در
منابع طبیعی شماره ۷۵، تابستان ۱۳۸۶
پژوهش و سازندگی

گیاه‌پالایی عنصر سرب توسط گیاهان مرتعی و بومی در خاک‌های آلوده منطقه ایران‌کوه (اصفهان)

• **فرزاد پارسادوست**
کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان
• **بابک بحرینی نژاد**
عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان
• **علی اکبر صفری سنجانی**
عضو هیأت علمی دانشگاه بوعلی سینا
• **محمد مهدی کابلی**
عضو هیأت علمی وزارت جهاد و کشاورزی

تاریخ دریافت: بهمن‌ماه ۱۳۸۴ تاریخ پذیرش: خردادماه ۱۳۸۵

Email:f -dastjersi@yahoo.com

چکیده

ارزیابی تجمع عناصر سمی در خاک و گیاهان در محیط زیست از نظر سلامت و حیات انسان و سایر موجودات بسیار مهم و ضروری است. بدین منظور جهت مطالعه و میزان پالایش خاک‌های آلوده به سرب سه جایگاه با درجات مختلف آلودگی عنصر سرب (شدید، متوسط و شاهد) از طریق عکس‌های ماهواره‌ای مربوط به معدن سرب و روی باما در منطقه ایران‌کوه اصفهان انتخاب گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها و مورد بررسی قرار گرفت سپس در مرحله دوم یازده گونه گیاهی که بین سه جایگاه مشترک بودند انتخاب و در بهار سال ۱۳۸۴در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی برداشت شدند. علاوه بر آن خاک‌های ریزوسفری این گیاهان از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین فرم عصاره‌گیری شده با DTPA عنصر سرب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در نهایت انباشتگی عنصر سرب در گیاه و همچنین فاکتور انتقال عنصر سرب که یک فاکتور مهم در بحث گیاه پالایی عناصر سنگین وبه طور خاص عصاره کشی گیاهی می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گونه‌های گیاهی *Astragalus glaucantus*، *Ebenus estellata* و Acantholimon sp. به ترتیب بیشترین غلظت سرب در اندام هوایی (۱۱۸/۶، ۹۸/۱، ۸۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاهی) و بیشترین ضریب انتقال سرب از اندام زیرزمینی به اندام هوایی (به ترتیب ۲/۹۵، ۳/۵۴، ۳/۷۰) را دارا بودند با توجه به این موضوع و همچنین زیتوده مناسب و بالا، شرایط سازگاری مناسب، این سه گونه جهت پالایش خاک‌های آلوده به عنصر سرب در این منطقه و مناطق مشابه می‌توانند توصیه گردند.

کلمات کلیدی: گیاه پالایی، گیاهان فرا انباشت کننده، گیاهان مرتعی، سرب

www.SID.ir

Pajouhesh & Sazandegi No 75 pp: 54-63

Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankoh polluted soils

By: F. Parsa doost, M. Sc. of Soil Science, Isfahan Center for Research of Agricultural Science and Natural Resources, Iran Bahreini Nejad, B. Safari Sanjani A. K. and Kaboli M. M.)

Evaluation of toxic metals in soil and plants is the most important subject according to health of human and ecosystem. In this study 3 sites with 3 density of Lead pollution (high, medium and low) selected in Irankoh region via satellite images. Physical and chemical soil characteristics determined then11 common plant species selected. Shoots and roots of these plants were sampled in May 2005. This experiment was done in completely randomized plot design with 3 replicates. Physical and chemical characteristics of rhizospheric soils were prepared and extracted lead analysed using DTPA. Finally lead accumulation and translocation factor measured in this study. According to the results *Astragalus glaucanthus, Ebenus estellata* and Acantholimon sp. showed the highest value of lead concentration and translocation factor 118.6, 98.1, 86.2 (mg/kg dry matter), and 2.95, 3.54 and 3.7 respectively. These recent 3 plants are recommended for phytoremediation of lead in the same conditions.

Key words: Phytoremediation,Hyperaccumulator,Rangeland plants,Lead

مقدمه

فلزهای سنگین از طریق فعالیت‌های بشر (احتراق سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، تصفیه سنگ‌های حاوی فلز، فاضلاب‌های شهری، آفت‌کش‌ها، مواد رنگی و باتریها)و فرسایش طبیعی سنگ‌ها می‌توانند به بیوسفر وارد شوند(۱).

آلودگی خاک به عناصر سنگین یکی از مهمترین مشکلات زیست‌محیطی در بسیاری از نقاط جهان می‌باشد. باید به این نکته توجه داشت که همه عناصر به طور طبیعی در خاک وجود دارند و در تعریف غلظت طبیعی آن‌ها در خاک بایستی تغییرات زمین‌شناسی و جغرافیایی در نظر گرفته شود (۳).فرایندهای خاکسازی و هوادیدگی سنگ بستر باعث می‌شود که غلظت این عنصر به طور تدریجی در خاک افزایش یابد (۲). آلودگی گیاهان با عناصری نظیر: سرب، روی، مس و نیکل به دلیل فعالیت‌های معدن کاوی باعث نابودی گیاهان حساس و باقی ماندن گیاهان مقاوم و در نتیجه رویش گونه‌های خاص گیاهی در این مناطق می‌شود (۱۴). آلودگی خاک با عنصر سرب یکی از مهمترین آلودگی‌های زیست محیطی در بسیاری از کشورها است که باعث بروز خطرات جدی برای انسان و محیط زیست می‌شود. آلودگی بیش از حد سرب منجربه بیماری‌های صعب‌العلاج برای انسان می‌گردد. زیان سرب بیشتر ناشی از توان جابجایی کم آن در محیط زیست و رسوب پذیری بالای آن می‌باشد (۶،۱۲). شیمی واکنش فلزها در خاک یکی از مسائل اساسی در بحث گیاه پالایی فلزهای سنگین می‌باشد.

مقدار کل سرب در خاک‌ها به طور متوسط mg/kg ۱۵ گزارش شده در حالیکه این مقدار در خاک‌های آلوده به سرب بیش از mg/kg ۱۰۰ می‌رسد (۷). درگیاهان آثار سمیت با سرب معمولاً در غلظت‌های بالاتر از mg/ kg ۳۰ در برگ ظاهر می‌شود که در نهایت باعث کاهش سنتز کلروفیل و رشد رویشی می‌شود (۱۵،۷). سمیت سرب به این دلیل است که بسیاری از جنبه‌های رفتار متابولیسمی کلسیم را تقلید می‌کند و از فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها جلوگیری می‌کند (۹).

گیاه پالایی یکی از روش‌های زیست پالایی خاک‌ها است که در دهه‌های اخیر به آن توجه زیادی شده است در این روش از گیاهان مقاوم جهت پالایش خاک‌های آلوده به ترکیبات آلی و معدنی استفاده می‌گردد. مزیت‌هایی که این روش نسبت به سایر روش‌ها دارد عبارتند از سادگی، ارزان بودن و امکان بهره‌گیری در سطح وسیع می‌باشد. دراین روش انتخاب گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. انتخاب گیاه وابسته به شرایط اقلیمی و همچنین میزان آلودگی می‌باشد (۱۱،۹). عصاره کشی گیاهی یکی از روش‌های گیاه پالایی عناصر سنگین است که در این روش جذب و جمع آوری آلاینده‌ها در بافت‌های قابل برداشت گیاهی مدنظر می‌باشد. در این روش با برداشت گیاهان از خاک، آلاینده‌ها از خاک زدوده می‌شوند (۱۱،۹). در روش عصاره کشی گیاهان دو عامل بسیار مهم باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد یکی دامنه تحمل‌پذیری گیاه نسبت به عنصر (TI Tolerance Index) و دیگری فاکتور انتقال (Translocation faotor)، عنصر از ریشه به اندام هوایی TF= C shoots/ C roots می‌باشد (۱۰). این تحقیق در زمین‌های اطراف معدن سرب و روی باما (دامنه ایران‌کوه اصفهان) صورت پذیرفت. به دلیل فعالیت‌های معدن کاوی و استخراج (به صورت روباز) خاک‌های این منطقه به سرب آلوده گشته و رویشگاه‌های گیاهی خاص دراین منطقه بوجود آمده است که می‌تواند در پالایش خاک‌های آلوده به عناصر سنگین مفید واقع شود. هدف از این تحقیق ارزیابی گیاهان مرتعی و بومی منطقه ایران‌کوه نسبت به تجمع عنصر سرب می‌باشد و یا به عبارتی شناسایی و معرفی گونه‌های گیاهی فرا انباشت کننده قوی عنصر سرب که جهت پالایش خاک‌های آلوده به عنصر سرب بتوانند توصیه گردند.

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

این تحقیق در معدن سرب باما که سومین معدن بزرگ سرب و روی در کشور می‌باشد صورت پذیرفت. این معدن در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان اصفهان در دامنه ایران‌کوه با ارتفاع ۱۷۵۰ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۱۴۰ میلی‌متردر سال واقع گشته است. ماده معدنی در کانی‌ها و سنگ‌های معدن بیشتر کربنات روی، سرب و کانی‌های هیدرومورفیت و هیدروزونیت می‌باشد(۲) باطله‌های حاصل از جداسازی کانی‌ها در ۵۰ سال گذشته رویشگاه‌های گیاهی ویژه‌ای را بوجود آورده است که جهت مباحث گیاه پالایی فلزهای سنگین مناسب است. در این معدن سه جایگاه با درجات مختلف آلودگی سرب (با توجه به عکس‌های ماهواره‌ای) انتخاب شد (شکل شماره ۱). جایگاه الف حداکثر آلودگی، جایگاه ب درجه آلودگی متوسط و جایگاه پ به عنوان شاهد، انتخاب گردید. در انتخاب جایگاه‌های نمونه‌برداری سعی بر آن شد که جایگاه‌ها از جهت سری خاک، ارتفاع، جهت شیب یکسان انتخاب گردند.

شکل ۱- موقعیت منطقه ایرانکوه و مناطق نمونه‌برداری

انتخاب گیاه

در این بررسی یازده گونه از هفت خانواده گیاهی که مشترک بین سه جایگاه بودند انتخاب گردیدند(جدول شماره یک) گونه‌های گیاهی در سه تکرار در هر جایگاه به طور کامل از خاک درآورده شد و پس از کد گذاری به آزمایشگاه انتقال داده شد.پس از شستشوی نمونه‌های گیاهی با اسیدکلریدریک ۰/۰۱ نرمال و آب مقطر اندام هوایی و زیرزمینی جداگشت سپس نمونه‌ها درآون در ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و بعد از خشک شدن، نمونه‌ها آسیاب شده و جهت اندازه‌گیری عنصر سرب مهیا گردید.

نمونه‌برداری از خاک:

ابتدا در هر جایگاه سه پروفیل به فاصله ۲۵ متر از یکدیگر زده شد و از دو عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتیمتر (منطقه فعال ریشه) نمونه‌برداری انجام شد. در دو جایگاه دیگر نیز به همین صورت نمونه‌برداری انجام پذیرفت.

نمونه‌برداری از ریزوسفر گیاهان

در هنگام نمونه‌برداری از گیاهان خاک ریزوسفری (خاک پیرامون ریشه) هر گیاه برداشته شد و جهت انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شد.

تجزیه‌های آزمایشگاهی خاک

نمونه‌های خاک (پروفیل‌ها و خاک ریزوسفری) پس از خشک‌شدن در هوای آزاد،کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و آزمایش‌های بافت خاک، pH، هدایت الکتریکی(Ec)، کربن آلی، پتاسیم قابل جذب، فسفر، نیتروژن کل خاک فرم قابل جذب و کل عنصر سرب در نمونه‌ها با توجه به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید (۹،۵، ۱۸،۱۷).

اندازه‌گیری غلظت عنصر سرب در نمونه‌های گیاهی

نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن آسیاب شد و عنصر سرب در اندام‌هوایی و زیرزمینی به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد. هضم نمونه‌ها به روش اکسیداسیون‌تر توسط اسیدنیتریک، اسید کلریدریک و آب اکسیژنه صورت پذیرفت سپس سرب نمونه‌های گیاهی توسط دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۲۰۰ اندازه‌گیری گردید (۱۹).

نتایج

جدول شماره دو مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک جایگاه‌های نمونه‌برداری آورده شده است. pH نمونه‌های خاک نشان می‌دهد که خاک جایگاه‌های نمونه‌برداری جزء خاک‌های آهکی بوده و در دامنه نرمال این خاک‌ها می‌باشند. خاک‌های مورد نظر از نظر ماده آلی فقیر (کمتر از یک درصد) و با توجه به هدایت الکتریکی عصاره اشباع، از گروه خاک‌های غیرشور می‌باشند. بافت این خاک‌ها متوسط و به دلیل کمی مواد آلی، ذرات رس در آن‌ها نقش ویژه‌ای دارند (جدول-۲).

مقایسه میانگین‌های مقادیر کل و قابل جذب سرب در جدول ۴ در عمق‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری از سطح خاک در سه جایگاه نمونه برداری را نشان می‌دهد. مقادیر کل سرب در خاک‌های نمونه‌برداری شده در دو عمق مورد نظر اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. به بیان دیگر دو عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتیمتری در جایگاه‌های نمونه‌برداری تفاوتی از نظر غلظت کل سرب نشان ندادند.

بین مقادیر قابل فراهم سرب در دو عمق مورد نظر درسه جایگاه تفاوت معنی‌داری وجود داشت به گونه‌ای که مقادیر سرب قابل جذب در عمق ۲۰-۰ بیشتر از ۴۰-۲۰ سانتیمتر بود (جدول ۴).

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از غلظت سرب کل و فراهم تحت اثر جایگاه نمونه‌برداری نشان داد که بین مقادیر کل سرب در بین سه جایگاه در سطح آماری ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد ولی بین مقادیر فراهم سرب در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۱- برخی از ویژگی‌های گیاهان نمونه‌برداری شده از سه جایگاه نمونه‌برداری

خانواده	نام علمی	نام فارسی	فرم رویشی	کاربرد
Asteraceae	*Artemisia siebri*	درمنه دشتی	بوته‌ای	دارویی- مرتعی
	Scariola orientalis	جاز-جارو	علفی- چندساله	علوفه‌ای
Lamiaceae	*Stachys inflata*	گاوپونه	علفی- چندساله	مرتعی
	Tucrium polium	کلپوره	علفی- چندساله	دارویی
Poaceae	*Stipa barbata*	یال اسبی	علفی- چندساله	مرتعی
	Bromus tectorum	جارو علفی	علفی- یکساله	مرتعی
Brassicaceae	*Alyssum bracteatum*	قدومه	علفی چندساله	دارویی
Plumbaginaceae	*Acantholimon* sp.	کلاه‌میرحسن	بوته‌ای	حفاظتی
Papilionaceae	*Astragalus glaucanthus*	گون اسبی	بوته‌ای	حفاظتی - مرتعی
	Ebenus stellata	جوسیخ	بوته‌ای	مرتعی- حفاظتی
Papaveraceae	*Hypecum pendulum*	شاه‌تره‌ای	علفی- یکساله	مرتعی

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی خاک‌های نمونه‌برداری شده.

جایگاه نمونه برداری	عمق	شوری ds/m	اسیدیته	درصدآهک	درصد موادآلی	درصد رس	درصد لای	درصد شن	بافت
الف	۰-۲۰	۰/۴۳	۷/۷۶	۴۵/۸۳	۰/۵۰	۲۱/۴۰	۴۲/۱۳	۳۶/۴۷	L
	۲۰-۴۰	۰/۳۸	۷/۹۶	۵۱/۱۶	۰/۰۵	۲۴/۰۴	۴۵/۴۰	۳۰/۵۶	L
ب	۰-۲۰	۰/۴۴	۷/۵۶	۵۱/۰۰	۰/۱۶	۱۹/۶۰	۳۳/۵۳	۴۶/۸۷	L
	۲۰-۴۰	۰/۳۸	۷/۸۳	۶۴/۶۰	۰/۱۲	۱۴/۲۶	۲۷/۵۳	۵۸/۲۱	SL
پ	۰-۲۰	۰/۵۰	۷/۶۶	۴۰/۵۰	۰/۰۸	۲۱/۸۶	۳۴/۰۶	۴۴/۰۸	L
	۲۰-۴۰	۰/۵۲	۷/۸۶	۵۲/۱۶	۰/۰۱	۱۸/۵۳	۲۴/۷۳	۵۶/۷۴	SL

الف= جایگاه با درجه آلودگی زیاد ب= جایگاه با درجه آلودگی متوسط پ= جایگاه شاهد (غیر آلوده)

داشت (جدول ۳).مقایسه میانگین‌های مقادیر کل و قابل جذب سرب در سه جایگاه نمونه‌برداری نشان می‌دهد (جدول ۵) بین مقادیر کل در سه جایگاه اختلاف معنی‌داری وجود دارد به گونه‌ای که بیشترین مقدار سرب کل در جایگاه الف و کمترین مقدار در جایگاه پ وجود دارد. مقادیر قابل جذب سرب در جایگاه الف به میزان چشمگیری بیشتر از جایگاه‌های ب و پ بود ولی می‌ان جایگاه‌های ب وپ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). با توجه به دامنه غلظت نرمال سرب در خاک‌ها mg/kg ۱۰ گزارش شده و غلظت سمی این عنصر ۴۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد بنابراین می‌توان گفت مقادیر سرب در جایگاه‌های مورد بررسی در دامنه سمیت واقع شده‌اند(۸، ۱۶).

جدول ۶ نتایج تجزیه واریانس مقادیر سرب در گیاهان نمونه‌برداری شده از منطقه ایران‌کوه تحت اثر نوع گیاه، جایگاه نمونه‌برداری، اندام و اثرات متقابل آن‌ها را نشان می‌دهد. اثر گونه گیاهی بر مقادیر سرب انباشته شده به ازاء واحد وزن گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین گیاهان مورد بررسی گونه Acantholimon sp و *Ebenus stellata* بیشتر از گیاهان دیگر سرب را در اندام‌های خود انباشته کرده‌اند. به بیان دیگر سرب انباشته شده دراین دو گونه گیاهی به ازاء واحد وزن گیاه بیشتر از گیاهان دیگر بود (شکل ۲)

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نیز نشان داد که اثر جایگاه نمونه‌برداری بر انباشتگی عنصر سرب در گیاهان مورد مطالعه درسطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود مقایسه میانگین‌ها نشان داد که گیاهان جایگاه الف و پ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار سرب را به خود اختصاص داده‌اند(جدول ۷).

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نشان داد که بین اندام هوایی و

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳- نتایج واریانس مقادیر کل و فراهم عنصر سرب تحت اثر جایگاه نمونه‌برداری، عمق و اثرات متقابل آن‌ها در خاک‌های منطقه ایران‌کوه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		سرب کل	سرب فراهم
جایگاه نمونه برداری	۲	۲۶۷۸۹/۱۸۰*	۵۳۷/۰۷۷**
عمق	۱	۱۳۳۴/۷۲۲ns	۸۹/۶۹۰*
جایگاه * عمق	۲	۳۷۱۷/۹۳*	۷۵/۶۹۲*
خطا	۱۲	۳۷۱/۱۵۲	۱۳/۶۵۷

**، نشان‌دهنده معنی‌داربودن در سطح احتمال یک درصد است. *، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد است.
ns، نشان دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در هر سطح آماری می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های مقادیر کل سرب و قابل جذب در عمق‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری در سه جایگاه نمونه‌برداری از منطقه ایران‌کوه بر اساس آزمون وان‌کن در سطح احتمال ۱ درصد

عمق	سرب کل (mg/ kg)	سرب قابل جذب (mg/ kg)
۲۰-۰	۱۸۹/۰۰[a]	۱۱/۳۲[a]
۴۰-۲۰	۱۷۱/۷۸[a]	۶/۸۶[b]

وجود حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار است.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های مقادیر کل سرب و قابل جذب خاک در جایگاه‌های نمونه‌برداری از منطقه ایران‌کوه بر اساس آزمون وان‌کن در سطح احتمال ۱ درصد. وجود حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار است.

جایگاه نمونه‌برداری	سرب (mg/ kg)	سرب قابل جذب (mg/ kg)
الف	۲۵۴/۰۸[a]	۱۹/۹۵[a]
ب	۱۶۳/۳۳[b]	۴/۷۳[b]
پ	۱۲۳/۷۵[c]	۲/۶[b]

الف= جایگاه با درجه آلودگی زیاد ب= جایگاه با درجه آلودگی متوسط پ= جایگاه شاهد (غیر آلوده)

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس مقادیر سرب در گیاهان نمونه‌برداری شده از منطقه ایران‌کوه تحت اثر نوع گیاه، جایگاه نمونه‌برداری اندام و اثرات متقابل آنها

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
		سرب
گیاه	۱۰	۲۲۰۸/۵۵**
جایگاه نمونه برداری	۲	۱۱۶۶۶۸/۵۷**
اندام	۱	۲۲۱۰۴/۴۱**
گیاه درجایگاه	۲۰	۱۰۹۵/۹۳**
گیاه در اندام	۱۰	۷۴۹۷/۱۶**
خطا	۱۳۲	۴۷/۸۱

** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد است

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۷- مقایسه میانگین مقادیر سرب در گیاهان سه جایگاه نمونه‌برداری شده ازمنطقه ایران‌کوه بر اساس آزمون دان‌کن در سطح احتمال یک درصد

جایگاه نمونه‌برداری	سرب (mg/ kg)
الف	۱۰۱/۵۰[a]
ب	۳۸/۷۸[b]
پ	۲۱/۶۴[c]

الف= جایگاه با درجه آلودگی زیاد ب= جایگاه با درجه آلودگی متوسط پ= جایگاه شاهد (غیر آلوده)

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های مقادیر سرب در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان منطقه ایران‌کوه بر اساس آزمون دان‌کن در سطح احتمال یک درصد.

اندام	سرب (mg/kg)
هوایی	۵۴/۶۴[a]
زیرزمینی	۴۰/۴۳[b]

زیرزمینی گیاهان مورد بررسی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد جود دارد. مقایسه میانگین‌ها به گونه‌ای بود که بیشترین غلظت سرب در اندام هوایی وکمترین غلظت در اندام زیرزمینی بود (جدول ۸).

از آنجائیکه عکس‌العمل گیاهان مختلف نسبت به مقادیر مختلف گیاهان مختلف نسبت به مقادیر مختلف آلودگی در جایگاه‌های نمونه‌برداری متفاوت است, به همین دلیل تأثیر پذیری هر گیاه نسبت به عنصر سرب در اندام هوایی و زیرزمینی بصورت جداگانه بررسی و ارزیابی گردید.

جدول ۹ نتایج تجزیه واریانس اثر اندام هوایی بر انباشتگی عنصر سرب تحت اثر اندام هوایی، جایگاه نمونه‌برداری و اثرات متقابل آن‌ها را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که اثر اندام هوایی بر انباشتگی عنصر سرب در سطح آماری یک درصد معنی‌دار است (جدول ۹)

مقایسه میانگین‌ها برای مقادیر غلظت سرب موجود در اندام هوایی گیاهان (شکل ۳) مورد بررسی نشان داد که گونه گیاهی *Ebenus stellata* با میانگین غلظت سرب ۱۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین و گونه *Bromus tectorum* با میانگین ۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین انباشتگی سرب را در اندام هوایی خود نشان دادند (شکل ۳).

جدول ۱۰ نتایج تجزیه واریانس اثر اندام زیرزمینی بر انباشتگی عنصر سرب را نشان می‌دهد و به گونه‌ای است که در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شده است مقایسه میانگین‌ها برای غلظت سرب موجود در اندام زیرزمینی گیاهان مورد مطالعه (شکل ۴) نشان داد که گونه گیاهی *Bromus tectorum* با انباشتگی ۶۸/۶ و گونه *Astragalus glaucanthus* و با انباشتگی ۲۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاهی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار انباشتگی سرب را ر اندام هوایی نشان دادند (شکل ۴).

نتایج تجزیه واریانس خاک ریزوسفری گیاهان مورد بررسی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۱) مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین فرم قابل جذب سرب در ریزوسفر گیاه *Bromus tectorum* و کمترین در گونه *Acantholimon sp ,Astragalus glaucanthus Ebenus stellata* وجود دارد(جدول۱۲).

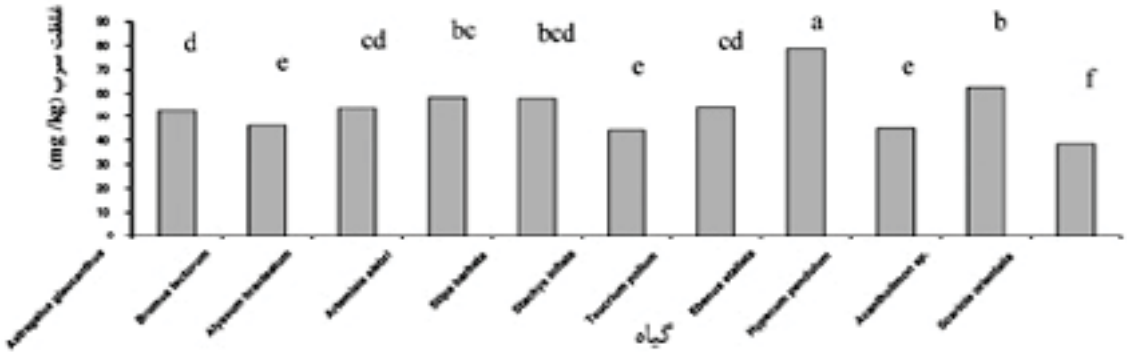
با توجه به این که در بحث گیاه پالایی فلزهای سنگین به طورخاص عصاره کشی گیاهی نسبت انتقال عناصر از اندام زیرزمینی به اندام هوایی یا همان فاکتور انتقال (نسبت غلظت عنصر در اندام هوایی به غلظت همان عنصر در اندام زیرزمینی) بسیار مهم و ضروری است دراین قسمت نتایج حاصل از این فاکتور در جدول ۱۳ آورده شده است.

با توجه به جدول ۱۳ گونه‌های گیاهی *Astragalus glaucanthus* و Acanthliomon sp. و *Ebenus stellata* با نسبت انتقال (Translocation factor) به ترتیب ۳/۷۰، ۳/۵۴ ۲/۹۵ بیشترین توانایی را در جهت انتقال سرب از اندام‌های زیرزمینی به اندام‌های هوایی نشان داده‌اند.

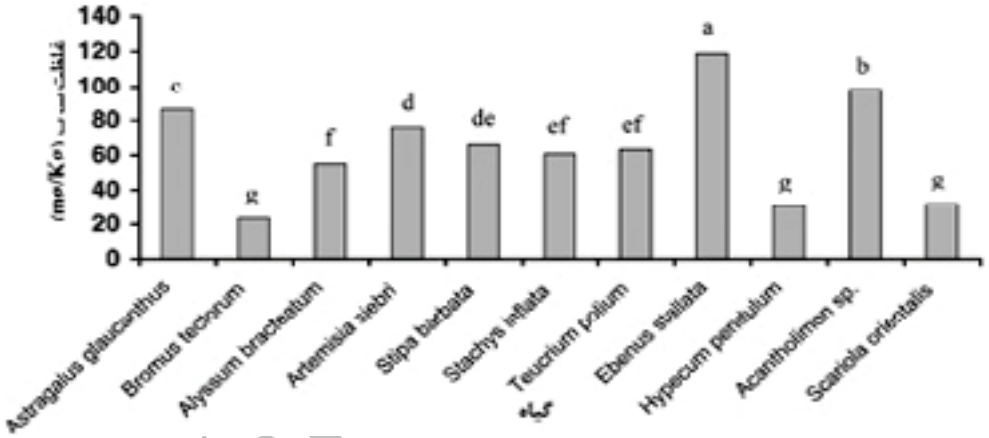
بحث

با توجه به وضعیت توپوگرافی، شرایط اقلیمی منطقه و رژیم رطوبتی (اریدیک) خاک‌های این منطقه جزء خاک‌های اریدی سول بوده و جزء سری گلشهر می‌باشند رده‌بندی خاک بر پایه رده‌بندی آمریکایی تا حد فامیل (۱۳) فاین لومی، میگس، ترمیک، تیپیک، هاپلوکسید می‌باشد(۱۶). این اراضی دارای خاک‌های آهکی غیرشور بوده و بافت آن‌ها متوسط تا سبک، دارای ماده آلی کم می‌باشند. دامنه غلظت نرمال سرب در خاک‌ها ۱۰ mg/kg گزارش شده و غلظت سمی این عنصر ۴۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۱۶،۸) بنابراین می‌توان گفت مقادیر سرب در جایگاه‌های مورد بررسی در دامنه سمیت واقع شده‌اند. منتهی جایگاه پ(شاهد) کمترین مقدار را از نظر سرب دارد در حالی که جایگاه الف (آلوده‌ترین جایگاه) بیشترین غلظت سرب و دارای سمیت شدید با سرب می‌باشد. با توجه به مقدار کل سرب در این سه جایگاه که تأثیر درمقدار قابل جذب سرب می‌گذارد، جایگاه الف بیشترین و جایگاه پ کمترین غلظت سرب قابل جذب را خواهند داشت که نتایج نیز این مطلب را تائید می‌کند (جدول ۵). در مباحث گیاه پالایی و به طور خاص عصاره کشی گیاهی دو فاکتور مهم یکی (Tolorence Index) دامنه تحمل پذیری گیاه و همچنین فاکتور (Translocatian Factor)

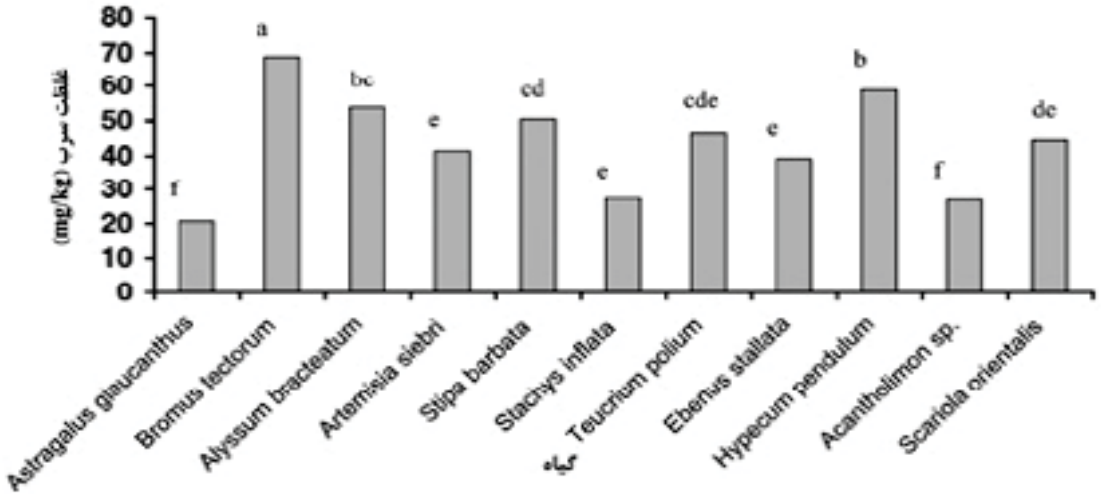
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های غلظت سرب گونه‌های گیاهی (غلظت متوسط سرب به ازای واحد وزن گیاه)
مورد بررسی بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد. وجود حروف مشابه روی ستون‌ها نشانه نبود تفاوت چشمگیر می‌باشد.



شکل۳- مقایسه میانگین‌ها برای تجمع سرب در اندام هوائی گیاهان مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد



شکل ۴- مقایسه میانگین‌ها برای تجمع سرب در اندام زیرزمینی گیاهان مورد بررسی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد

www.SID.ir

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس مقادیر سرب در گیاهان نمونه برداری شده از منطقه ایران‌کوه تحت اثر اندام هوائی، جایگاه نمونه برداری و اثرات متقابل آنها

منابع تغییرات	درجات آزادی	میانگین مربعات سرب
اندام هوائی	۱۰	۷۷۹۳/۰ **
جایگاه نمونه برداری	۲	۸۱۵۶۸/۸ **
اندام هوائی * جایگاه نمونه برداری	۲۰	۲۷۲۹/۵ **
خطا	۶۶	۶۰/۴

** نشان دهنده چشمگیر بودن در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

جدول۱۰-نتایج تجزیه واریانس مقادیر سرب در گیاهان نمونه برداری شده از منطقه ایران‌کوه تحت اثر اندام زیر زمینی، جایگاه نمونه برداری و اثرات متقابل آنها

منابع تغییرات	درجات آزادی	میانگین مربعات سرب
اندام زیر زمینی	۱۰	۱۹۱۲/۷ **
جایگاه نمونه برداری	۲	۳۹۳۹۹/۹ **
اندام زیرزمینی * جایگاه نمونه برداری	۲۰	۵۱۰/۷ **
خطا	۶۶	۳۵/۲

** نشان‌دهنده معنی‌داربودن در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

انتقال عناصر از اندام زیرزمینی به هوایی مهم می‌باشد که در این قسمت برای شناسایی گونه‌های گیاهی فرا انباشت کننده به این موضوع پرداخته می‌شود (۱۰).

Mattina و همکاران (۱۱) برای شناسایی گونه‌های فرا انباشت کننده جهت پالایش خاک‌های آلوده به فازهای سنگین دامنه تحمل پذیری و فاکتور انتقال عناصر سنگین را در اندام‌های هوایی و زیرزمینی بررسی کردند بدین منظور ما در ابتدا مقایسه‌ای بین ۱۱ گونه گیاهی بین سه جایگاه مختلف نمونه‌برداری از نظر انباشتگی سرب در کل گیاه (حاصل از اندام هوایی و زیرزمینی) صورت پذیرفت تا دامنه تحمل پذیری این گیاهان مقایسه گردد و با توجه به این موضوع و مقایسه شکل ۲ گونه‌های گیاهی *Acantholimon* sp, *Ebenus stel-lata* گونه‌هایی بودند که در این بررسی بیشترین انباشتگی سرب (غلظت متوسط سرب به ازاء واحد وزن گیاه) را در بین گونه‌های دیگر نشان دادند. میزان انباشتگی (جدول ۷) در گیاهان به میزان آلودگی جایگاه‌های نمونه‌برداری نیز وابسته است و با توجه به نتایج بدست آمده و فاکتورهای قبلی می‌توان چنین بیان کرد که هرچه آلودگی خاکی نسبت به عناصر سنگین بیشتر باشد احتمال انباشتگی بیشتری از عناصر یادشده در گیاه وجود خواهد داشت (۳).

با توجه به جدول ۸ که مقایسه میانگین بین مقادیر سرب موجود در اندام‌های هوائی و زیرزمینی گیاهان مورد بررسی را نشان می‌دهد. مقدار عنصر سرب در اندام هوائی بیشتر از اندام‌های زیرزمینی گیاهان مورد بررسی می‌باشد و با توجه به جداول ۴و۵ چنین انتظاری نیز می‌رفت. از آنجایی که عکس العمل گیاهان مختلف نسبت به مقادیر آلودگی‌های متفاوت در جایگاه‌های نمونه برداری با یکدیگر تفاوت دارد و گیاهان عکس‌العمل‌های خاصی را نشان می‌دهند در این قسمت مقایسه‌ای بین زیست انباشتگی عنصر سرب در اندام هوایی و زیر زمینی گیاهان مورد بررسی صورت پذیرفت که می‌تواند جهت تکمیل فاکتور دوم عصاره کشی گیاهان یعنی فاکتور انتقال (نسبت غلظت در اندام هوایی و اندام زیرزمینی) عنصر بسیار مهم باشد.شکل۳و۴ مقایسه میانگین‌ها برای تجمع عنصر سرب در اندام هوایی و زیرزمینی یازده گونه گیاهی را نشان می‌دهد گونه‌هایی که بیشترین توانایی جهت انتقال عنصر سرب را از اندام زیرزمینی به اندام هوایی داشته‌اند عبارتند از:

Astragalus glaucanthous, Acantholimon sp. *Ebenus stellata*

جدول ۱۱- نتایج تجزیه واریانس مقادیر سرب فراهم در خاک ریزوسفر گیاهان مورد بررسی تحت اثر گیاه، جایگاه نمونه‌برداری و اثرات متقابل آنها.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
		سرب
جایگاه نمونه‌برداری	۲	۹۶۹۷/۴۴**
گیاه	۱۰	۱۱۶/۵۵**
گیاه در جایگاه	۲۰	۱۰۲/۳۳**
خطا	۶۶	۱۶/۰۷

** نشان‌دهنده معنی‌داربودن در سطح احتمال یک درصد است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱۲- مقایسه میانگین مقادیر سرب فراهم در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد وجود حروف مشابه در ستون‌ها نشانه نبود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

نام گیاه سرب(mg/kg)	
(گون اسبی)*Astragalus glancanthus*	۵۳/۱۳ cd
(جارو علفی)*Bromus tectorum*	۲۳/۲۲ a
(قدومه)*Alyssum bracteatum*	۱۶/۶۸ bc
(درمنه دشتی)*Artmisia siebri*	۱۵/۵۱ cd
(یال اسبی)*Stipa barbata*	۱۲/۱۸ de
(گاو پونه)*Stachys inflata*	۱۵/۹۱ cd
(کلپوره)*Tecurium polium*	۱۹/۶۶ ab
(جو سیخ)*Ebenus stellata*	۹/۷۶ e
(شاه تره ای)*Hypecum pendulum*	۱۷/۵۸ bc
(کلاه میرحسن)Acantholimon sp	۱۵/۰۶ cd
(جاز)*Scariola arientalis*	۱۵/۲۸ cd

جدول ۱۳- نسبت غلظت عنصر در اندام هوایی به زیرزمینی در گیاهان مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد وجود حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

گیاه	TF
Astragalus glaucanthus	۳/۷۰ a
Acanthliomon sp	۳/۵۴ a
Ebenus stellata	۲/۹۵ a
Stachys inflata	۲/۴۲ abc
Artemisia siebri	۱/۸۹ bcd
Teucrium polium	۱/۸۴ cde
Stipa barbata	۱/۲۸ cde
Alyssum bracteatum	۱/۱۳ cde
Scariola orientalis	۱/۰ cde
Hypecum pendulum	۰/۵۸ de
Bromus tectorum	۰/۳۶ e

می‌باشند و با توجه به مقایسه میانگین مقادیر سرب فراهم ریزوسفر این گیاهان در می‌یابیم (جدول ۱۱)که این سه گونه به نوعی کمترین فرم قابل جذب سرب را در این ریزوسفر خود نشان دادند یعنی توانسته‌اند به نوعی سرب را تخلیه و به اندام‌های هوایی انتقال دهند.

با توجه به شکل ۴ کمترین انباشت‌کی سرب در اندام زیرزمینی گونه‌های *Artemisia*، *Astragalus glaucanthus* Acantholimon sp, *siebri*, *Stachys inflata, Ebenus stellata* دیده شده با توجه به این شکل (شکل ۴) و مقایسه آن با شکل ۳ ملاحظه می‌گردد که گونه‌های گیاهی که توانسته‌اند به نوعی سرب را به اندام‌های هوایی خود انتقال بدهند، کمترین انباشتگی از این عنصر را نیز در اندام زیرزمینی خود داشته‌اند. در زمین‌های پیرامون معادن سرب و روی گیاهان خانواده براسیکایه عمدتاً گونه‌های فرا انباشت کننده سرب و روی می‌باشند(۴). در مباحث گیاه‌پالایی فلزهای سنگین باید به فاکتورهای بردباری گیاه دربرابر فلزهای سنگین سیستم ریشه‌ای گیاهان، توانایی انتقال عناصر از اندام زیرزمینی به اندام هوایی (فاکتورانتقال) سرعت رشد بالا و زیتوده بالای گیاهی دقت نمود (۵). در این پژوهش با توجه به نکات گفته شده گونه‌های گیاهی *Ebenus stellata* و *Astragalus glaucanthus* Acanthliomon sp گونه‌هایی مناسب جهت پالایش خاک‌های آلوده به عنصر سرب می‌باشند که می‌توانند در مناطق مشابه نیز توصیه گردند.

سپاسگزاری

در پایان از کلیه همکارانی که در مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان اصفهان با اینجانب هم‌کاری نمودند تقدیر و تشکر می‌نمایم.

منابع مورد استفاده

۱. حاتمیان زارعی، ا.۱۳۷۹؛ زیست سالم سازی خاک‌های آلوه به هیدروکربن‌ها (آروماتیک و جذب حلقه‌ای)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
۲.علامه، ا. ۱۳۷۶. گزارش اکتشاف معدن گوشفیل. شرکت باما. اصفهان. ۱۵۰ صفحه.
3- Blaster, P., S. Zimmermann, J. Luster and W. Shotyk., 2000; Critical examination of trace element enrichment and depletion in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in Swiss forest soil. Sci. Total. Environ. 249: 257- 280.
4- Brooks, R. R., 1998; Plants that hyperaccumlate heavy metal.

Archive of SID
www.SID.ir

CAB Intenational, Newyork, 380 P.

5- Carter, M. R. (Ed)., 1993; Soil sampling and method of analysis". Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers.

6- Garbisu, C. and I. Alkorta., 2001; Phytoextraction: acost-effective plant based technology for the removal of metals from the environment. Bioresource Technology, 779 (2001) PP: 229- 236.

7- Hutzinger, O., 1980. The hand book of environmental chemistry". Vol. 3 part. A. PP: 59- 107.

8- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias., 1994. Trace element in soils and plant". Crcpress Boca Raton Ann Arbor Landon. P. 223.

9- Klute, A., 1986. "Method of soil analysis." Part1: Physical methods. Soi. Sci SOC. Ameri. J. PP: 432-449.

10- Lasat, M. M., 2000; Phytoextoraction of metals from contuminated soil: A review of plant/ soil/ metal. Interaction and assessment of pertinent agronomic issues". Journal of Hazardosus Substance Research. 2: 1- 25.

11- Mattina, M. J.I., Lannucci-Berger,W.,Musante. C., White,J.C., 2003; Concurrent plant uptake of havey metal and persistent organic poIlutants from soil. Environmental Pollution 124,375-378.

12- Reeres, R. D., and A. J. M Baker., 1999; Metal-accunulating plant. In phytorememediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment, eds. I.Raskin and B. D. Ensley, PP 1930; John Wiley& Sons Inc, New York, NY.

13- Rice, R. W., R. A. Gilbert and S. H. Daroub. 1999; Soil taxonomy basic system of soil classification for making and interpreting soil survey". 2d ed. Agric. Handb. No. 436. USDA-NRCS, p. 869.

14- Schnoor, J. L., 1997; Phytoremediution". The University of Iowa, Department of Civil and Environmental Engineering and Center for Global and Regional Environmental Research.

15- Shaw, A. J., 1989; Heavy metal tolerance in plants: volutionary aspects". CRC Press, INC. Florida. 299 P.

16- Sheila, M. T., 1996; Toxic metal in soil- plant systems". John Wily& Sons. Newyork. 469 P.

17- Soon, U. K., and Abboud., 1978; Soil sampeling and methods of analysis, in cadmium, chromium. nickel and lead". Canadian Society of Soil Science, chapter: 13, PP:101- 107.

18- Sparks, D. L., and J. M. Bartels., 1996; Methods of soil Analysis." Part3: Chemical Methods. G. W. Thomas, 1984; Soi. Scisoc. Ameri. J. No. 5 PP: 475-490.

19- Westerma., R. E. L., 1990; Soil testing and plant analysis"., SSSA. Madison Wisconsin, USA.

Archive of SID

www.SID.ir