



در

منابع طبیعی شماره ۷۵، تابستان ۱۳۸۶

پژوهش ساززندگ

گیاه پالایی عنصر سرب توسط گیاهان مرتعی و بومی در خاک‌های آلوده منطقه ایران کوه (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 ایران کوه 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 ۱۳۸۴ در 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 و به طور خاص عصاره کشی گیاهی می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که گونه‌های گیاهی *Acantholimon* sp. و *Astragalus glaucantus*. *Ebenus estellata* 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

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 then 11 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

متابولیسمی کلسیم را تقلید می کند و از فعالیت بسیاری از آنزیمها جلوگیری می کند (۹).

گیاه پالایی یکی از روشهای زیست پالایی خاکها

است که در دهه های اخیر به آن توجه زیادی شده است در این روش از گیاهان مقاوم جهت پالایش خاکهای آلوده به ترکیبات آلی و معدنی استفاده می گردد. مزیت هایی که این روش نسبت به سایر روشها دارد عبارتند از سادگی، ارزان بودن و امکان بهره گیری در سطح وسیع می باشد. در این روش انتخاب گیاه از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. انتخاب گیاه وابسته به شرایط اقلیمی و همچنین میزان آلودگی می باشد (۱۱،۹). عصاره کشی گیاهی یکی از روشهای گیاه پالایی عناصر سنگین است که در این روش جذب و جمع آوری آلاینده ها در بافت های قابل برداشت گیاهی مدنظر می باشد. در این روش با برداشت گیاهان از خاک، آلاینده ها از خاک زدوده می شوند (۱۱،۹). در روش عصاره کشی گیاهان دو عامل بسیار مهم باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد یکی دامنه تحمل پذیری گیاه نسبت به عنصر (TI Tolerance Index) و دیگری فاکتور انتقال (Translocation factor)، عنصر از ریشه به اندام هوایی $TF = C \text{ shoots} / C \text{ roots}$ می باشد (۱۰). این تحقیق در زمین های اطراف معدن سرب و روی باما (دامنه ایران کوه اصفهان) صورت پذیرفت. به دلیل فعالیت های معدن کاوی و استخراج (به صورت روباز) خاک های این منطقه به سرب آلوده گشته و رویشگاه های گیاهی خاص در این منطقه بوجود آمده است که می تواند در پالایش خاک های آلوده به عناصر سنگین مفید واقع شود. هدف از این تحقیق ارزیابی گیاهان مرعی و بومی منطقه ایران کوه نسبت به تجمع عنصر سرب می باشد و یا به عبارتی شناسایی و معرفی گونه های گیاهی فرا انباشت کننده قوی عنصر سرب که جهت پالایش خاک های آلوده به عنصر سرب بتوانند توصیه گردند.

فلزهای سنگین از طریق فعالیت های بشر (احتراق سوخت های فسیلی، استخراج معادن، تصفیه سنگ های حاوی فلز، فاضلاب های شهری، آفت کش ها، مواد رنگی و باتریها) و فرسایش طبیعی سنگ ها می توانند به بیوسفر وارد شوند (۱).

آلودگی خاک به عناصر سنگین یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی در بسیاری از نقاط جهان می باشد. باید به این نکته توجه داشت که همه عناصر به طور طبیعی در خاک وجود دارند و در تعریف غلظت طبیعی آن ها در خاک بایستی تغییرات زمین شناسی و جغرافیایی در نظر گرفته شود (۳). فرایندهای خاک سازی و هوازدگی سنگ بستر باعث می شود که غلظت این عنصر به طور تدریجی در خاک افزایش یابد (۲). آلودگی گیاهان با عناصری نظیر: سرب، روی، مس و نیکل به دلیل فعالیت های معدن کاوی باعث نابودی گیاهان حساس و باقی ماندن گیاهان مقاوم و در نتیجه رویش گونه های خاص گیاهی در این مناطق می شود (۱۴). آلودگی خاک با عنصر سرب یکی از مهمترین آلودگی های زیست محیطی در بسیاری از کشورها است که باعث بروز خطرات جدی برای انسان و محیط زیست می شود. آلودگی بیش از حد سرب منجر به بیماری های صعب العلاج برای انسان می گردد. زیان سرب بیشتر ناشی از توان جایابی کم آن در محیط زیست و رسوب پذیری بالای آن می باشد (۶،۱۲). شیمی واکنش فلزها در خاک یکی از مسائل اساسی در بحث گیاه پالایی فلزهای سنگین می باشد.

مقدار کل سرب در خاکها به طور متوسط 15 mg/kg گزارش شده در حالیکه این مقدار در خاک های آلوده به سرب بیش از 100 mg/kg می رسد (۷). در گیاهان آثار سمیت با سرب معمولاً در غلظت های بالاتر از 30 mg/kg در برگ ظاهر می شود که در نهایت باعث کاهش سنتز کلروفیل و رشد رویشی می شود (۱۵،۷). سمیت سرب به این دلیل است که بسیاری از جنبه های رفتار

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 ایران کوه با ارتفاع ۱۷۵۰ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه ۱۴۰ میلی‌متر در 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.

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 خشک شدن 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، ۱۷، ۱۸).

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 اکسیداسیون تر توسط اسیدنیتریک، اسید کلریدریک و آب اکسیژنه صورت پذیرفت سپس سرب نمونه‌های گیاهی توسط دستگاه جذب اتمی پراکین المر مدل ۲۰۰ اندازه‌گیری گردید (۱۹).

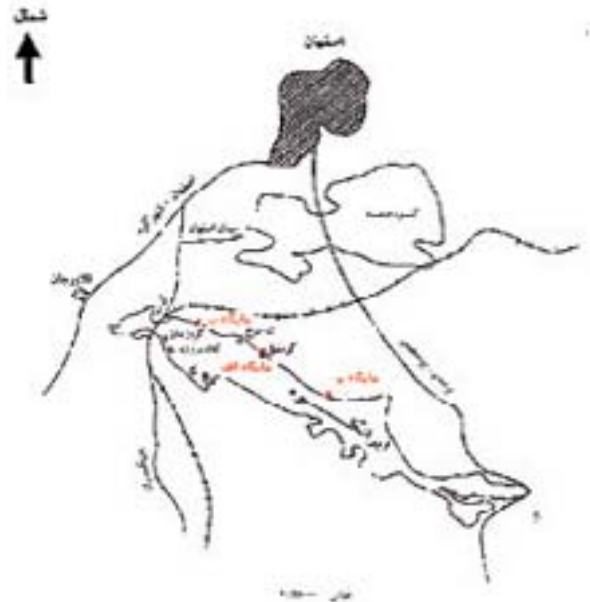
نتایج

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 در سه 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



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 در آون 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.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های گیاهان نمونه‌برداری شده از سه جایگاه نمونه‌برداری

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

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

جایگاه نمونه برداری	عمق	شوری ds/m	اسیدیته	درصد آهک	درصد مواد آلی	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)

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 در این 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 در سطح 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

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 و پ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). با توجه به دامنه غلظت نرمال سرب در خاک‌ها 10 mg/kg گزارش شده و غلظت سمی این عنصر $400-1000$ 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 ایران کوه تحت اثر نوع گیاه، جایگاه نمونه‌برداری، اندام و

جدول ۳- نتایج واریانس مقادیر کل و فراهم عنصر سرب تحت اثر جایگاه نمونه برداری، عمق و اثرات متقابل آن‌ها در خاک‌های منطقه ایران کوه

میانگین مربعات			
منبع تغییرات	درجه آزادی	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

** نشان دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال یک درصد است. * نشان دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال پنج درصد است. ns، نشان دهنده نبود تفاوت معنی دار در هر سطح آماری می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های مقادیر کل سرب و قابل جذب در عمق‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری در سه جایگاه نمونه برداری از منطقه ایران کوه بر اساس آزمون وان کن در سطح احتمال ۱ درصد

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

وجود حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود تفاوت معنی دار است.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های مقادیر کل سرب و قابل جذب خاک در جایگاه‌های نمونه برداری از منطقه ایران کوه بر اساس آزمون وان کن در سطح احتمال ۱ درصد. وجود حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود تفاوت معنی دار است.

جایگاه نمونه برداری	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 نمونه برداری شده از منطقه ایران کوه تحت اثر نوع گیاه، جایگاه نمونه برداری اندام و اثرات متقابل آنها

میانگین مربعات		
منبع تغییرات	درجه آزادی	سرب
گیاه	۱۰	۲۲۰۸/۵۵**
جایگاه نمونه برداری	۲	۱۱۶۶۸/۵۷**
اندام	۱	۲۲۱۰۴/۴۱**
گیاه در جایگاه	۲۰	۱۰۹۵/۹۳**
گیاه در اندام	۱۰	۷۴۹۷/۱۶**
خطا	۱۳۲	۴۷/۸۱

** نشان دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال یک درصد است

جدول ۷- مقایسه میانگین مقادیر سرب در گیاهان سه جایگاه نمونه برداری شده از منطقه ایران کوه بر اساس آزمون دان کن در سطح احتمال یک درصد

سرب (mg/kg)	جایگاه نمونه برداری
۱۰۱/۵ ^a	الف
۳۸/۷۸ ^b	ب
۲۱/۶۴ ^c	پ

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

جدول ۸- مقایسه میانگین های مقادیر سرب در اندام های هوایی و زیرزمینی گیاهان منطقه ایران کوه بر اساس آزمون دان کن در سطح احتمال یک درصد.

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

stellata وجود دارد (جدول ۱۲).

با توجه به این که در بحث گیاه پالایی فلزهای سنگین به طور خاص 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 در این قسمت نتایج حاصل از این فاکتور در جدول ۱۳ آورده شده است. با توجه به جدول ۱۳ گونه های گیاهی *Astragalus glaucanthus* و *Acantholimon sp.* با نسبت انتقال (Translocation factor) به ترتیب ۳/۷۰، ۳/۵۴ و ۲/۹۵ بیشترین توانایی را در جهت انتقال سرب از اندام های زیرزمینی به اندام های هوایی نشان داده اند.

بحث

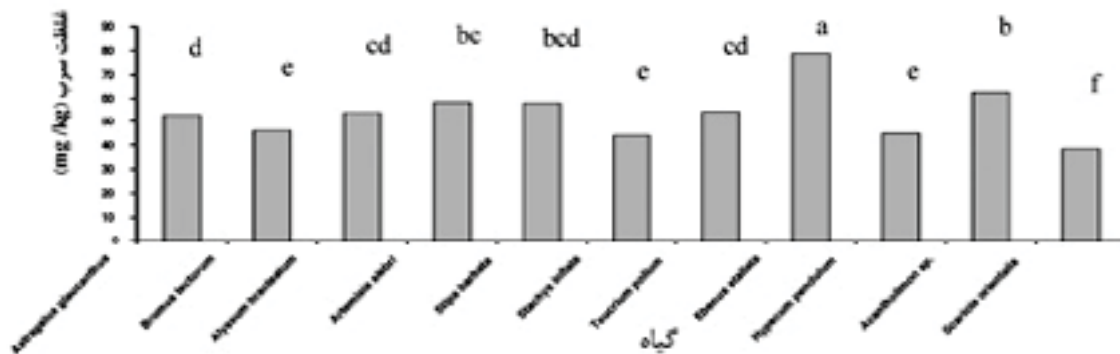
با توجه به وضعیت توپوگرافی، شرایط اقلیمی منطقه و رژیم رطوبتی (آریدیک) خاک های این منطقه جزء خاک های آریدی سول بوده و جزء سری گلشهر می باشند رده بندی خاک بر پایه رده بندی آمریکایی تا حد فامیل (۱۳) فاین لومی، میگس، ترمیک، تیپیک، هاپلوکسید می باشد (۱۶). این اراضی دارای خاک های آهکی غیرشور بوده و بافت آن ها متوسط تا سبک، دارای ماده آلی کم می باشند. دامنه غلظت نرمال سرب در خاک ها ۱۰ mg/kg گزارش شده و غلظت سمی این عنصر ۴۰۰-۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد (۱۶،۸) بنابراین می توان گفت مقادیر سرب در جایگاه های مورد بررسی در دامنه سمیت واقع شده اند. منتهی جایگاه پ (شاهد) کمترین مقدار را از نظر سرب دارد در حالی که جایگاه الف (آلوده ترین جایگاه) بیشترین غلظت سرب و دارای سمیت شدید با سرب می باشد. با توجه به مقدار کل سرب در این سه جایگاه که تأثیر در مقدار قابل جذب سرب می گذارد، جایگاه الف بیشترین و جایگاه پ کمترین غلظت سرب قابل جذب را خواهند داشت که نتایج نیز این مطلب را تأیید می کند (جدول ۵). در مباحث گیاه پالایی و به طور خاص عصاره کشی گیاهی دو فاکتور مهم یکی (Tolerance Index) دامنه تحمل پذیری گیاه و همچنین فاکتور (Translocation Factor)

زیرزمینی گیاهان مورد بررسی اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. مقایسه میانگین ها به گونه ای بود که بیشترین غلظت سرب در اندام هوایی و کمترین غلظت در اندام زیرزمینی بود (جدول ۸). از آنجائیکه عکس العمل گیاهان مختلف نسبت به مقادیر مختلف گیاهان مختلف نسبت به مقادیر مختلف آلودگی در جایگاه های نمونه برداری 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 نمونه برداری و اثرات متقابل آن ها را نشان می دهد. نتایج حاصل نشان می دهد که اثر اندام هوایی بر انباشتگی عنصر سرب در سطح آماری یک درصد معنی دار است (جدول ۹)

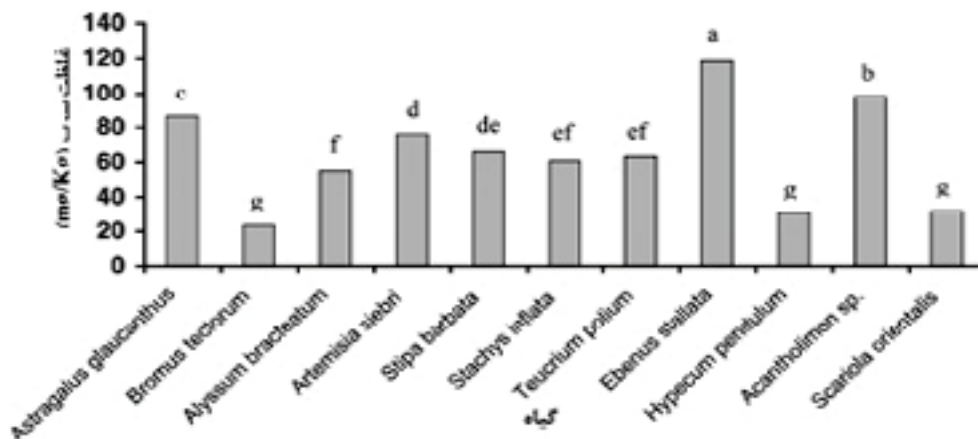
مقایسه میانگین ها برای مقادیر غلظت سرب موجود در اندام هوایی گیاهان (شکل ۳) مورد بررسی نشان داد که گونه گیاهی *Ebenus stellata* با میانگین غلظت سرب ۱۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین و گونه *Bromus tectorum* با میانگین ۲۳ میلی گرم بر کیلوگرم کمترین انباشتگی سرب را در اندام هوایی خود نشان دادند (شکل ۳).

جدول ۱۰ نتایج تجزیه واریانس اثر اندام زیرزمینی بر انباشتگی عنصر سرب را نشان می دهد و به گونه ای است که در سطح آماری یک درصد معنی دار شده است مقایسه میانگین ها 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 میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاهی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار انباشتگی سرب را در اندام هوایی نشان دادند (شکل ۴).

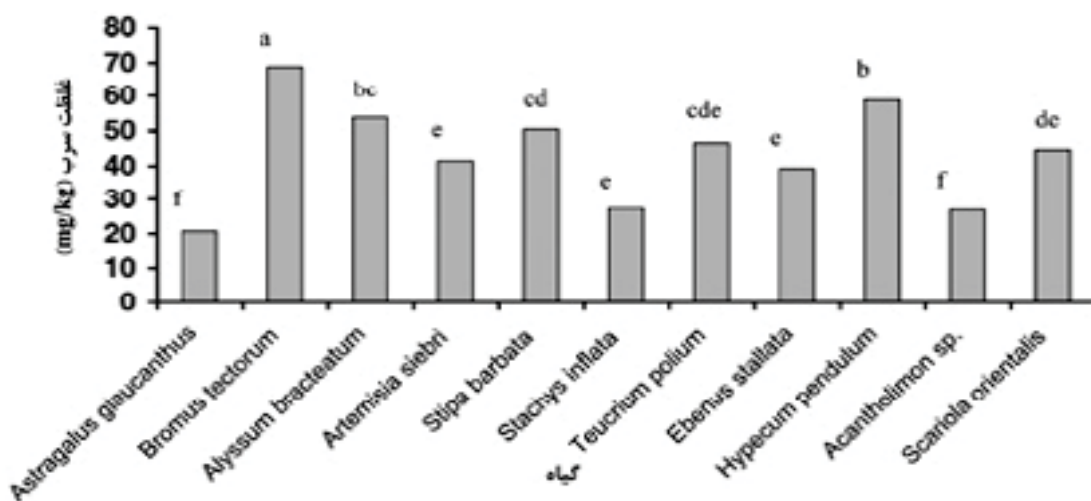
نتایج تجزیه واریانس خاک ریزوسفری گیاهان مورد بررسی در سطح آماری یک درصد معنی دار شد (جدول ۱۱) مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین فرم قابل جذب سرب در ریزوسفر گیاه *Bromus tectorum* و کمترین در گونه *Acantholimon sp.*, *Astragalus glaucanthus* و *Ebenus*



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.



شکل ۳- مقایسه میانگین‌ها برای تجمع سرب در اندام هوایی گیاهان مورد بررسی بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد



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

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 هوایی و زیرزمینی گیاهان مورد بررسی را نشان می‌دهد. مقدار عنصر سرب در اندام هوایی بیشتر از اندام‌های زیرزمینی گیاهان مورد بررسی می‌باشد و با توجه به جدول ۵ و ۴ چنین انتظاری نیز می‌رفت. از آنجایی که عکس‌العمل 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 زیست‌انباشتگی 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. شکل ۳ و ۴ 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 glaucanthis, *Acantholimon* sp.
Ebenus stellata

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

منابع تغییرات	درجات آزادی	میانگین مربعات سرب
اندام هوایی	۱۰	۷۷۹۳/۰ **
جایگاه نمونه برداری	۲	۸۱۵۶/۸ **
اندام هوایی * جایگاه نمونه برداری	۲۰	۲۷۲۹/۵ **
خطا	۶۶	۶۰/۴

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

جدول ۱۰- نتایج تجزیه واریانس مقادیر سرب در گیاهان نمونه برداری شده از منطقه ایران کوه 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 معنی‌دار بودن 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 فزهای 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

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 معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد است.

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)	
۵۳/۱۳ ^{cd}	<i>Astragalus glaucanthus</i> (گون اسبی)
۲۳/۲۲ ^a	<i>Bromus tectorum</i> (جارو علفی)
۱۶/۶۸ ^{bc}	<i>Alyssum bracteatum</i> (قدومه)
۱۵/۵۱ ^{cd}	<i>Artemisia siebri</i> (درمنه دشتی)
۱۲/۱۸ ^{de}	<i>Stipa barbata</i> (یال اسبی)
۱۵/۹۱ ^{cd}	<i>Stachys inflata</i> (گاو پونه)
۱۹/۶۶ ^{ab}	<i>Teucrium polium</i> (کلپوره)
۹/۷۶ ^e	<i>Ebenus stellata</i> (جو سیخ)
۱۷/۵۸ ^{bc}	<i>Hypecum pendulum</i> (شاه تره ای)
۱۵/۰۶ ^{cd}	<i>Acantholimon sp</i> (کلاه میرحسن)
۱۵/۲۸ ^{cd}	<i>Scariola orientalis</i> (جاز)

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 در برابر 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* *Acantholimon sp* و *Astragalus glaucanthus* 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، ۱۳۷۹؛ زیست سالم سازی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌ها (آروماتیک و جذب حلقه‌ای)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
۲. علامه، ا. ۱۳۷۶. گزارش اکتشاف معدن گوش‌سفیل. 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 hyperaccumulate heavy metal.

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
<i>Astragalus glaucanthus</i>	۳/۷۰ ^a
<i>Acantholimon sp</i>	۳/۵۴ ^a
<i>Ebenus stellata</i>	۲/۹۵ ^a
<i>Stachys inflata</i>	۲/۴۲ ^{abc}
<i>Artemisia siebri</i>	۱/۸۹ ^{bcd}
<i>Teucrium polium</i>	۱/۸۴ ^{cde}
<i>Stipa barbata</i>	۱/۲۸ ^{cde}
<i>Alyssum bracteatum</i>	۱/۱۳ ^{cde}
<i>Scariola orientalis</i>	۱/۰ ^{cde}
<i>Hypecum pendulum</i>	۰/۵۸ ^{de}
<i>Bromus tectorum</i>	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 انباشتگی سرب در اندام زیرزمینی گونه‌های *Acantholimon sp*، *Astragalus glaucanthus*، *Artemisia siebri*، *Stachys inflata*، *Ebenus stellata* (شکل ۴) و مقایسه آن با شکل ۳ ملاحظه می‌گردد که گونه‌های گیاهی که

CAB International, New York, 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: a cost-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". CRC Press Boca Raton Ann Arbor London. P. 223.

9- Klute, A., 1986. "Method of soil analysis." Part1: Physical methods. Soil Sci Soc. Amer. J. PP: 432-449.

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

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

12- Reeres, R. D., and A. J. M Baker., 1999; Metal-accumulating

plant. In phytoremediation 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; Phytoremediation". 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: evolutionary aspects". CRC Press, INC. Florida. 299 P.

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

17- Soon, U. K., and Abboud., 1978; Soil sampling 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; Soil Sci Soc. Amer. J. No. 5 PP: 475-490.

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

