان علفی در جذب برخی عناصر سنگین :مطالعه موردی در منطقه جنگلی رامسر. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ، جلد ۱۳ ،شماره چهارم، ۱۳۸۵ . ۱۴۲-۱۴۹.