

بررسی غلظت سرب در تعدادی از گونه‌های گیاهی طبیعی اطراف معدن سرب و روی ایرانکوه در اصفهان^۱

نوراله میرغفاری^۲

چکیده

فلزات سنگین از آلاینده‌های خطرناک زیست محیطی هستند که از طریق ورود به زنجیره غذایی موجب بروز خطرات بهداشتی برای انسان، گیاهان و سایر موجودات زنده می‌شوند. در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، گونه‌های خاصی از گیاهان توانایی رشد و سازگاری و جذب زیاد فلزات سنگین را دارند. استفاده از این گیاهان در پاکسازی خاک‌های آلوده در روش گیاه پالایشی (Phytoremediation) بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق، غلظت سرب در خاک و پنج گونه گیاهی شامل *Acantholimon sp.* (کلاه میرحسن)، *Noea mucronata* (خارگونی)، *Scariola orientalis* (جاز)، *Stachys inflata* (گاوپونه) و *Stipa barbata* (گیس پیرزن) در اطراف معدن سرب و روی ایرانکوه واقع در جنوب غربی اصفهان اندازه‌گیری گردید. تجزیه آماری داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی نامتعادل انجام شد. نتایج نشان داد که تفاوت غلظت سرب در اندام هوایی گونه‌های گیاهی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و در ریشه فاقد تفاوت معنی‌دار بود. در بین گونه‌های مورد بررسی، *Stachys inflata* دارای بیشترین مقدار جذب سرب در اندام هوایی با میانگین ۳۱۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک بود. غلظت سرب در اندام هوایی گیاهان با pH خاک همبستگی معکوس ($r = -0/488^{**}$) و با غلظت کل ($r = 0/726^{**}$) و قابل جذب سرب ($r = 0/412^*$) در خاک همبستگی مستقیم داشت.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، سرب، معادن، گونه‌های گیاهی.

۱- تاریخ دریافت: ۸۲/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۸۳/۷/۲۷

۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان (E-mail: mnorolah@cc.iut.ac.ir)

مقدمه

فلزات سنگین به طور طبیعی در مقادیر مختلف در محیط وجود دارند. مقدار آنها در خاک تحت تاثیر عوامل مختلفی همچون سنگ مادر، وجود منابع آلوده کننده، کاربرد کودهای آلی و شیمیایی در کشاورزی و استفاده از پساب‌های صنعتی و شهری در آبیاری متفاوت می‌باشد (۲۰). استخراج و فرآوری مواد معدنی به خصوص معادن فلزی نقش مهمی در تخریب و آلودگی محیط زیست دارند. مطالعات انجام گرفته در مورد رژیم غذایی افرادی که در اطراف معادن سرب و روی و کارخانه‌های ذوب فلزات زندگی می‌کنند نشان داده است که غلظت سرب و کادمیم در مواد غذایی که در محل تولید شده‌اند نسبت به مواد غذایی که از بیرون وارد می‌شوند بیشتر است. برای مثال، مصرف برنج کاشته شده در خاک‌های آلوده به کادمیم در اطراف معادن سرب و روی عامل اصلی بروز بیماری ایتای-ایتای (Itai - Itai) در بین کشاورزان ژاپنی بوده است (۵). برخی از فلزات سنگین نظیر مس، روی و نیکل در مقادیر کم به عنوان عناصر کم مصرف برای رشد گیاهان ضروری هستند و به وسیله ریشه از خاک جذب می‌شوند. عناصری مثل سرب و کادمیم در واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان کارکرد مشخصی ندارند، اما به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری امکان جذب آنها توسط گیاهان وجود دارد (۶ و ۱۵). بررسی پوشش گیاهی طبیعی در مناطق آلوده به فلزات سنگین و تعیین غلظت عناصر فلزی در گونه‌های گیاهی از جنبه‌های علمی و کاربردی از اهمیت زیادی برخوردار است. به طور کلی، نتایج تحقیقات انجام گرفته حاکی است که گونه‌های خاصی از گیاهان توانایی رشد و سازگاری و جذب فلزات سنگین را در این شرایط دارا بوده و معمولا تراکم و تنوع پوشش گیاهی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین کمتر از مناطق غیر آلوده اطراف است (۱۸).

جذب فلزات سنگین از خاک توسط گیاهان بستگی

به نوع و غلظت فلزات موجود در خاک، زیست فراهمی^۱

عناصر و نوع گونه گیاهی دارد (۱۱). برخی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب و انباشت مقادیر زیادی از عناصر سنگین را دارند بدون اینکه آثار سمی آشکار برای آنها ایجاد نماید. به این گونه‌ها، هیپراکیمولاتور^۲ یا ابرانباشتگر گفته می‌شود (۲۰). گیاه *Thlaspi caerulescens*، از گونه‌های گیاهی است که قدرت جذب و انباشت زیاد روی و کادمیم دارد (۱۳ و ۱۴). هم‌چنین گونه *Alyssum murale* به عنوان یک گونه ابرانباشتگر نیکل شناخته شده است (۱۴). در مواردی نیز از گیاهان ابرانباشتگر در اکتشاف معادن استفاده شده است. به عنوان مثال، از گیاه *Becium homblei* که یک گونه جاذب مس است در کشف معادن مس در زامبیا و زیمبابوه استفاده گردیده است (۱۸).

برای اینکه یک گونه گیاهی به عنوان گونه ابرانباشتگر یک عنصر شناخته شود، باید غلظت آن در اندام هوایی به آستانه تعیین شده برسد. برای سرب این آستانه غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه است (۹). بنابراین، می‌توان از ویژگی این گیاهان برای پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سمی استفاده نمود. این روش که به آن فیتوریمیديشن^۳ یا گیاه پالایشی گفته می‌شود در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این روش، فلزات سنگین موجود در خاک‌های آلوده به وسیله گیاهان جذب شده و از طریق برداشت گیاهان می‌توان نسبت به دفن و یا انجام تیمارهای دیگر اقدام نمود. گیاه پالایشی دارای مزایایی نسبت به سایر روش‌های پاکسازی خاک‌های آلوده است، که از جمله می‌توان به اقتصادی بودن و سازگاری آن با محیط زیست اشاره نمود (۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۱۴).

آلودگی خاک و گیاهان به سرب یکی از مشکلات عمده زیست محیطی است که در صورت ورود آن به زنجیره غذایی، عواقب بهداشتی جدی برای انسان و سایر موجودات در پی دارد. سرب از عناصری است که به دلیل حلالیت کم و جذب آن به وسیله مواد آلی و کانی‌های

۲- Hyperaccumulator

۳- Phytoremediation

۱- Bioavailability

عملیات اکتشاف این معدن بین سال‌های ۱۳۱۳ تا ۱۳۱۸ انجام گرفته و در حال حاضر معدن به صورت روباز استخراج می‌گردد (۲).

بر اساس مشاهدات صحرایی، پنج مکان برای نمونه‌برداری از خاک و گیاهان انتخاب گردید. نمونه‌برداری خاک از عمق ۰ تا ۲۰ سانتیمتر به طور تصادفی و به صورت مرکب با مخلوط کردن نمونه‌های برداشت شده از چند نقطه انجام گرفت. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک شدن در هوا، کوبیده و از الک دو میلیمتری عبور داده شدند. گونه‌های گیاهی برداشت شده به هرباریوم دانشکده منابع طبیعی منتقل و با استفاده از فلورا ایرانیکا (۱۷) و فلور ایران (۱) شناسایی گردیدند. سپس ریشه و اندام هوایی گیاهان از هم جدا گردیده و برای پاک کردن گل و لای و ذرات گرد و غبار با آب مقطر شسته و در آن به مدت ۴۸ ساعت در ۶۵ درجه سانتیگراد خشک گردیدند. نمونه‌های گیاهی خشک شده با استفاده از آسیاب مولینکس خرد شده و از الک یک میلیمتری عبور داده شد.

pH گل اشباع به وسیله دستگاه pH متر و قابلیت هدایت الکتریکی (ECe) عصاره اشباع شده خاک با دستگاه هدایت سنج اندازه گیری شدند. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) به روش استات آمونیوم و بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین گردید (۱۰).

برای تعیین غلظت کل سرب در خاک از اسید نیتریک چهار مولار به عنوان عصاره‌گیر استفاده گردید. مقدار قابل جذب سرب به وسیله محلول DTPA - TEA^۱ عصاره‌گیری گردید. نمونه‌های گیاه در اسید نیتریک غلیظ و آب اکسیژنه هضم شدند. غلظت سرب در عصاره‌های گرفته شده از نمونه‌های خاک و گیاه با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر ۳۰۳۰ اندازه‌گیری گردید (۱۰).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت. در این تحقیق، نقاط نمونه‌برداری به عنوان

خاک و همچنین رسوب آن به صورت فسفات و سولفات در ریشه، انباشت آن به وسیله گیاه مشکل است. تاکنون تعداد محدودی گونه‌های ابرنباشتگر سرب گزارش شده است. از جمله گونه‌هایی که به عنوان ابرنباشتگر سرب معرفی شده‌اند، می‌توان به *Alyssum wulfenianum* و *Thlaspi rotundifolium ssp. cepaeifolium* که در اطراف یک معدن سرب و روی در شمال ایتالیا برداشت شده‌اند اشاره نمود. مقدار سرب در اندام هوایی این دو گونه به ترتیب برابر ۸۲۰۰ و ۸۶۰ میلیگرم بر کیلوگرم وزن ماده خشک گزارش شده است. تحقیقات متعددی برای افزایش کارایی روش پاکسازی سرب به وسیله گیاهان مثل افزودن کلات‌ها به خاک صورت گرفته است (۹ و ۱۳).

لازم به توضیح است که به علت شرایط نامناسب خاک در مناطق آلوده، استقرار و رشد گیاهان با مشکل مواجه می‌باشد (۱۶ و ۱۸). به این دلیل، شناسایی گونه‌های مناسب گیاهی که شرایط سخت محیط را تحمل نموده و توانایی زیادی برای جذب و انباشت فلزات سنگین داشته باشند در افزایش کارایی روش گیاه پالایشی تاثیر مهمی دارد. بررسی پوشش گیاهی در مناطق معدنی و تعیین غلظت فلزات سنگین در آنها می‌تواند در شناسایی گونه‌های ابرنباشتگر مفید واقع شود. هدف اصلی این تحقیق، بررسی غلظت سرب در تعدادی از گونه‌های گیاهی طبیعی غالب در اطراف معدن سرب و روی ایرانکوه واقع در جنوب غربی اصفهان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، معدن سرب و روی ایرانکوه است. این معدن در رشته کوه ایرانکوه در بیست کیلومتری جنوب غربی اصفهان و در در محدوده طول جغرافیایی ۳۲° ۵۱' تا ۴۵° ۵۱' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷° ۳۲' تا ۲۸° ۳۲' شمالی قرار دارد. طول رشته کوه مذکور سی کیلومتر از بزرگراه ذوب آهن تا جاده شیراز با جهت شمال غربی- جنوب شرقی ادامه دارد و عرض متوسط آن سه کیلومتر می‌باشد. حداقل ارتفاع معدن از سطح دریا ۱۶۶۰ متر و بلندترین نقطه آن ۲۴۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

۱- diethylene triamine pentaacetic acid – triethanol amine

عنوان مثال، در محیط‌های اسیدی، حلالیت و زیست‌فراهمی کاتیون‌های فلزی افزایش می‌یابد. به این دلیل، کاهش زیست‌فراهمی عناصر سنگین یکی از روش‌های بهسازی خاک‌های آلوده به این عناصر است (۵ و ۱۱).

غلظت سرب در گونه‌های گیاهی

لیست گونه‌های مورد مطالعه در جدول (۳) آورده شده است. این گونه‌ها بومی ایران بوده و جزو رویش ایران و توران کوهستانی محسوب می‌گردند. در اغلب مناطق خشک و نیمه خشک ناحیه ایران و توران دشتی و کوهستانی به خوبی می‌رویند و به خشکی مقاوم هستند. از لحاظ چرای دام، فقط گونه‌های *Noea mucronata* (خارگونی)، *Scariola orientalis* (جاز) و *Stipa barbata* (گیس پیرزن) که در بهار سبز و علفی می‌باشند، مورد چرای دام (گوسفند و بز) قرار می‌گیرند ولی پس از خشبی شدن دام به آنها توجهی ندارد. گونه *Acantholimon sp.* (کلاه میرحسن) خاردار بوده و دام از آن استفاده نمی‌کند. گونه *Stachys inflata* (گاوپونه) نیز در شرایط سخت توسط بز مورد چرای قرار می‌گیرد (۷).

شاخص‌های آماری غلظت سرب در ریشه و اندام هوایی برحسب میلیگرم بر کیلوگرم وزن خشک نمونه‌های گیاهی برای پنج گونه در جدول (۴) داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار جذب سرب به ترتیب در اندام هوایی گونه *Stachys inflata* با ۵۸۲/۴ میلیگرم در کیلوگرم و گونه *Stipa barbata* با ۵۷/۸ میلیگرم در کیلوگرم مشاهده گردید. به طور کلی، غلظت سرب در اندام هوایی همه گونه‌ها در محدوده سمیت برای گیاهان قرار دارد. دامنه غلظت سمی سرب برای گیاهان ۳۰ تا ۳۰۰ میلیگرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۵).

برخی از محققین از نسبت غلظت فلز در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه برای توصیف مقاومت و عکس‌العمل گیاه به حضور مقادیر بالای فلزات در خاک استفاده کرده‌اند. این نسبت در گیاهان انباشتگر^۲ بزرگتر از ۱ و در گیاهان دافع^۳ کمتر از ۱ است (۹). براساس این تعریف و

تکرار و گونه‌ها به عنوان تیمار در نظر گرفته شد و نتایج به دست آمده بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به وسیله رویه مدل خطی عمومی^۱ (GLM) یا به صورت نامتعادل تجزیه واریانس شد (۴). در صورت معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایشی (نقاط نمونه‌برداری و گونه)، از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) برای مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید. به منظور مطالعه تاثیر پارامترهای مختلف خاک بر مقدار جذب سرب به وسیله گونه‌های گیاهی، محاسبه ضرایب همبستگی نیز انجام گرفت.

نتایج

مشخصات خاک

برخی از ویژگی‌های نمونه‌های خاک سطحی در مکان‌های نمونه‌برداری در جدول (۱) ارائه شده است. خاک منطقه مورد مطالعه از نوع قلیایی با میانگین pH برابر ۷/۸ و هدایت الکتریکی (ECe) حدود ۱/۲ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. بافت آن لومی و به طور متوسط دارای ۴۳/۵ درصد شن، ۳۹ درصد سیلت و ۱۷/۵ درصد رس است.

غلظت کل و قابل جذب سرب در نمونه‌های خاک در جدول (۲) نشان داده شده است. به دلیل معدنی بودن منطقه، دامنه تغییرات غلظت سرب در محل‌های نمونه‌برداری خاک زیاد می‌باشد. حداقل و حداکثر غلظت سرب به ترتیب ۳۵۰ و ۷۷۵۰ میلیگرم در کیلوگرم مربوط به نقاط نمونه‌برداری ۱ و ۳ می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان دهنده آلودگی منطقه به سرب است. حداکثر غلظت سرب در خاک‌های کشاورزی ۱۰۰۰ میلیگرم بر کیلوگرم است (۱۵). غلظت کل عناصر سنگین معیار کاملی برای تعیین زیست‌فراهمی عناصر نیست. زیرا تنها بخشی از غلظت کل این عناصر در خاک به وسیله گیاه قابل جذب است. مقدار زیست‌فراهمی عناصر سنگین به پارامترهای مختلفی از جمله فرم شیمیایی عنصر موجود در محلول خاک و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک نظیر ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدیته و مقدار مواد آلی بستگی دارد. به

۲- Accumulators
۳- Excluders

۱-General Linear Model

گونه‌های *Stipa barbata* و *Stachys inflata* می‌باشد. نتایج تجزیه آماری داده‌ها در جداول (۵ تا ۹) آورده شده است.

با توجه به نسبت‌های به دست آمده جدول (۴)، گونه‌های مورد مطالعه دارای توانایی انباشت سرب در اندام هوایی هستند. همان طور که در جدول (۴) دیده می‌شود بالاترین نسبت سرب در اندام هوایی به ریشه به ترتیب مربوط به

جدول ۱- برخی از مشخصات خاک سطحی در نقاط نمونه‌برداری

نقاط نمونه‌برداری	نام منطقه	pH	EC _e (dS/m)	CEC meq/100g	رس %	سیلت %	شن %	نوع بافت
۱	باغ ابریشم	۸/۰	۰/۶۱	۲۸/۲	۲۲/۵	۳۳/۳	۴۴/۲	لومی
۲	باغ ابریشم	۷/۹	۰/۸۴	۲۷/۸	۱۹/۲	۵۰/۰	۳۰/۸	لوم سیلتی
۳	معدن تپه سرخ	۷/۸	۱/۴	۲۷/۶	۲۰/۸	۳۰/۰	۴۹/۲	لومی
۴	معدن گوشفیل	۷/۷	۱/۵	۲۳/۰	۱۴/۲	۴۳/۳	۴۲/۵	لومی
۵	معدن گوشفیل	۷/۸	۱/۸	۲۰/۶	۱۰/۸	۳۸/۴	۵۰/۸	لوم شنی
میانگین		۷/۸	۱/۲	۲۵/۴	۱۷/۵	۳۹/۰	۴۳/۵	

جدول ۲- غلظت کل و قابل جذب سرب (میلیگرم در کیلوگرم) در نمونه‌های خاک

	نقاط نمونه‌برداری				
	۱	۲	۳	۴	۵
سرب کل	۳۵۰	۴۳۷/۵	۷۷۵۰	۱۷۵۰	۳۳۳۷/۵
سرب قابل جذب	۱۶/۳	۶/۲	۷۵	۱۸۰	۸۰/۵

جدول ۳- فهرست گونه‌های مورد مطالعه

جنس و گونه	خانواده		فرم رویشی	فرم زیستی
	نام خانواده	نام فارسی		
<i>Acantholimon sp.</i>	Plumbaginaceae	کلاه میرحسن‌ها	بوته‌ای	کامفیت
<i>Noea mucronata</i>	Chenopodiaceae	تیره چغندرقد	نیمه بوته‌ای	کامفیت
<i>Scariola orientalis</i>	Astraceae	تیره آفتابگردان	بوته‌ای	کامفیت
<i>Stachys inflata</i>	Lamiaceae	نعناعیان	فورب	همی کریپتوفیت
<i>Stipa barbata</i>	Poaceae	گندمیان	گراس	همی کریپتوفیت

اندام هوایی گونه‌های موجود در نقاط مختلف نمونه برداری (بلوک) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت سرب در نقاط نمونه‌برداری را می‌توان به تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله pH، غلظت کل و قابل جذب سرب در خاک ارتباط داد.

بحث و نتیجه گیری

نتایج تجزیه واریانس غلظت سرب در اندام هوایی گونه‌های گیاهی در نقاط مختلف نمونه‌برداری (جدول ۵) نشان می‌دهد که اختلاف غلظت سرب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. هم‌چنین، میانگین غلظت سرب در

جدول ۴- غلظت سرب (میلیگرم در کیلوگرم) در وزن خشک اندام هوایی و ریشه گونه‌های گیاهی

ریشه / اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	شاخص آماری	جنس و گونه
۳/۵	۴۳/۵	۱۵۴/۴	میانگین	<i>Acantholimon sp.</i>
	۱۸/۶	۳۴/۱	انحراف معیار	
	۱۶/۰	۱۲۰/۴	حداقل	
	۵۷/۱	۱۹۹/۸	حداکثر	
۳/۱	۵۸/۶	۱۸۳/۸	میانگین	<i>Noea mucronata</i>
	۲۳/۶	۱۳۶/۳	انحراف معیار	
	۳۱/۶	۷۱/۲	حداقل	
	۸۷/۶	۴۱۰/۰	حداکثر	
۲/۵	۶۸/۶	۱۶۹/۵	میانگین	<i>Scariola orientalis</i>
	۳۳/۵	۱۲۶/۶	انحراف معیار	
	۳۴/۴	۶۴/۶	حداقل	
	۱۱۳/۶	۳۱۱/۶	حداکثر	
۵/۶	۵۵/۳	۳۱۱/۸	میانگین	<i>Stachys inflata</i>
	۲۰/۶	۲۲۰/۵	انحراف معیار	
	۳۵/۲	۸۱/۶	حداقل	
	۷۵/۸	۵۸۲/۴	حداکثر	
۲/۰	۶۶/۰	۱۳۲/۰	میانگین	<i>Stipa barbata</i>
	۲۵/۴	۱۰۶/۳	انحراف معیار	
	۴۴/۸	۵۷/۸	حداقل	
	۹۴/۲	۲۴۷/۶	حداکثر	

جدول ۵- تجزیه واریانس غلظت سرب در اندام هوایی گونه‌های گیاهی در نقاط مختلف نمونه‌برداری

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
نقاط نمونه‌برداری	۴	۲۵۱۱۱۹/۳	۶۲۷۷۹/۸	۱۳/۶۶**
گونه	۴	۷۰۸۲۴/۱	۱۷۷۰۶/۰	۳/۸۵*
خطا	۱۳	۵۹۷۵۷/۶	۴۵۹۶/۷	

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۶- تجزیه واریانس غلظت سرب در ریشه گونه‌های گیاهی در نقاط مختلف نمونه‌برداری

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
نقاط نمونه‌برداری	۴	۵۵۲۰/۴	۱۳۸۲/۶	۳/۴۶*
گونه	۴	۱۳۳۲/۷	۳۳۳/۲	۰/۸۳
خطا	۱۲	۴۷۹۲/۹	۳۹۹/۴	

* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۷- مقایسه گروهی میانگین غلظت سرب (میلیگرم در کیلوگرم) در اندام هوایی و ریشه گونه‌های گیاهی

ریشه	اندام هوایی	گونه
۴۳/۵ ^a	۱۵۴/۴ ^a	<i>Acantholimon sp.</i>
۵۸/۶ ^a	۱۸۳/۸ ^a	<i>Noea mucronata</i>
۶۸/۶ ^a	۱۶۹/۵ ^a	<i>Scariola orientalis</i>
۵۵/۳ ^a	۳۱۱/۸ ^b	<i>Stachys inflata</i>
۶۶/۰ ^a	۱۳۲/۰ ^a	<i>Stipa barbata</i>

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

باشد. خوش گفتارمنش و همکاران (۳) گزارش کردند که شوری ناشی از کلرید سدیم باعث افزایش غلظت کادمیم در اندام هوایی گندم گردید. نتایج مطالعه حاضر نیز با توجه به همبستگی منفی بین pH خاک و مقدار سرب قابل جذب ($r = -0/907$) و همچنین همبستگی مثبت بین شوری خاک و مقدار سرب قابل جذب ($r = 0/645$)، با نتایج این محققین مطابقت دارد.

در رابطه با غلظت سرب در ریشه گونه‌های گیاهی، نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که بین گونه‌های گیاهی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۶). در حالی که بین نقاط نمونه‌برداری، تفاوت غلظت سرب در ریشه گونه‌های گیاهی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. همچنین، همبستگی غلظت سرب در ریشه گیاهان فقط با غلظت سرب قابل جذب خاک (جدول ۹) معنی‌دار گردیده است ($r = 0/410$). به نظر می‌رسد به علت بالا بودن غلظت کل سرب در خاک، ریشه گیاهان به اندازه کافی سرب را جذب نموده و متناسب با توانایی گیاه به اندام هوایی نیز انتقال داده است.

بر اساس مقایسه گروهی میانگین غلظت سرب در اندام هوایی گونه‌های گیاهی (جدول ۷)، بیشترین مقدار جذب سرب متعلق به گونه *Stachys inflata* با میانگین $311/8$ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک بوده و تفاوت آن با سایر گونه‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. احتمالاً فرم رویشی و پهن‌تر بودن برگ‌های این گونه نسبت به چهار گونه دیگر می‌تواند در جذب بیشتر سرب تأثیر داشته باشد. به خاطر ماهیت صحرایی کار و فقدان شرایط یکنواخت محیطی، این موضوع نیاز به تحقیق بیشتری در شرایط کنترل شده دارد. بالاترین میانگین گروهی مقدار سرب در اندام هوایی گونه‌های برداشت شده در محل نمونه‌برداری شماره سه دیده می‌شود (جدول ۸).

یافته‌های این پژوهش نشان داد که غلظت سرب در نمونه‌های خاک و گیاه در منطقه مورد مطالعه از حدود مجاز آنها بالاتر بوده و نشانگر آلودگی شدید آنها به سرب می‌باشد. هر چند، مقدار سرب در هیچکدام از گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در شرایط صحرایی به محدوده تعیین

همان طور که در جدول (۹) دیده می‌شود، غلظت سرب در اندام هوایی گیاهان با pH خاک همبستگی منفی ($r = -0/488$) و در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. در حالیکه این همبستگی با غلظت کل ($r = 0/726$) و قابل جذب ($r = 0/412$) سرب مثبت و به ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار می‌باشد. استینبورن و برین (۱۹) میانگین مقدار سرب در اندام هوایی سه گونه گیاهی در اطراف یک معدن سرب در ایرلند شامل *T. scorodonia*، *P. vulgaris* و *S. pratensis* را به ترتیب ۸۰۰، ۲۱۱ و ۳۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش کرده و مشاهده کردند که غلظت سرب فقط در گونه *P. vulgaris* با غلظت سرب در خاک دارای همبستگی مثبت معنی‌دار است. همچنین، بین غلظت سرب در خاک با pH خاک همبستگی منفی وجود داشت. پیچتل و کارول^۱ در یک مطالعه گلخانه‌ای، گونه‌های مختلف علفی را بر روی پسماندهای معدنی و صنعتی حاوی فلزات سنگین از جمله سرب کشت داده و رابطه خطی بین غلظت فلزات سنگین در گیاهان با غلظت آنها در پسماندها مشاهده نکردند. آنها، پیچیدگی و ناهمگونی ترکیب پسماندها را از جمله دلایل این نتایج برشمردند (۱۶).

pH خاک نقش تعیین‌کننده‌ای بر رفتار و دسترسی گیاهان به فلزات سنگین دارد. قابلیت دسترسی فلزات سنگین رابطه معکوس با pH خاک دارد. با افزایش pH خاک، رسوب عناصر فلزی به صورت هیدروکسیدها و کربنات‌های نامحلول و کمپلکس‌های آلی افزایش می‌یابد. بنابراین، قابلیت دسترسی فلزات سنگین موجود در خاک برای گیاهان کمتر می‌شود (۸). واثقی و همکاران با افزودن لجن فاضلاب به خاک‌های دارای pH متفاوت دریافتند که در خاک‌های اسیدی مقدار قابل استخراج عناصر سنگین و جذب آنها به وسیله ذرت بیشتر از خاک‌های قلیایی بود (۸).

علاوه بر pH، شوری خاک نیز می‌تواند در افزایش حلالیت فلزات و جذب آنها به وسیله گیاهان تأثیر داشته

استفاده از گیاهان در کاهش آلودگی مناطق معدنی که عمدتاً در نواحی بیابانی و دور افتاده قرار دارند، موجب احیای اراضی تخریب شده و افزایش پوشش گیاهی و جنگلی نیز خواهد شد. به دلیل تنوع زیاد گونه‌های گیاهی در کشورمان، شناسایی و انتخاب گونه‌های مناسب برای کاشت آنها در مناطق آلوده از اهمیت زیادی برخوردار است.

شده برای گیاهان ابرنباشتگر نمی‌رسد، اما غلظت نسبتاً بالای سرب در گیاهان نشان دهنده توانایی آنها برای جذب و انباشت عناصر سنگین است. با توجه به پتانسیل بالای ذخایر معدنی در کشور و افزایش بهره برداری از آنها و گسترش صنایع ذوب فلزات، کنترل آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آنها ضروری می‌باشد. در این میان،

جدول ۸- مقایسه گروهی میانگین غلظت سرب (میلیگرم در کیلوگرم) در گونه‌های گیاهی در نقاط مختلف نمونه برداری

نقاط نمونه برداری	اندام هوایی	ریشه
۱	۹۳/۳ ^a	۳۱/۹ ^a
۲	۸۴/۹ ^a	۴۶/۹ ^a
۳	۳۸۶/۰ ^b	۷۲/۵ ^a
۴	۲۴۰/۵ ^b	۷۸/۵ ^a
۵	۱۴۰/۰ ^a	۶۲/۱ ^a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین غلظت سرب در گیاه با پارامترهای مختلف خاک

pH	EC	CEC	سرب کل در خاک	سرب قابل جذب	سرب در اندام هوایی	سرب در ریشه	
۱	-۰/۸۰۷ ^{**}	۰/۶۱۵ ^{**}	-۰/۳۶۷	-۰/۹۰۷ ^{**}	-۰/۴۸۸ [*]	-۰/۳۴۸	pH
	۱	-۰/۸۴۱ ^{**}	۰/۴۸۹ ^{**}	۰/۶۴۵ ^{**}	۰/۳۳۴	۰/۱۵۲	EC
		۱	۰/۰۳۷	-۰/۵۸۳ ^{**}	۰/۰۹۳	-۰/۱۵۱	CEC
			۱	۰/۱۵۸	۰/۷۲۶ ^{**}	-۰/۰۳۱	سرب کل در خاک
				۱	۰/۴۱۲ [*]	۰/۴۱۰ ^{**}	سرب قابل جذب
					۱	-۰/۰۰۵	سرب در اندام هوایی
						۱	سرب در ریشه

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

دکتر سعیدی و دکتر شریعتمداری تشکر می‌شود. از آقای مهندس خسروی کارشناس محترم گروه محیط زیست و خانم‌ها عبادتی و چمنی دانشجویان سابق رشته محیط زیست که در اجرای طرح مشارکت داشته اند سپاسگزاری می‌نماید.

تقدیر و تشکر

هزینه انجام این طرح از اعتبارات پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان تامین گردیده که به این وسیله تشکر می‌شود. از جناب آقای دکتر خواجه‌الدین که در شناسایی گونه‌های گیاهی کمک زیادی نمودند و همچنین از هم‌فکری آقایان

منابع

- ۱- اسدی، مصطفی، علی اصغر معصومی، محبوبه خاتم‌ساز و ولی‌اله مظفریان (ویراستاران)، ۱۳۷۹-۱۳۶۷. فلور ایران، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- ۲- بی‌نام، ۱۳۶۱، گزارش شرکت باما- معادن ایرانکوه.
- ۳- خوش‌گفتارمنش، امیرحسین، حسین شریعتمداری و نجفعلی کریمیان، ۱۳۸۲. اثرهای شوری آب آبیاری و کاربرد روی بر حلالیت کادمیم خاک و غلظت آن در گندم، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۷ (۴): ص ۵۳-۶۰.
- ۴- سلطانی، افشین، ۱۳۷۷. کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، شماره ۱۸۸، چاپ سوم، مشهد، ص ۱۶۶.
- ۵- عرفان منش و مجید افیونی، ۱۳۷۹. آلودگی محیط زیست (آب، خاک و هوا)، انتشارات ارکان، اصفهان، ص ۳۳۰.
- ۶- کسرای، رحیم، ۱۳۶۴. چکیده‌ای در باره علم تغذیه گیاهی، انتشارات دانشگاه تبریز، شماره ۲۷۱، تبریز، ص ۳۷۰.
- ۷- مقدم، محمدرضا، ۱۳۷۷. مرتع و مرتع‌داری، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۳۷۰، تهران، ص ۴۷۰.
- ۸- واثقی، سکینه، مجید افیونی، حسین شریعتمداری و مصطفی مبلی، ۱۳۸۲. اثر لجن فاضلاب و pH خاک بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷ (۳): ص ۹۵-۱۰۶.
- 9- Alan, J. M., M. Baker, S. P. McGrath, R. D. Reeves, & J. A. C. Smith, 2000. Metal Hyperaccumulator Plants: A review of the Ecology and Physiology of a Biological Resource for Phytoremediation of Metal-Polluted soils, in Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Terry, N. & Banuelos, G. Ed., CRC Press LLC, 85-107.
- 10- Baruah, T. C. & H. P. Barthakur, 1998. A Textbook of Soil Analysis. Vikas Publishing House Pvt Ltd, 334 p.
- 11- Berrow, M. L. & J. C. Burridge, 1991. Uptake, Distribution, and Effects of Metal Compounds on Plants, in Metals and their Compounds in the Environment, Merrian, E. Ed., VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 399-410.
- 12- Cooper, E. M., J. T. Sims, S. D. Cunningham, J. W. Huang, & W. R. Berti, 1999. Chelate-Assisted Phytoextraction of Lead from Contaminated soils. J. Environ. Qual. 28: 1709-1719.
- 13- McGrath S. P. 1998. Phytoextraction for Soil Remediation, in Plant that Hyper- accumulate Heavy Metals. Brooks, R.R., Ed., CAB International, Wallingford, 261-287.
- 14- McGrath, S.P., S.J. Dunham, & R. L. Correll, 2000. Potential for Phytoextraction of Zinc and Cadmium from soils Using Hyperaccumulator Plants, in Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Terry, N. & Banuelos, G. Ed., CRC Press LLC, 109-128.
- 15- Pais, I. & J.B. Jones, 1997. The Handbook of Trace Elements, St. Lucie Press, Boca Raton, Florida, 223 p.
- 16- Pichtel, J. & , A. S. Carol, 1998. Vegetative Growth and Trace Metal Accumulation on Metalliferous Wastes, J. Environ. Qual. 27: pp. 618-624.
- 17- Rechinger, K.H., 1998. Flora Iranica, no. 1-173, Akademische bruck, Verlagsanstalt.
- 18- Schultz, C. L. & T. C. Hutchinson, 1991. Metal Tolerance in Higher Plants, in Metals and their Compounds in the Environment. Merrian, E. Ed., VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 411-418.
- 19- Steinbörm, M. & J. Breen, 1999. Heavy metals in soil and vegetation at Shallee mine, Silvermines, Co. Tipperary. Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy, 99B (1): 37-42.
- 20- Yaron, B., R. Calvet, & R. Prost, 1996. Soil Pollution: Processes and Dynamics. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 312 p.

Lead Concentration in Some Natural Plant Species Around Irankouh Lead and Zinc Mine in Isfahan

N. Mirghaffari¹

Abstract

Heavy metals are considered as dangerous environmental pollutants that by entering the food chain, pose serious health threats to humans, plants, as well as other animals. Especial plant species can grow on heavy metals contaminated soils and uptake a large amount of these metals. Use of these plants as a method of remediation of polluted soils, known as phytoremediation, has attracted a great deal of attention. In this research work concentration of lead in the soil, as well as in five plant species, namely *Acantholimon sp.*, *Noea mucronata*, *Scariola orientalis*, *Stachys inflata* and *Stipa barbata*, around Irankouh lead and zinc mine in southwest of Isfahan, was analyzed. The statistical analysis of data was done in a randomized incomplete block design. The results indicated that the difference between the concentration of lead in the shoots of plant species was significantly different ($p < 0.05$) while in the roots it was not significantly different ($p > 0.05$). Among the studied plant species, *Stachys inflata* exhibited a maximum accumulation of lead (mean concentration of 311.8 mg/kg) in its shoots. The concentration of lead in the shoots of plants was shown to negatively correlated with soil pH ($r = -0.488^{**}$) while being in positive correlation with total ($r = 0.726^{**}$) available lead concentration ($r = 0.412^*$) in soil.

Key words: Soil pollution, Heavy metals, Lead, Mine, Plant species.

¹ - Assis. Prof. Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology (E-mail: mnorolah@cc.iut.ac.ir)