Archive of SID

فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد ۲۱، شماره ۲، صفحه ۳۲۸-۳۱۷ (۱۳۹۳)

مطالعه پتانسیل گیاهان مرتعی و خودرو منطقه ایرانکوه در پاکسازی خاک‌های آلوده به عنصر کادمیم

فرزاد پارسادوست[1]* و بابک بحرینی نژاد[2]

۱*- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران، پست‌الکترونیک: f_dastjerdi@yahoo.com
۲- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۱۵

چکیده

خاک‌های آلوده به عناصر سنگین یکی از بزرگ‌ترین معضلات دنیای امروز می‌باشد که پاکسازی این‌گونه خاک‌ها به‌ویژه در مناطق مسکونی و کشاورزی مستلزم بهره‌گیری از پیشرفته‌ترین متدهای بیولوژیکی است تا بتوان بدون کمترین خسارت به محیط خاک را پالایش نمود. یکی از جدیدترین فناوری‌های نوین، گیاه پالایی (Phytoremediation) یا استفاده از گیاهان در پاکسازی خاک‌های آلوده می‌باشد که امکان کاربرد آن در سطح وسیع و با کمترین خسارت به محیط وجود دارد. کادمیم ازجمله عناصری است که در غلظت‌های بالا به‌عنوان یک عنصر آلاینده محیط‌زیست معرفی شده و می‌تواند اثرات مخربی بر انسان‌ها و جانوران داشته باشد. بدین منظور مطالعه‌ای در منطقه ایرانکوه با یازده گونه گیاهی و در سه جایگاه با سه درجه آلودگی انجام گردید. در این تحقیق فرم کل و عصاره‌گیری‌شده با DTPA عنصر کادمیم همرا با تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک هر سه جایگاه اندازه‌گیری شد. زیست انباشتگی عنصر کادمیم در اندام‌های هوایی و زیرزمینی و همچنین فاکتور انتقال عنصر کادمیم که در بحث گیاه‌پالایی و به‌طور خاص عصاره‌کشی گیاهی مهم می‌باشد مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در نهایت نتایج نشان داد که گونه‌های گیاهی *Acantholimon sp*، *Ebenus stallata* و *Astragalus glacuanthus* به‌ترتیب بیشترین غلظت کادمیم در اندام هوایی (۱/۹۷-۱/۵۳-۱/۴۰) و بیشترین ضریب انتقال کادمیم از اندام زیرزمینی به اندام هوایی (به ترتیب ۱۲/۶-۱/۳۷-۲/۰۹) را دارا بودند. این سه گونه به‌دلیل بالا بودن میزان زیتوده و زیست انباشتگی در اندام هوایی جهت پالایش خاک‌های آلوده به عنصر کادمیم در این منطقه و مناطق مشابه می‌توانند توصیه شوند.

واژه‌های کلیدی: عناصر سنگین، گیاهان مرتعی، گیاهان فرا انباشت‌کننده.

مقدمه

تمرکز فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شهرنشینی در شهرها و گاهی وجود مواد مادری حاوی عناصر سمی باعث آلودگی و انباشتگی فلزهای سنگین در خاک می‌شود (حاتمیان زراعی، ۱۳۷۹). آلودگی گیاهان با عناصری نظیر سرب، روی، مس، نیکل و کادمیم به دلیل فعالیت‌های معدن‌کاوی باعث نابودی گیاهان حساس و باقی‌ماندن گیاهان مقاوم و در نتیجه ایجاد رویشگاه‌های خاص می‌شود که ویژه این مناطق است (Schooner,1997). روش‌های مختلفی برای پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزهای سمی در خاک‌ها وجود دارد که عمدتاً هزینه‌بر بوده و همچنین در سطوح وسیع قابل بهره‌گیری نمی‌باشد (Brooks,1998; Lasat,2000; Reere & Baker, 1999). یکی از روش‌های مناسب برای حل این مشکل، گیاه پالایی

www.SID.ir

Archive of SID

(Phytromediation) و به‌طور خاص عصاره‌کشی گیاهی (Phytroexteraction) است. گیاهانی که غلظت‌های بالایی از عناصر را در اندام هوایی خود انباشته می‌کنند به‌عنوان گیاهان فرا انباشت کننده (Hyperaccumalator) نامیده می‌شوند (Brooks, 1998). گونه‌های گیاهی فرا انباشت‌کننده باید زیتوده بالایی داشته، سریع رشد کنند و توانایی بالایی در جذب و ذخیره‌سازی عناصر سنگین داشته باشند. گیاهان فرا انباشت‌کننده به‌عنوان استخراج‌کننده عناصر کمیاب و با ارزش از خاک با نام فیتوماین (Phyto-mine) بهره‌گیری می‌شود. گونه‌های فرا انباشت‌کننده گونه‌های هستند که توانایی انباشتگی عناصر کمیاب را تا ۱۰۰ مرتبه بیشتر از گونه‌های غیر فرا انباشت‌کننده داشته باشند (Brooks, 1998; Blaster *et al*., 2000). این گیاهان باید توانایی انتقال عناصر را از ریشه به ساقه به مقدار زیاد داشته باشند. به‌طور معمول غلظت طبیعی عناصر سمی در ریشه ۱۰ برابر یا بیشتر از غلظت‌شان در ساقه است. اما در گیاهان فرا انباشت‌کننده، غلظت عناصر در ساقه می‌تواند بیشتر از ریشه باشد. البته باید میزان جذب در سطوح مختلف عناصر موجود در محلول خاک در این گیاهان سریع باشد (Mattino *et al*., 2003; Lasat, 2000). کادمیم یکی از عناصر سمی برای گیاهان است، زیرا می‌تواند جذب و وظایف متابولیسمی روی (Zn) را تقلید کند ولی برخلاف روی این عنصر برای گیاهان و حیوانات سمی است. علت سمی بودن این عنصر احتمالاً میل شدید آن به گروه‌های تیول (SH) در آنزیم‌ها و دیگر پروتئین‌هاست. حضور کادمیم فعالیت‌های آنزیمی را مختل و صدمات شدیدی به کلیه‌ها و طحال وارد می‌کند (Blaster *et al*., 2000).

کادمیم یکی از عناصر زهری برای گیاهان است. تاکنون گروه اندکی از گیاهان شناخته شده‌اند که می‌توانند کادمیم را با غلظتی بیش از ۰/۰۱ درصد وزن خشک خود (۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) انباشته کنند، برخی از گونه‌های گیاهی مانند تلاسپی سرولوسنس (*Thlaspi caerulescens*) می‌توانند تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم عنصر کادمیم را در خود انباشته کنند (Blaster *et al*., 2000; Brooks, 1993; Lasat, 2000). گزارش شده که گیاه علف شور (*Salsola kali*) توانسته است در شرایط ویژه آزمایشگاهی تا حدود ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم در اندام‌های مختلف خود جذب کند (Schnoor,1997) کادمیم یکی از عناصر آلاینده خاک است که با غلظتی بیشتر از ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک می‌تواند خطرناک باشد. فراوانی این عنصر در برخی از خاک‌های آلوده به ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم هم می‌رسد (Hutzinger,1980; Kabata -pendias & Pendias, 1994). پالایش خاک‌های آلوده به کادمیم به‌ویژه به روش‌های زیست‌محیطی از اهمیت بالایی برخودار است. در روش گیاه‌پالایی و به‌طور خاص عصاره‌کشی گیاهی (Phytroexteraction) دو فاکتور بسیار مهم باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد؛ ۱- دامنه تحمیل‌پذیری گیاه نسبت به عنصر (*Tolerance Index*) ۲- فاکتور انتقال (*Translocation factor*). انتقال عنصر از اندام زیرزمینی به اندام هوایی که برای شناسایی گونه‌های گیاهی فرا انباشت‌کننده و در نهایت پاکسازی خاک‌های آلوده به عنصر کادمیم مورد استفاده قرار گیرد (جمله‌بندی ناقص و نامفهوم است) (Mattino *et al*., 2003). این تحقیق در زمین‌های پیرامون معدن سرب و روی (جنوب‌غربی اصفهان) انجام شد (علامه، ۱۳۷۶). به‌دلیل فعالیت‌های معدن‌کاوی و استخراج (به‌صورت روباز)، محلی مناسب برای شناسایی گونه‌های گیاهی فرا انباشت‌کننده عنصر کادمیم می‌باشد. هدف از این تحقیق ارزیابی گیاهان مرتعی و بومی منطقه ایرانکوه نسبت به تجمع عنصر کادمیم و یا به‌عبارتی شناسایی و معرفی گونه‌های گیاهی فرا انباشت‌کننده قوی عنصر کادمیم می‌باشد که برای پالایش و پاکسازی خاک‌های آلوده به این عنصر می‌تواند توصیه گردد.

مواد و روش‌ها

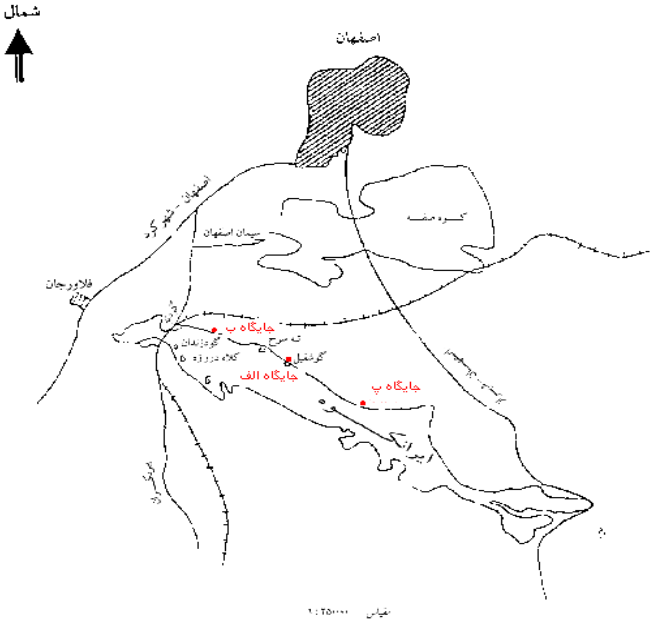
این تحقیق در محدوده معادن ایرانکوه در رشته‌کوهی به همین نام در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب‌غربی اصفهان بین

www.SID.ir

Archive of SID

طول جغرافیایی ´۳۱ °۵۲ تا ´۴۵ °۵۱ و عرض جغرافیایی ´۲۸ °۳۲ تا ´۳۷ °۳۲ انجام شد. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۶۷۰ متر و میزان متوسط بارندگی آن در سال ۱۳۰ میلی‌متر است. ماده معدنی در کانی‌ها و سنگ‌های معدن بیشتر کربنات روی، سرب و کانی‌های هیدرومورفیت و هیدروزونیت می‌باشد. فعالیت‌های معدن‌کاوی و استخراج به‌صورت روباز در این منطقه باعث شده که رویشگاه‌های گیاهی خاصی در این منطقه بوجود آید که در مباحث گیاه‌پالایی فلزهای سنگین می‌تواند مفید واقع شود.

در دو جایگاه دیگر نیز به همین صورت نمونه‌برداری انجام شد. سپس در هر جایگاه یازده گونه گیاهی از هفت خانواده (جدول۱) که مشترک بین سه جایگاه بودند، در سه تکرار نمونه‌برداری گردید. سه جایگاه با درجات آلودگی‌های متفاوت (زیاد، متوسط، کم) با توجه به عکس‌های ماهواره‌ای در این منطقه انتخاب شد (شکل ۱). در انتخاب جایگاه‌های نمونه‌برداری سعی بر آن شد که جایگاها از جهت سری‌خاک، ارتفاع و جهت شیب یکسان انتخاب گردند. ابتدا در هر جایگاه سه پروفیل به فاصله ۲۵ متر از یکدیگر زده شد و از دو عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری (منطقه فعال ریشه) نمونه‌برداری انجام شد.



شکل۱- موقعیت مناطق نمونه‌برداری در معدن سرب و روی (شرکت باما)

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

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه گیاهی پس از انتقال به آزمایشگاه با اسید کلریدریک ۰/۰۱ نرمال و آب مقطر شستشو داده شد و بعد اندام هوایی و زیرزمینی آنها جدا شده و در آون در ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرارداده شد. بعد از خشک‌شدن، نمونه‌ها آسیاب شده و برای اندازه‌گیری عنصر کادمیم مهیا گردید. در هنگام نمونه‌برداری از گیاهان خاک ریزوسفری (خاک پیرامون ریشه) هر گیاه نیز برداشت گردید تا برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شود. نمونه خاک‌های پروفیل‌ها و خاک ریزوسفری پس از هوا خشک‌شدن، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و آزمایش‌های بافت خاک، میزان اسیدیته خاک، هدایت الکتریکی، کربن آلی، پتاسیم، فسفر، نیتروژن کل و فرم کل عصاره‌گیری شده با DTPA، عنصر کادمیم در نمونه‌ها با توجه به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید (Carter,1993; Lasat,2000). نمونه‌های گیاهی خشک‌شده آسیاب گردید و عنصر کادمیم در اندام هوایی و زیرزمینی به‌صورت جداگانه به روش اکسیداسیون تر، توسط اسید نیتریک، اسید کلریدریک و آب اکسیژنه هضم و در نهایت توسط دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۲۰۰ اندازه‌گیری گردید (Westerma, 1990). محاسبات آماری اطلاعات بدست آمده از مراحل مختلف پژوهش به روش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی متعادل، با نرم‌افزار کامپیوتری SAS انجام شد. رسم نمودارهای مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام گردید.

نتایج

جدول ۲ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک جایگاه‌های نمونه‌برداری‌شده را نشان می‌دهد. میزان اسیدیته 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 غیر شور می‌باشند. بافت این خاک‌ها متوسط و به‌دلیل کمی مواد آلی، ذرات رس در آنها نقش ویژه‌ای دارند (جدول۲).

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

جایگاه نمونه برداری	عمق	EC	pH	%T.N.V	% OC	% Clay	% Silt	% Sand	Texture
الف	۲۰-۰	۰/۴۳	۷/۷۶	۴۵/۸۳	۰/۵۰	۲۱/۴۰	۴۲/۱۳	۳۶/۴۷	L
	۴۰-۲۰	۰/۳۸	۷/۹۶	۵۱/۱۶	۰/۰۵	۲۴/۰۴	۴۵/۴۰	۳۰/۵۶	L
ب	۲۰-۰	۰/۴۴	۷/۵۶	۵۱/۰۰	۰/۱۶	۱۹/۶۰	۳۳/۵۳	۴۶/۸۷	L
	۴۰-۲۰	۰/۳۸	۷/۸۳	۶۴/۶۰	۰/۱۲	۱۴/۲۶	۲۷/۵۳	۵۸/۲۱	SL
پ	۲۰-۰	۰/۵۰	۷/۶۶	۴۰/۵۰	۰/۰۸	۲۱/۸۶	۳۴/۰۶	۴۴/۰۸	L
	۴۰-۲۰	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)

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس مقادیر کادمیم کل و عصاره‌گیری شده با DTPA در خاک‌های نمونه‌برداری‌شده را نشان می‌دهد.

مقایسه میانگین‌های مقادیر کل و عصاره‌گیری شده با

www.SID.ir

Archive of SID

DTPA کادمیم در جدول ۴ در عمق‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک در سه جایگاه نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. مقادیر کل کادمیم در خاک‌های نمونه‌برداری‌شده در دو عمق مورد نظر اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. به بیان دیگر در دو عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری در جایگاه‌های نمونه‌برداری از نظر غلظت کل کادمیم وجود دارد.

بین مقادیر قابل عصاره‌گیری شده با DTPA کادمیم در دو عمق مورد نظر در سه جایگاه تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌گونه‌ای که مقادیر کادمیم عصاره‌گیری‌شده با DTPA در عمق ۲۰-۰ بیشتر از ۴۰-۲۰ سانتی‌متر بود (جدول ۴).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مقادیر کل و عصاره‌گیری‌شده با DTPA عنصر کادمیم تحت تأثیر جایگاه نمونه‌برداری، عمق و اثرات متقابل آنها در خاک‌های منطقه ایرانکوه

		میانگین مربعات	
منبع تغییرات	درجه آزادی	کادمیم کل	کادمیم عصاره‌گیری‌شده با DTPA
جایگاه ه نمونه‌برداری	۲	۰/۹۴۰ ns	۰/۰۰۱* *
عمق	۱	۲/۳۴۷ *	۰/۰۰۱۹ *
جایگاه * عمق	۲	۰/۴۵۵ ns	۰/۰۰۰۳ ns
خطا	۱۲	۰/۴۳۲	۰/۰۰۰۱

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

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های مقادیر کل کادمیم و عصاره‌گیری‌شده با DTPA خاک در دو عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری جایگاه‌های نمونه‌برداری از منطقه ایرانکوه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک‌درصد (وجود حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار است).

عمق	کادمیم کل (mg/kg)	کادمیم عصاره‌گیری‌شده با DTPA (mg/kg)
۲۰-۰	۳/۹۶ A	۰/۰۶A
۴۰-۲۰	۳/۲۴B	۰/۰۴B

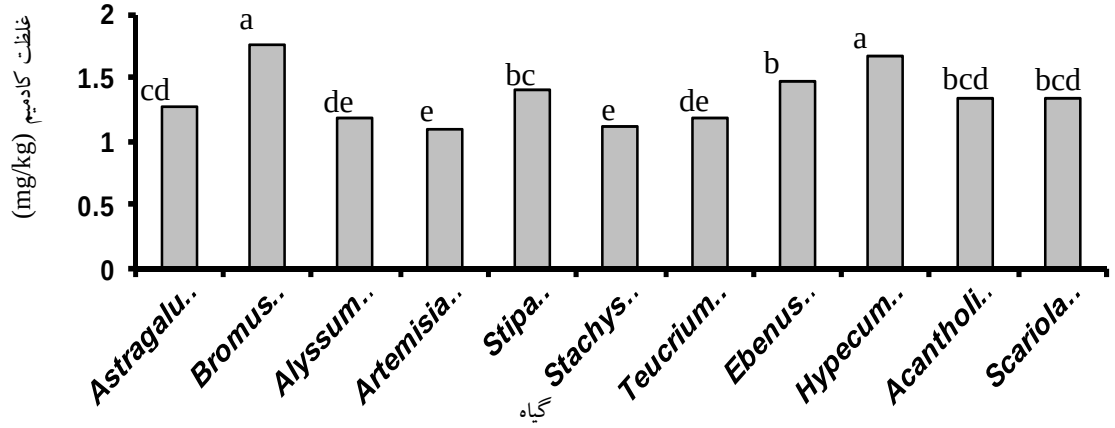
وجود حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار است.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از غلظت کادمیم کل و عصاره‌گیری‌شده با DTPA تحت تأثیر جایگاه نمونه‌برداری نشان داد که بین مقادیر کل کادمیم در بین سه جایگاه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی بین مقادیر عصاره‌گیری‌شده با DTPA کادمیم در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های مقادیر کل و عصاره‌گیری‌شده با DTPA کادمیم در سه جایگاه نمونه‌برداری نشان می‌دهد (جدول ۵) بین مقادیر کل در سه جایگاه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی بین مقادیر عصاره‌گیری‌شده با DTPA کادمیم در جایگاه الف و ب به میزان چشم‌گیری بیشتر از جایگاه‌های پ بود ولی میان جایگاه‌های الف و ب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). با توجه به دامنه غلظت نرمال کادمیم در خاک‌ها mg/Kg ۷-۰/۰۱ گزارش شده و غلظت سمی این عنصر ۸-۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، بنابراین می‌توان گفت مقادیر کادمیم در جایگاه‌های مورد بررسی در دامنه سمیت واقع شده است (Sheila, 1996; Kabata-Pendias & Pendias,1994).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶ نتایج تجزیه واریانس مقادیر کادمیم در گیاهان نمونه‌برداری‌شده از منطقه ایرانکوه تحت تأثیر نوع گیاه، جایگاه نمونه‌برداری، اندام و اثرات متقابل آنها را نشان می‌دهد. اثر گونه گیاهی بر مقادیر کادمیم انباشته‌شده به ازاء واحد وزن گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین گیاهان مورد بررسی گونه‌های *Bromus tectorum* *Ebenus stellata*, *Hypecum pendulum*, *Acantholimon sp*, بیشتر از گیاهان دیگر کادمیم را در اندام‌های خود انباشته کرده‌اند. به بیان دیگر کادمیم انباشته شده در این چهار گونه گیاهی به ازاء واحد وزن گیاه بیشتر از گیاهان دیگر بود (شکل ۲).



شکل۲- مقایسه میانگین‌های غلظت کادمیم در گونه‌های گیاهی (غلظت متوسط کادمیم به ازای واحد وزن کل گیاه) مورد بررسی بر پایه آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد (ستون با حروف یکسان ناهمانندی چشم‌گیری ندارند).

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های مقادیر کل کادمیم و عصاره‌گیری‌شده با DTPA خاک در جایگاه‌های نمونه‌برداری از منطقه ایرانکوه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد (وجود حروف مشابه در هر ستون بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار است).

جایگاه نمونه‌برداری	کادمیم (mg/kg)	کادمیم عصاره‌گیری‌شده با DTPA (mg/kg)
الف	۳/ ۹۸۵ a	۰/۰۶ a
ب	۳/۶۶ a	۰/۰۵ a
پ	۳/۱۷۵ a	۰/۰۳ b

الف= جایگاه با درجه آلودگی زیاد، ب= جایگاه با درجه آلودگی متوسط، پ= جایگاه شاهد

جدول ۶- نتایج واریانس مقادیر کادمیم در گیاهان نمونه‌برداری‌شده از منطقه ایرانکوه تحت تأثیر نوع گیاه، جایگاه نمونه‌برداری اندام و اثرات متقابل آنها

		میانگین مربعات
منابع تغییرات	درجات آزادی	کادمیم
گیاه	۱۰	۰/۸۳ **
جایگاه نمونه‌برداری	۲	۲۰/۲۷ **
اندام	۱	۴/۱۷ **
گیاه×جایگاه	۲۰	۰/۶۶ **
گیاه×اندام	۱۰	۳/۱۹ **
خطا	۱۳۲	۰/۰۵

**: نشان‌دهنده چشم‌گیر بودن اثر در سطح احتمال یك درصد است.

www.SID.ir

Archive of SID

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نیز نشان داد که اثر جایگاه نمونه‌برداری بر انباشتگی عنصر کادمیم در گیاهان مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که گیاهان جایگاه الف و پ به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار کادمیم را به خود اختصاص داده‌اند (جدول۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین مقادیر کادمیم در گیاهان سه جایگاه نمونه‌برداری‌شده از منطقه ایرانکوه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد

جایگاه نمونه‌برداری	کادمیم (mg/kg)
الف	۱/۹۲ a
ب	۱/۳۱ b
پ	۰/۸۱ c

الف= جایگاه با درجه آلودگی زیاد، ب= جایگاه با درجه آلودگی متوسط، پ= جایگاه شاهد

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۶) نشان داد که بین اندام هوایی و زیرزمینی گیاهان مورد بررسی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. مقایسه میانگین‌ها به گونه‌ای بود که بیشترین غلظت کادمیم در اندام هوایی و کمترین غلظت در اندام زیرزمینی بود (جدول ۸).

از آنجایی‌که واکنش گیاهان مختلف نسبت به مقادیر آلودگی در جایگاه‌های نمونه‌برداری متفاوت است، به همین دلیل تأثیرپذیری هر گیاه نسبت به عنصر کادمیم در اندام هوایی و زیرزمینی به صورت جداگانه بررسی و ارزیابی گردید.

جدول ۹ نتایج تجزیه واریانس اثر اندام هوایی بر انباشتگی عنصر کادمیم تحت تأثیر اندام هوایی، جایگاه نمونه‌برداری و اثرات متقابل آنها را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که اثر اندام هوایی بر انباشتگی عنصر کادمیم در سطح آماری یک درصد معنی‌دار است (جدول۹).

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های مقادیر کادمیم در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان منطقه ایرانکوه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد

جایگاه نمونه‌برداری	کادمیم (mg/kg)
هوایی	۱/۵۰ a
زیرزمینی	۱/ ۲۰ b

الف= جایگاه با درجه آلودگی زیاد، ب= جایگاه با درجه آلودگی متوسط، پ= جایگاه شاهد

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس مقادیر کادمیم در گیاهان نمونه‌برداری‌شده از منطقه ایرانکوه تحت تأثیر اندام هوایی جایگاه نمونه‌برداری و اثرات متقابل آنها

		میانگین مربعات
منابع تغییرات	درجات آزادی	کادمیم
اندام هوایی	۱۰	۰/۹۹ **
جایگاه نمونه‌برداری	۲	۸/۹ **
اندام هوایی× جایگاه نمونه‌برداری	۲۰	۰/۵۷ **
خطا	۶۶	۰/۰۶

** : نشان‌دهنده چشم‌گیر بودن اثر در سطح احتمال یك درصد است.

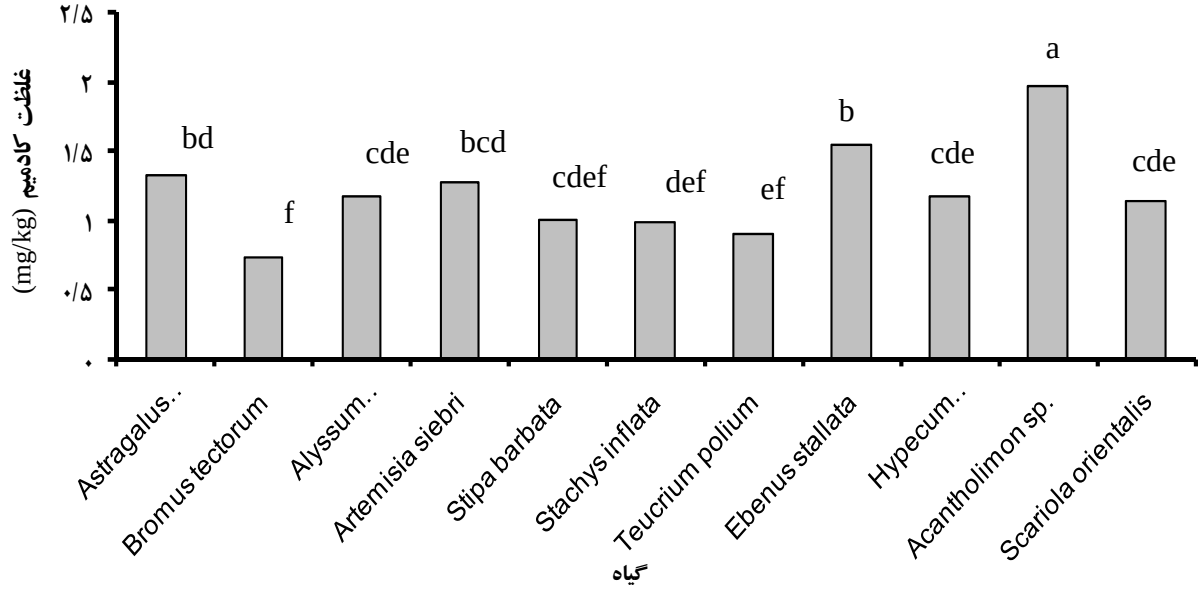
مقایسه میانگین‌ها برای مقادیر غلظت کادمیم موجود در اندام هوایی گیاهان (شکل ۳) مورد بررسی نشان داد که گونه گیاهی *Acantholimon sp* با میانگین غلظت کادمیم ۱/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین و گونه

www.SID.ir

Archive of SID

Bromus tectorum با میانگین ۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین انباشتگی کادمیم را در اندام هوایی خود نشان دادند (شکل ۳).

جدول ۱۰ نتایج تجزیه واریانس اثر اندام زیرزمینی بر انباشتگی عنصر کادمیم را نشان می‌دهد و به‌گونه‌ای است که در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین‌ها برای غلظت کادمیم موجود در اندام زیرزمینی گیاهان مورد مطالعه (شکل ۴) نشان داد که گونه گیاهی *Bromus tectorum* با انباشتگی ۲/۷۹ و گونه *Acantholimon sp* با انباشتگی ۰/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاهی به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار انباشتگی کادمیم را در اندام زیرزمینی نشان دادند (شکل ۴).



شکل ۳- مقایسه میانگین‌ها برای انباشتگی کادمیم در اندام هوایی گیاهان بررسی‌شده بر پایه آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد

ستون‌های با حروف یکسان ناهمانندی چشم‌گیری ندارند.

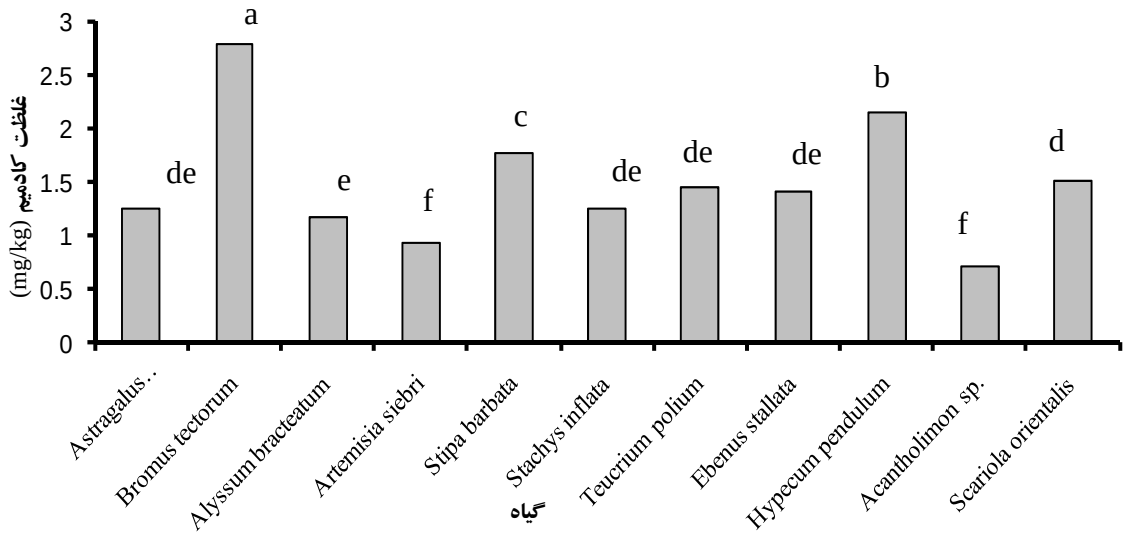
جدول ۱۰- نتایج تجزیه واریانس مقادیر کادمیم در گیاهان نمونه‌برداری‌شده از منطقه ایرانکوه تحت تأثیر اندام زیرزمینی، جایگاه نمونه‌برداری و اثرات متقابل آنها

منابع تغییرات	درجات آزادی	میانگین مربعات
		کادمیم
اندام زیرزمینی هوایی	۱۰	۳/۰۳**
جایگاه نمونه‌برداری	۰	۱۳/۶۸ **
اندام زیرزمینی× جایگاه نمونه‌برداری	۲۰	۰/۸۹ **
خطا	۶۶	۰/۰۴

** : نشان‌دهنده چشم‌گیر بودن اثر در سطح احتمال یك درصد است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۴- مقایسه میانگین‌ها برای انباشتگی کادمیم در اندام‌های زیرزمینی گیاهان بررسی‌شده بر پایه آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد (ستون با حروف یکسان ناهمانندی چشم‌گیری ندارند).

جدول ۱۱ تأثیر نوع گیاه و جایگاه نمونه‌برداری و اثرات متقابل آنها را بر مقادیر کادمیم عصاره گیری‌شده با DTPA در خاک ریز و سفری گیاهان مورد بررسی نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس خاک ریزوسفری مورد بررسی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین فرم عصاره‌گیری‌شده با DTPA کادمیم در ریزوسفر گیاه *Scariola arientalis* و کمترین در گونه *Acantholimon sp* وجود دارد (جدول ۱۲).

جدول ۱۱- نتایج تجزیه واریانس مقادیر کادمیم عصاره‌گیری‌شده با DTPA در خاک ریزو سفر گیاهان مورد بررسی تحت تأثیر گیاه، جایگاه نمونه‌برداری و اثرات متقابل آنها

منابع تغییرات	درجات آزادی	میانگین مربعات کادمیم
جایگاه نمونه‌برداری	۲	۰/۰۲۶**
گیاه	۱۰	۰/۰۰۲ **
گیاه× جایگاه	۲۰	۰/۰۰۱ **
خطا	۶۶	۰/۰۰۱

**: نشان‌دهنده چشم‌گیر بودن اثر در سطح احتمال یك درصد است.

جدول ۱۲- مقایسه میانگین کادمیم فراهم در خاک ریزوسفری گونه‌های گیاهی بررسی‌شده بر پایه آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد (ستون با حروف یکسان ناهمانندی چشم‌گیری ندارند).

نام گیاه	کادمیم (mg/kg)
Astragalus glaucanthus (گون اسبی)	۰/۰۶ c
Bromus tectorum (جارو علفی)	۰/۰۹ ab
Alyssum bracteatum (قدومه)	۰/۰۷ bc
Artemisia siebri (درمنه دشتی)	۰/۰۷ bc
Stipa barbata (یال اسبی)	۰/۰۶ bc
Stachys inflate (گاو پونه)	۰/۰۷ bc
Teucrium polium (کلپوره)	۰/۰۸ abc
Ebenus stallata (جو سیخ)	۰/۰۷ abc
Hypecum pendulum (شاه ترهای)	۰/۰۹ ab
Acantholimon sp. (کلاه میرحسن)	۰/۰۶ c
Scariola orientalis (جاز)	۰/۱۰ a

با توجه به اینکه در بحث گیاه‌پالایی فلزهای سنگین و به‌طور خاص عصاره‌کشی 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 ضروریست، در این قسمت نتایج حاصل از این فاکتور در جدول ۱۳ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به جدول ۱۳ گونه‌های *Acantholimon sp*، *Astragalus glaucanthous* و *Ebenus stellata* با نسبت انتقال (Translocation factor) به‌ترتیب ۱۲/۶، ۲/۰۹ و ۱/۳۷ بیشترین توانایی را در جهت انتقال کادمیم از اندام‌های زیرزمینی به اندام‌های هوایی نشان داده‌اند.

جدول ۱۳- نسبت انتقال عنصر از اندام زیرزمینی به اندام هوایی (فاکتور انتقال) در گونه‌های گیاهی مورد بررسی

گونه گیاهی		TF
Astragalus glaucanthus	b	۲/۰۹
Acantholimon sp.	a	۱۲/۶۰
Ebenus stallata	b	۱/۳۷
Stachys inflate	b	۱/۳۳
Artemisia siebri	b	۱/۴۰
Teucrium polium	b	۰/۷۱
Stipa barbata	b	۰/۴۵
Alyssum bracteatum	b	۱/۰۴
Scariola orientalis	b	۰/۸۱
Hypecum pendulum	b	۰/۵۸
Bromus tectorum	b	۰/۲۶

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 فاین لومی، میکس، ترمیک، تیپیک و هاپلوکسید می‌باشد (Soil Survey Staff, 1999).

این اراضی دارای خاک‌های آهکی غیر شور بوده و بافت آنها متوسط تا سبک و دارای ماده آلی کم می‌باشند. دامنه غلظت نرمال کادمیم در خاک‌ها ۷-۰/۰۱ mg/Kg گزارش شده و غلظت سمی این عنصر ۸-۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، بنابراین می‌توان گفت مقادیر کادمیم در جایگاه‌های مورد بررسی در دامنه سمیت واقع شده‌اند. منتهی جایگاه پ (شاهد) کمترین مقدار را از نظر کادمیم دارد، در حالی‌که جایگاه الف (آلوده‌ترین جایگاه) بیشترین غلظت کادمیم و دارای سمیت شدید با کادمیم می‌باشد. با توجه به مقدار کل کادمیم در این سه جایگاه که تأثیر در مقدار عصاره‌گیری با DTPA کادمیم می‌گذارد، جایگاه الف بیشترین و جایگاه پ کمترین غلظت کادمیم عصاره‌گیری‌شده با DTPA را خواهند داشت که نتایج نیز این مطلب را تأیید می‌کند (جدول ۵). در مباحث گیاه‌پالایی و به‌طور خاص عصاره‌کشی گیاهی دو فاکتور مهم یکی (Tolorence Index) دامنه تحمل‌پذیری گیاه و همچنین فاکتور (Translocation factor) انتقال عناصر از اندام زیرزمینی به هوایی مهم می‌باشد که در این قسمت برای شناسایی گونه‌های گیاهی فرا انباشت‌کننده به این موضوع پرداخته می‌شود (Lasat, 2000).

Mattina و همکاران (۲۰۰۳) برای شناسایی گونه‌های فرا انباشت‌کننده جهت پالایش خاک‌های آلوده به فازهای سنگین دامنه تحمل‌پذیری و فاکتور انتقال عناصر سنگین را در اندام‌های هوایی و زیرزمینی بررسی کردند، بدین منظور در ابتدا مقایسه‌ای بین ۱۱ گونه گیاهی بین سه جایگاه مختلف نمونه‌برداری از نظر انباشتگی کادمیم در کل گیاه (حاصل از اندام هوایی و زیرزمینی) انجام شد تا دامنه تحمل‌پذیری این گیاهان مقایسه گردد. با توجه به این موضوع و مقایسه شکل ۲، گونه‌های گیاهی *Bromus tectorum*، *Hypecum pendulum*، *Ebenus stellata*، *Acantholimon sp* گونه‌هایی بودند که در این بررسی بیشترین انباشتگی کادمیم (غلظت متوسط کادمیم به ازاء واحد وزن گیاه) را در بین گونه‌های دیگر نشان دادند. میزان انباشتگی (جدول۷) 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 هر چه آلودگی خاکی نسبت به عناصر سنگین بیشتر باشد احتمال انباشتگی بیشتری از عناصر یادشده در گیاه وجود خواهد داشت (Blaster *et al*., 2000).

با توجه به جدول ۸ که مقایسه میانگین بین مقادیر کادمیم موجود در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان مورد بررسی را نشان می‌دهد؛ مقدار عنصر کادمیم در اندام هوایی بیشتر از اندام‌های زیرزمینی گیاهان مورد بررسی می‌باشد و با توجه به جدول‌های ۴ و ۵ نیز چنین انتظاری نیز می‌رفت. از آنجایی که واکنش گیاهان مختلف نسبت به مقادیر

www.SID.ir

Archive of SID

آلودگی‌های متفاوت در جایگاه‌های نمونه‌برداری با یکدیگر تفاوت دارد و گیاهان واکنش‌های خاصی را نشان می‌دهند، در این قسمت مقایسه‌ای بین زیست‌انباشتگی عنصر کادمیم در اندام هوایی و زیرزمینی گیاهان مورد بررسی انجام شد که می‌تواند برای تکمیل فاکتور دوم عصاره‌کشی گیاهان یعنی فاکتور انتقال (نسبت غلظت در اندام هوایی به اندام زیرزمینی) عنصر بسیار مهمی باشد. شکل ۳ و ۴ مقایسه میانگین‌ها برای تجمع عنصر کادمیم را از اندام زیرزمینی به اندام هوایی نشان می‌دهد که عبارتند از: *Ebenus stellata* و *Acantholimon sp* با توجه به مقایسه میانگین مقادیر کادمیم عصاره‌گیری‌شده با DTPA ریزوسفر این گیاهان، درمی‌یابیم (جدول ۱۱) که این سه گونه، کمترین فرم عصاره‌گیری‌شده با DTPA کادمیم را در این ریزوسفراز خود نشان دادند، یعنی توانسته‌اند به نوعی کادمیم را تخلیه و به اندام‌های هوایی انتقال دهند.

با توجه به شکل ۴ کمترین انباشتگی کادمیم در اندام زیرزمینی گونه‌های *Acantholimon sp*، *Artmisia siebri* و *Alyssum bracteatum* دیده شده؛ با توجه به شکل ۴ و مقایسه آن با شکل ۳ ملاحظه می‌گردد که گونه‌های گیاهی که توانسته‌اند به نوعی کادمیم را به اندام‌های هوایی خود انتقال بدهند، کمترین انباشتگی را از این عنصر در اندام زیرزمینی خود داشته‌اند. در زمین‌های پیرامون معادن سرب و روی گیاهان خانواده براسیکایه عمدتاً گونه‌های فرا انباشت کننده کادمیم و روی می‌باشند (Brooks, 1998).

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) و سرعت رشد بالای گیاهی دقت نمود (Carter, 1993). دراین پژوهش با توجه به نکات گفته شده گونه‌های گیاهی *Acantholimon sp*، *Ebenus stellata* و *Astragalus glaucanthus* گونه‌هایی مناسب برای مطالعات بعدی در زمینه گیاه‌پالایی و پالایش خاک‌های آلوده به عنصر کادمیم می‌باشند که می‌توانند در مناطق مشابه نیز توصیه گردند.

سپاسگزاری

از آقای مهندس بابک بحرینی‌نژاد به‌دلیل مساعدت‌ها در کلیه مراحل این پژوهش و آقای مهندس مختاری که در کارهای آماری مرا یاری دادند کمال تشکر را دارم. درضمن، در پایان از کلیه همکارانی که در مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان اصفهان با اینجانب همکاری نمودند، تقدیر و تشکر را می‌نمایم.

منابع مورد استفاده

- حاقیان زارعی، ا.۱۳۷۹. زیست سالم سازی خاك‌های آلوه به هیدروکربن‌ها (آروماتیك و جذب حلقه‌ای)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربین مدرس، نور.
- علامه، ا. ۱۳۷۶. گزارش اکتشاف معدن گوشفیل. شرکت باما. اصفهان. ۱۵۰ ص.
-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”. Science Total. Environment, 249: 257- 280.
-Brooks, R. R., 1998. “Plants that hyperaccumlate heavy metal”. CAB Intenational Newyork, 380p.
-Carter, M. R. (Eds)., 1993. “Soil sampling and method of analysis”. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers.
-Hutzinger, O., 1980. “The hand book of envionmental chemistry”. 3. 59- 107.
-Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 1994. “Trace element in soils and plant”. Crcpress Boca Raton Ann Arbor London. 223p.
-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.
-Mattina, M . J. I., Lannucci-Berger,W.,Musante. C., White,J .C.,2003. Concurrent plant uptake of havey metal and persistent organic poiiutants from soil. Enviromental Pollution 124:375-378.
-Schnoor, J. L., 1997. “Phytoremediution”. The University of Iowa, Departement of Civil and Environmental Enginering and Center for Global and Regional Environmental Research.
-Sheila, M. T., 1996. “Toxic metal in soil- plant systems”. Johw Wily and Sons. Newyork. 469p.
-Soil Survey Staff. 1999. “Soil taxonomy basic system of soil classification for making and interpreting soil survey”. USDA-NRCS, 869p.

www.SID.ir

Archive of SID

-Westerma., R. E. L., 1990. “Soil testing and plant analysis”., SSSA. Madison wisconsin, USA.

www.SID.ir

Archive of SID

Potential of rangeland species in cleaning cadmium contaminated soils in Irankooh region

F. Parsadoust[1*] and B. Bahreininejad[2]

1*-Corresponding author, M.Sc. of Soil Science, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Isfahan, Iran, Email: f_dastjerdi@yahoo.com
2- Academic Member, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Isfahan, Iran

Received: 4/20/2011 Accepted:10/6/2012

Abstract

Nowadays, heavy metal contaminated soils is one of the most important concerns of the world and cleaning these soils with minimum environmental damage is necessary especially in urban and agricultural regions through advanced biological methods. Phytoremdiation is one of the modern technologies that could be used in large scale with minimum damage to environment. High concentration of cadmium, as an environmental pollutant, could be harmful for human and animals. Regarding to this reason, a study was carried out on 11 plant species in Irankouh region at three sites including three levels of high, medium and low cadmium contamination. The bioaccumulation of cadmium in shoots and roots of plants, and translocation factor were measured. According to the results, *Astragalus glaucanthus*, *Ebenus estellata* and *Acantholimon sp*. showed the highest values of cadmium concentration (1.40, 1.53 and 1.97 mg/kg dry matter), and also the highest translocation factor (2.09, 1.37 and 12.6), respectively. Because of the high values of biomass and bioaccumulation, these three plants are recommended for phytoremediation of cadmium-contaminated soils under the same conditions.

Keywords: Heavy metals, rangeland plants, hyperaccumulators.

www.SID.ir