زیست‌شناسی گیاهی، سال پنجم، شماره شانزدهم، تابستان ۱۳۹۲، صفحه ۴۱-۵۶
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۳/۳۱
تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹۱/۰۶/۰۸
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۹/۰۱

مقایسه توانایی تغلیظ فلزات سنگین در پوشش گیاهی منطقه اطراف صنایع فولادسازی در جاده بندر امام-ماهشهر، اهواز

پرژک ذوفن [۱]*، عاطفه سعادت خواه [۱] و سعادت رستگارزاده [۲]
[۱] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
[۲] گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده
گیاهان به علت استفاده از آب، خاک و هوا، در تغییر شرایط بوم‌شناختی مشارکت مهمی دارند و می‌توان از آنها برای پاکسازی بوم نظام‌های آلوده به انواع آلاینده‌ها نظیر فلزات سنگین استفاده نمود. در این مطالعه، میزان تجمع فلزات سنگین Ni، Mn، Zn، Fe و Pb در خاک و پوشش گیاهی اطراف مناطق صنایع تولید فولاد در جنوب شرق شهر اهواز واقع در جاده بندر امام- ماهشهر بررسی شد. نتایج این مطالعه میانگین غلظت فلزات به صورت قابل تبادل در نمونه‌های خاکی مناطق بررسی شده را به صورت Fe>Mn>Zn>Ni میلی گرم بر کیلو گرم نشان داد. بیشینه میزان تجمع Fe در پوشش گیاهی در بخش هوایی گیاه علفی *Taraxacum kotschyi* و در تیپ درختی *Conocarpus erectus* با مقادیر ۸۹۱ و ۸۶۰/۳۰ Zn و Mn در بخش هوایی گیاه علفی *T. kotschyi* با مقادیر ۱۰۸/۶۳ و ۹۳/۹۰ و بیشترین مقدار Ni در تیپ درختی *Eucalyptus camaldulensis* ۱۰/۸۶ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه‌گیری شد. مقدار Pb در خاک و پوشش گیاهی قابل تعیین نبود. نتایج حاصل از محاسبه عامل تغلیظ زیستی و عامل انتقال مبین آن است که در بیشتر موارد و برای بیشتر فلزات مطالعه شده این شاخص‌ها بالاتر از یک است. بر اساس این مطالعه، غلظت فلزات در پوشش گیاهی منطقه از حد آستانه تعریف شده برای گیاهان بیش تجمع‌دهنده کمتر است، با این حال تصور می‌شود که گونه‌های گیاهی انتخاب شده توانایی تجمع و انباشت فلزات مطالعه شده را در بخش هوایی خود دارند.

واژه‌های کلیدی: تجمع دهندگی، عامل انتقال، عامل تغلیظ زیستی، فلزات سنگین

مقدمه
فلزات سنگین فلزاتی با چگالی بالاتر از ۵ g/cm^3 تعریف می‌شوند که منبع عمده آنها فعالیت‌های صنعتی و معدن کاری، احتراق سوخت، حمل و نقل اتومبیل‌ها، استفاده از آفت‌کش‌ها و کودها در کشاورزی است (Adriano, 1986). روش‌های فیزیکی و شیمیایی

*نویسنده مسؤول: نشانی پست الکترونیک: p.zoufan@scu.ac.ir، شماره تماس: ۰۶۱۱۳۳۳۱۰۴۵

Archive of SID
www.SID.ir

مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محیط توسعه یافته‌اند که استفاده از برخی از آنها به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و از طرف دیگر به لحاظ بوم‌شناختی آثار منفی بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک دارد (Boularbah *et al.*, 2005). استفاده از موجودات زنده نظیر میکرواورگانیسم‌ها و گیاهان به عنوان راهکارهای زیستی مؤثر در حذف فلزات سنگین از محیط، از آن جهت که دوستدار محیط زیست بوده، کمترین هزینه را به لحاظ اقتصادی دارد، در سال‌های اخیر بسیار به آن توجه شده است که به این روش‌ها زیست پالایی (bioremediation) گفته می‌شود. چنانچه از گیاهان برای پاکسازی محیط استفاده شود، به آن گیاه پالایی (phytoremediation) می‌گویند (Chaney *et al.*, 1997). گیاهان برای رشد در خاک‌های آلوده به فلز سنگین از سه راهکار استفاده می‌کنند: گونه‌های اجتناب‌کننده (excluder) که غلظت عنصر در بخش هوایی، حتی در غلظت‌های بالای آن در خاک، در مقادیر پایینی نگه داشته می‌شود (DeVos *et al.*, 1991)، گونه‌های شاخص یا متحمل (indicator) که میزان فلزات سنگین در گیاه با غلظت عناصر یاد شده در خاک یکسان است و گونه‌های تجمع‌دهنده (accumulator) که قادر به تغلیظ فلز در بخش هوایی خود، بیش از غلظت عنصر در خاک هستند (Taylor, 1987). گیاهان بیش تجمع‌دهنده (hyperaccumulator) زیر گروهی از گیاهان تجمع‌دهنده هستند که می‌توانند در خاک‌های آلوده به فلزات، بدون بروز علایم سمیّت، چرخه زندگی خود را تکمیل نمایند (Baker and Brooks, 1989). مطالعات بسیاری روی میزان تجمع فلزات سنگین در پوشش گیاهی موجود در مناطق صنعتی و معدنی انجام شده است (Buszewski *et al.*, 2000؛ Alloway *et al.*, 2005؛ Hozhina *et al.*, 2004؛ Papafilippaki *et al.*, 2008؛ Parizanganeh *et al.*, 2010؛ Lorestani *et al.*, 2011). برای مثال، Yanqun و همکاران (۲۰۰۴) برای شناسایی گونه‌های گیاهی تجمع‌دهنده، میزان برخی فلزات سنگین را در پوشش گیاهی منطقه معدنی Lanping در چین مطالعه کردند. همچنین، Miclean و همکاران (۲۰۰۷) میزان قابلیت دسترسی گیاهان اطراف یک منطقه معدن کاری در رومانی را بررسی کردند. در استان خوزستان وجود منابع سرشار نفت و گاز و توسعه روز افزون صنایع مختلف از جمله صنایع فولاد، موجب بروز مشکلات متنوع در بیشتر جنبه‌های زیست‌محیطی از قبیل افزایش آلودگی هوا و منابع آب و خاک شده است. غباره کوره صنایع فلزی مانند صنایع تولید فولاد، یکی از محصولات فرعی کارخانجات صنایع فولاد است که در افزایش میزان فلزات سنگین در آب، هوا و خاک مناطق اطراف سهم به سزایی دارد. در این پژوهش، میزان تجمع فلزات سنگین نیکل، منگنز، روی، آهن و سرب در پوشش گیاهی و خاک منطقه اطراف فعالیت صنایع فولادسازی واقع در جنوب شرق اهواز به منظور مقایسه پتانسیل تجمع فلز در بخش‌های هوایی و ریشه‌ای گیاهان (به ویژه گیاهان علفی) برای شناسایی گونه‌های (بیش) تجمع‌دهنده بررسی میدانی شد.

مواد و روش‌ها

شرح منطقه

منطقه بررسی شده در این مطالعه، در جنوب شرقی اهواز، واقع در جاده بندر امام–ماهشهر که محل فعالیت

Archive of SID

www.SID.ir

چندین کارخانه تولید فولاد است، قرار دارد. این منطقه، به لحاظ جغرافیایی در ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است، سرعت وزش باد ۹ متر بر ثانیه و میانگین بارش سالیانه ۲۱۳ میلی‌متر در این منطقه است. برای نمونه‌برداری از پوشش گیاهی و خاک با در نظر گرفتن فاصله منطقه مورد بررسی از کوره ذوب فلز صنایع فولاد سازی، دو منطقه با سطح ۱۰۰۰ متر مربع که در دو ضلع موازی یک فضای مربع-مستطیل شکل انتخابی که در اطراف صنایع فولاد سازی قرار داشتند به عنوان مناطق ۱ و ۲ انتخاب شدند.

نمونه‌برداری از خاک

نمونه‌های خاک از محل رشد هر گونه گیاهی با بیشینه عمق ۲۰ سانتی‌متر در هر منطقه کمینه در ۶ تکرار جمع‌آوری شدند و برای تحلیل به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از انتقال نمونه‌های خاکی و غربال آنها با الک ۲ میلی‌متری و خشک نمودن آنها در معرض هوا به مدت یک هفته، خاک‌های مربوط به هر گونه گیاهی مطابق با روش Yanqun و همکاران (۲۰۰۴) با یکدیگر مخلوط و سپس از این مخلوط سه تکرار برای سنجش فلزات سنگین استفاده شد.

عصاره‌گیری از خاک

مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های خاکی به روش قابل تبادل بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم و با استفاده از دستگاه جذب اتمی GBC مدل Avanta ساخت کشور استرالیا ارزیابی شد. برای اندازه‌گیری شکل قابل تبادل از روش DTPA استفاده شد (Lindsay and Norvell, 1978). برای تهیه محلول‌های استاندارد از محلول‌های نیترات نیکل ($NiNO_3$)، کلرید منگنز ($MnCl_2$)، کلرید روی ($ZnCl_2$)، نیترات آهن II ($Fe(NO_3)_2$) و نیترات سرب ($Pb(NO_3)_2$) استفاده شد.

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی

پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه شامل تیپ‌های درختی، درختچه‌ای و علفی است (جدول ۱). برای نمونه‌برداری از هر تیپ گیاهی، گونه‌های غالب که در تمام اوقات سال وجود دارند، انتخاب شدند. سپس، نمونه‌های گیاهی برگ درختان و درختچه‌ها و بخش هوایی و ریشه‌ای گیاهان علفی در کمینه ۶ تکرار به صورت تصادفی از هر منطقه جمع‌آوری و در شرایط سرد به آزمایشگاه منتقل شد. پس از شناسایی، برای زدودن گرد و غبار از سطح گیاه، ابتدا نمونه‌های گیاهی با آب مقطر شستشو داده شد. سپس، برای حذف فلزات سنگین از سطح ریشه گیاهان علفی از محلول ۲۰ میلی‌مول در لیتر Na^2-EDTA استفاده شد (Yang *et al.*, 1996). پس از جداسازی ریشه و بخش هوایی در گیاهان علفی، همه نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون با درجه حرارت ۷۲ درجه سانتیگراد برای تعیین وزن خشک قرار داده شد.

عصاره‌گیری از نمونه‌های گیاهی

برای سنجش میزان فلزات سنگین، از نمونه‌های خشک و پودر شده گیاهی طبق روش Yanqun و همکاران (۲۰۰۴) و با سه تکرار استفاده شد. عصاره‌گیری از نمونه‌های گیاهی با استفاده از نیتریک اسید ۶۵ درصد (HNO_3) گرم و آب اکسیژنه ۳۰ درصد (H_2O_2) انجام شد (Miclean *et al.*, 2007). برای تعیین مقادیر فلزات سنگین در عصاره‌های تهیه شده از دستگاه جذب اتمی GBC مدل Avanta ساخت کشور استرالیا استفاده شد. برای تهیه محلول‌های استاندارد از

Archive of SID

www.SID.ir

فلزات سنگین مورد اشاره از محلول‌های یاد شده برای نمونه‌های خاکی استفاده و غلظت عناصر به صورت میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاهی تعیین شد.

تعیین عامل تغلیظ زیستی (Bioconcentration Factor, BF)

برای تعیین عامل تغلیظ زیستی (BF) از نسبت غلظت فلزات سنگین در بخش هوایی گیاه به غلظت این فلزات به شکل قابل تبادل در خاک استفاده شد (Branquinho *et al*., 2006).

(BF) عامل تغلیظ زیستی= غلظت فلز سنگین در بخش هوایی/غلظت فلز سنگین در خاک به شکل قابل تبادل

تعیین عامل انتقال (Translocation Factor, TF)

این عامل، میزان انتقال فلز سنگین را از بخش ریشه‌ای به بخش هوایی گیاه مشخص می‌کند (Komar *et al*., 2001)

(TF) عامل انتقال= غلظت فلز سنگین در بخش هوایی/غلظت فلز سنگین در بخش ریشه‌ای

تحلیل داده‌ها

پس از سه تکرار برای نمونه‌های گیاهی و خاکی، مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار $P<0.05$ انجام شد.

جدول ۱- گونه‌های گیاهی غالب در مناطق ۱ و ۲، خانواده‌های گیاهی و تیپ رویش آنها

نمونه	گونه	خانواده گیاهی	منطقه نمونه‌برداری	نوع	بخش استفاده شده
۱	*Conocarpus erectus*	Combretaceae	منطقه ۱	درختی	برگ
۲	*Eucalyptus camaldulensis*	Myrtaceae	منطقه ۱	درختی	برگ
۳	*Prosopis stephaniana*	Fabaceae	منطقه ۱	درختی	برگ
۴	*Taraxacum kotschyi*	Asteraceae	منطقه ۱	علفی	ریشه- برگ
۵	*Salsola soda*	Amaranthaceae	منطقه ۱	علفی	ریشه- برگ
۶	*Conocarpus erectus*	Combretaceae	منطقه ۲	علفی	ریشه- برگ
۷	*Eucalyptus camaldulensis*	Myrtaceae	منطقه ۲	درختی	برگ
۸	*Prosopis spicigera*	Fabaceae	منطقه ۲	درختی	برگ
۹	*Taraxacum kotschyi*	Asteraceae	منطقه ۲	علفی	ریشه- برگ
۱۰	*Chenopodium album*	Amaranthaceae	منطقه ۲	علفی	ریشه- برگ
۱۱	*Nerium oleander*	Apocynaceae	منطقه ۲	درختچه‌ای	برگ

نتایج

غلظت فلزات سنگین به شکل قابل تبادل در نمونه‌های خاکی

مطابق جدول ۲، میانگین غلظت آهن به شکل قابل تبادل در خاک مناطق ۱ و ۲ تجمع معنی‌داری را در مقایسه با سه فلز دیگر به ترتیب با مقادیر ۲/۱± ۲۸/۴ و ۴/۶±۱۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم از خود ارایه می‌دهد.

این نتایج بیانگر آن است که میانگین غلظت فلزات اشاره شده به شکل قابل تبادل، در هر دو ناحیه به صورت Fe> Mn> Zn> Ni تغییر می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- میانگین مقادیر قابل تبادل فلزات در خاک بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم و میانگین مقادیر فلزات در پوشش گیاهی بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک در مناطق ۱ و ۲. مقادیر منطقه ۱ میانگین ۵ تکرار ± SD و مقادیر منطقه ۲ میانگین ۶ تکرار ± SD است. حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح P<۰/۰۵ است

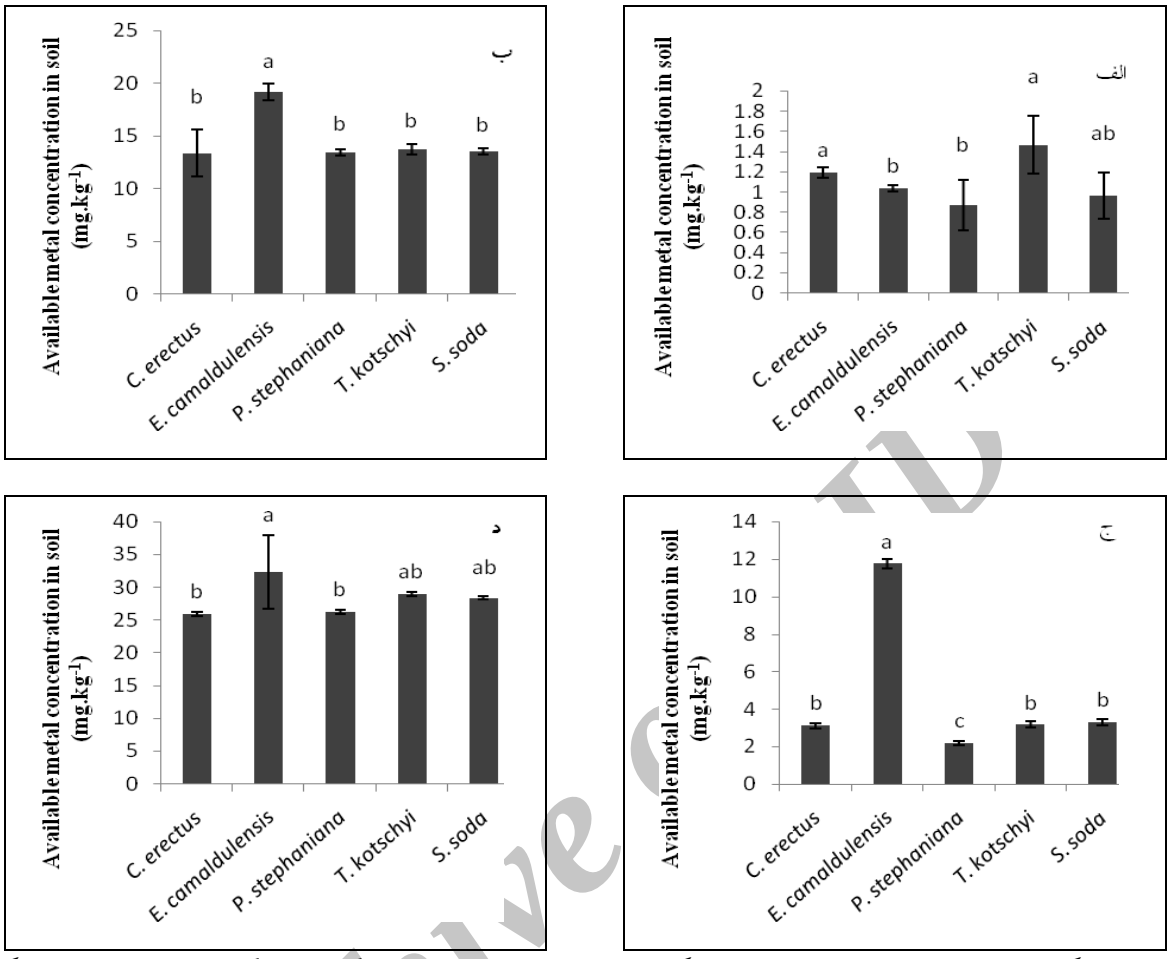
	منطقه ۱				منطقه ۲			
	Ni	Mn	Zn	Fe	Ni	Mn	Zn	Fe
میانگین مقادیر قابل تبادل فلزات سنگین در خاک	۱/۲±۰/۲^{d}	۱۴/۳±۲/۱^{b}	۴/۲±۳/۳^{c}	۲۸/۴± ۲/۱^{a}	۰/۴±۰/۱^{d}	۱۲/۵±۳/۱^{b}	۳/۵±۱/۴^{c}	۱۸/۶±۴/۶^{a}
میانگین فلزات سنگین موجود در پوشش گیاهی	۲/۹±۳/۴^{b}	۳۷/۴±۱۷/۳^{b}	۴۴/۸±۱۰/۸^{b}	۷۱۹/۳±۱۴۴/۷^{a}	۳/۳±۳/۵^{b}	۶۰/۹±۲۵/۰^{b}	۶۰/۱±۲۵/۶^{b}	۷۲۶/۵±۲۸۲/۸^{a}

در بیشتر موارد، در مناطق ۱ و ۲ برای فلز نیکل تفاوت معنی‌داری در نمونه‌های خاک اطراف گیاهان مختلف مشاهده نشد (شکل‌های ۱ و ۲-الف). بر اساس شکل ۱-ب، بیشترین مقدار منگنز در نمونه‌های خاکی منطقه ۱، در خاک اطراف گونه گیاهی *E. camaldulensis* با مقدار ۱۹/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم سنجش شد که افزایش معنی‌داری را نسبت به سایر نمونه‌ها نشان داد. همان طور که در شکل ۲-ب مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار فلز منگنز در منطقه ۲ به دو گیاه *C. erectu* و *P. spicigera* به ترتیب با مقادیر ۱۵/۷۵ و ۱۵/۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم مربوط بود که این مقادیر از لحاظ آماری تفاوتی با هم نداشتند. نمونه خاکی *C. album* با مقدار ۷/۶۳ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش معنی‌داری را در این رابطه نسبت به سایر نمونه‌ها نشان می‌دهد (شکل ۲-ب). با توجه به شکل ۱-ج، در میزان روی در منطقه ۱ در خاک اطراف گونه گیاهی *E. camaldulensis* با مقدار ۱۱/۷۴ میلی گرم بر کیلوگرم افزایش معنی‌داری نسبت به دیگر نمونه‌ها ملاحظه می‌شود. کمترین مقدار این عنصر مربوط به نمونه خاکی *P. stephaniana* با مقدار ۲/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد (شکل ۱-ج). بررسی میزان روی در منطقه ۲ بیانگر آن است که بیشترین مقدار به نمونه خاکی اطراف *C. erectus* با مقدار ۵/۷۹ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار مربوط به *P. spicigera* با مقدار ۱/۷۳ میلی گرم بر کیلوگرم با تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری است (شکل ۲-ج). در منطقه ۱، مقدار فلز آهن در بیشتر نمونه‌های خاکی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۱-د).

در حالی که در منطقه ۲ برای این شاخص افزایش و کاهش معنی‌داری در نمونه‌های خاکی مربوط به گیاهان به ترتیب *C. erectus* با مقدار ۲۴/۹۵ میلی گرم بر کیلوگرم و *P. spicigera* با مقدار ۸/۹۶ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۲-د). تحلیل غلظت فلزات یاد شده در نمونه‌های خاکی مناطق بررسی شده بیانگر عدم وجود سرب است، به همین علت در ارایه نتایج به آن اشاره نشده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- میانگین مقادیر قابل تبادل فلز. الف) نیکل، ب) منگنز، ج) روی و د) آهن بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در منطقه ۱. مقادیر میانگین سه تکرار ± SD است. حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح P<۰/۰۵ است.

غلظت‌های فلزات سنگین نیکل، منگنز، روی، آهن و سرب در نمونه‌های گیاهی

بر اساس جدول ۲، میانگین غلظت فلزات سنگین به صورت میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاهی به ترتیب به صورت Fe>Zn=Mn>Ni در پوشش گیاهی منطقه بررسی شده اندازه‌گیری شد. همان طورکه در شکل ۳-الف مشاهده می‌شود، افزایش معنی‌داری در غلظت نیکل برای گونه‌های درختی *C. erectus*، *P. stephaniana* و بخش هوایی گیاه علفی *Taraxacum kotschyi* در منطقه ۱ اندازه‌گیری شد، در حالی که اختلاف معنی‌داری بین این سه گیاه وجود نداشت. مقادیر نیکل در سایر گونه‌های بررسی شده در این منطقه بسیار ناچیز و در حد صفر بوده است. در منطقه ۲، مقادیر اندازه‌گیری شده نیکل به جز در گونه درختی *E. camaldulensis* که با مقدار ۱۰/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک افزایش معنی‌داری را نسبت به دیگر گونه‌ها دارد، در سایر نمونه‌ها مقادیری اندک از این فلز بدون تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده شد (شکل ۴-الف). بر اساس شکل ۳-ب، میزان منگنز در گیاه درختی *C. erectus* و بخش هوایی گیاه علفی

Archive of SID

www.SID.ir

T. kotschyi به ترتیب با مقادیر ۵۵/۲۲ و ۶۱/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک افزایش معنی‌داری را نسبت به سایر گونه‌های منطقه ۱ نشان می‌دهد. ریشه گیاه علفی *Salsola soda* کاهش معنی‌داری را در میزان منگنز در مقایسه با سایر نمونه‌ها با مقدار ۱۲/۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم داشت (شکل ۳-ب). همان طور که در شکل ۴-ب ملاحظه می‌شود، بخش هوایی گیاه علفی *T. kotschyi* با مقدار ۹۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز در منطقه ۲ افزایش و بخش ریشه‌ای گیاه علفی *C. album* با مقدار ۱۵/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش معنی‌داری نسبت به سایر نمونه‌های گیاهی نشان می‌دهد. در منطقه ۱، غلظت روی در بخش هوایی گیاه علفی *T. kotschyi* افزایش معنی‌داری با مقدار ۶۴/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد (شکل ۳-ج). کمترین مقدار روی در ریشه‌های گیاهان علفی *T. kotschyi* و *S. soda* و بخش هوایی *S. soda* و گونه درختی *C. erectus* به ترتیب با مقادیر ۳۷/۰۶، ۳۹/۵۲ و ۳۴/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد (شکل ۳-ج). با توجه به شکل ۴-ج، بیشینه مقدار فلز روی در پوشش گیاهی منطقه ۲، به بخش هوایی گونه علفی *T. Kotschyi* با مقدار ۱۰۸/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط است که این افزایش در مقایسه با سایر نمونه‌های گیاهی این منطقه معنی‌دار است. کمترین مقدار روی در این منطقه در بخش ریشه‌ای گیاه *C. album* با مقدار ۲۱/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم سنجش شد (شکل ۴-ج). بر اساس شکل ۳-د، بیشترین تجمع معنی‌دار آهن با مقدار ۸۶۰/۳۰ در گونه درختی *C. erectus* و در بخش هوایی گیاهان علفی *T. kotschyi* و *S. soda* به ترتیب با مقادیر ۸۲۷/۴ و ۷۹۵/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده می‌شود. همچنین، گیاه علفی *S. soda* کاهش معنی‌داری را به لحاظ غلظت آهن با مقدار ۴۷۹/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بافت ریشه‌ای نشان می‌دهد (شکل ۳-د). با توجه به شکل ۴-د، برای فلز آهن در پوشش گیاهی منطقه ۲ کاهش معنی‌داری در بخش ریشه‌ای گیاه علفی *T. kotschyi* با مقدار ۳۷/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با سایر نمونه‌ها مشاهده می‌شود، در حالی که سایر نمونه‌های گیاهی تجمع بالایی از فلز آهن را با کمینه مقدار ۷۱۹/۷۰ (در ریشه گیاه علفی *C. album*) و بیشینه مقدار ۸۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (در بخش هوایی گیاه *T. kotschyi*) نشان می‌دهند (شکل ۴-د). بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، به نظر می‌رسد که در پوشش گیاهی مناطق بررسی شده، مقدار سربی قابل تعیین نبود و بنابراین، در شکل‌ها نتایج مربوط به آن نشان داده نشده است.

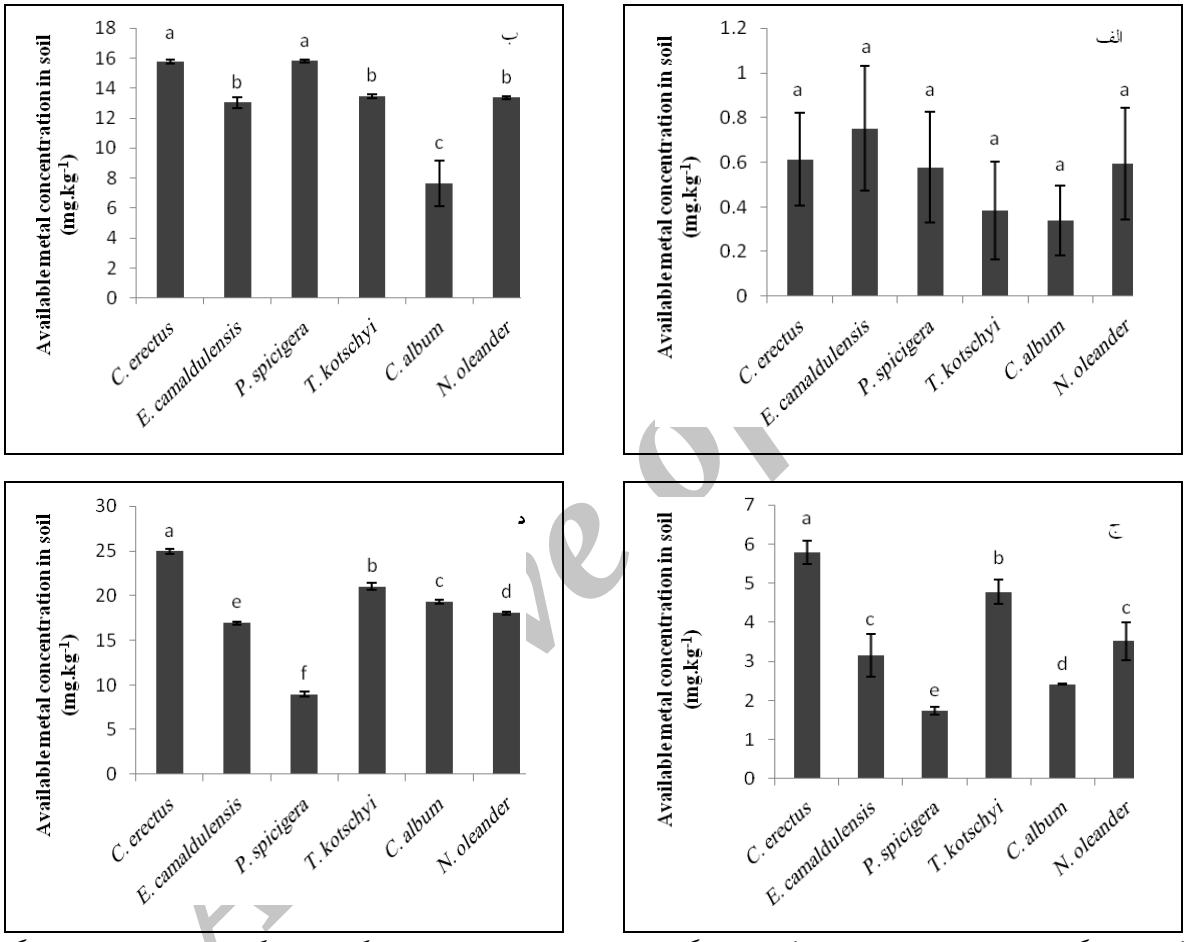
بررسی عامل تغلیظ زیستی (BF) و عامل انتقال (TF)

در مطالعات جذب فلزات سنگین توسط گیاهان، شاخص‌های BF و TF از اهمیّت فراوانی برخوردار هستند. بنابراین، به منظور ارزیابی و بررسی میزان توانایی گیاهان انتخاب شده در پاکسازی محیط از فلزات سنگین، دو شاخص یاد شده محاسبه شدند. مطابق جدول ۳، برای بیشتر فلزات در گونه‌های گیاهی مطالعه شده عامل BF بزرگتر از یک است. این مقادیر برای فلز نیکل در نمونه‌های گیاهی *C. erectus*، *P. stephaniana* و بخش هوایی گیاه *T. kotschyi*، مقادیر BF بزرگتر از یک را در منطقه ۱ از خود نشان می‌دهند، در حالی که در منطقه ۲ علاوه بر این سه نمونه، گونه *E. camaldulensis* نیز BF

Archive of SID

www.SID.ir

بزرگتر از یک دارد. مقادیر BF برای عناصر منگنز، روی و آهن در هر دو منطقه برای همه گونه‌ها بالاتر از یک محاسبه شد (جدول ۳). در مقایسه‌ای که برای عامل TF در میان گونه‌های علفی در هر دو منطقه انجام شد، برای فلز نیکل فقط گیاه علفی *T. kotschyi* مقادیر بالاتر از یک نشان داد (جدول ۳). همه گونه‌های علفی انتخاب شده عامل TF بزرگتر از یک برای فلزات منگنز، روی و آهن نشان دادند. برای منگنز و روی بیشترین مقدار TF در گونه علفی *C. album* و برای آهن در *T. kotschyi* مشاهده شد (جدول ۳).

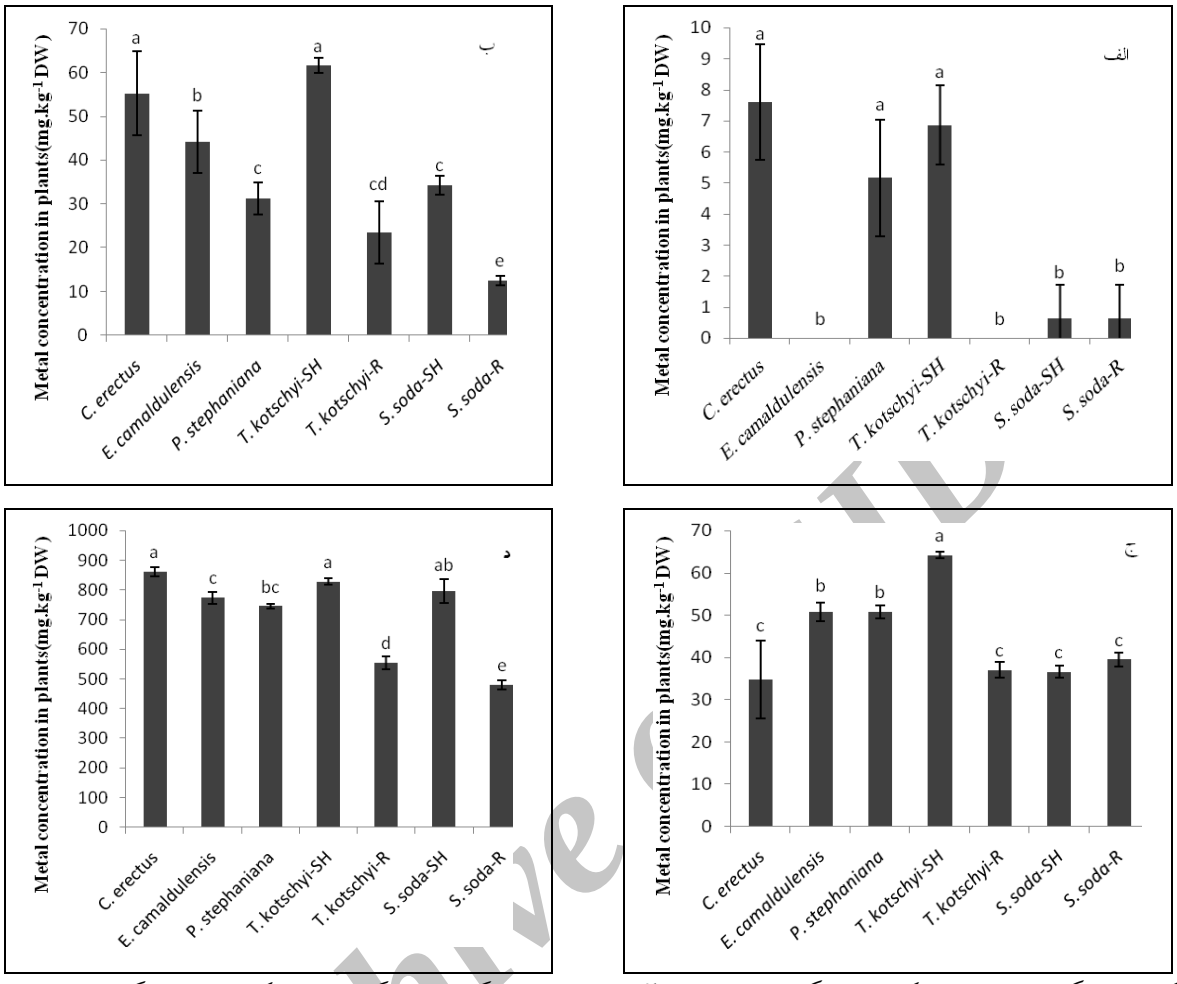


شکل ۲- میانگین مقادیر قابل تبادل فلز. الف) نیکل، ب) منگنز، ج) روی و د) آهن بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در منطقه ۲. مقادیر میانگین سه تکرار ±SD است. حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح P<۰/۰۵ است.

بحث

تجمع بالای فلزات سنگین در محیط می‌تواند آثار منفی زیادی بر سلامتی بوم‌نظام‌ها داشته باشد (Lin *et al.*, 2012). به همین علت، آلودگی فلزات سنگین در سراسر جهان همواره به عنوان مشکلی جدی مطرح بوده است. یکی از روش‌های نوین گیاه پالایی، استخراج گیاهی (phytoextraction) است که در آن از گیاهان تجمع‌دهنده فلز برای پاکسازی محیط‌های حاوی مقادیر بالای فلزات سنگین استفاده می‌شود (McGrath and Zhao, 2003). این گیاهان می‌توانند مقادیر مهمی از فلزات را در بخش هوایی و قابل برداشت خود مجتمع کنند.

www.SID.ir



شکل ۳- میانگین مقادیر الف) نیکل، ب) منگنز، ج) روی و د) آهن بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در پوشش گیاهی در منطقه ۱. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± SD است. حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح P<۰/۰۵ است. SH و R به ترتیب بیانگر بخش هوایی و ریشه‌ای در گیاهان علفی است.

اگرچه تاکنون بیش از ۴۰۰ گونه گیاهی بیش تجمع‌دهنده فلز سنگین شناسایی شده است، اما استفاده از روش استخراج گیاهی هنوز به طور عملی در سطح وسیع انجام نشده است (Freeman *et al.*, 2004). بنابراین، بررسی و ارزیابی دقیق پوشش گیاهی موجود در مناطقی که به علت فعالیت‌های انسانی به ویژه فعالیت‌های ذوب فلز در برگیرنده غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین هستند، از اهمیّت بالایی برخوردار است و می‌تواند به شناسایی گونه‌های گیاهی مناسب برای پاکسازی خاک از فلزات سنگین منجر شود. طبق تعریف، یک گیاه بیش تجمع‌دهنده فلز سنگین با چهار شاخص مشخص می‌شود (Lin *et al.*, 2012): الف) توانایی تجمع فلز در بخش هوایی، یعنی حد آستانه میزان فلز در بخش هوایی باید بالاتر از گیاهان معمولی باشد، ب) داشتن شاخص تغلیظ زیستی (BF) بزرگتر از یک، ج) داشتن عامل انتقال (TF) بزرگتر از

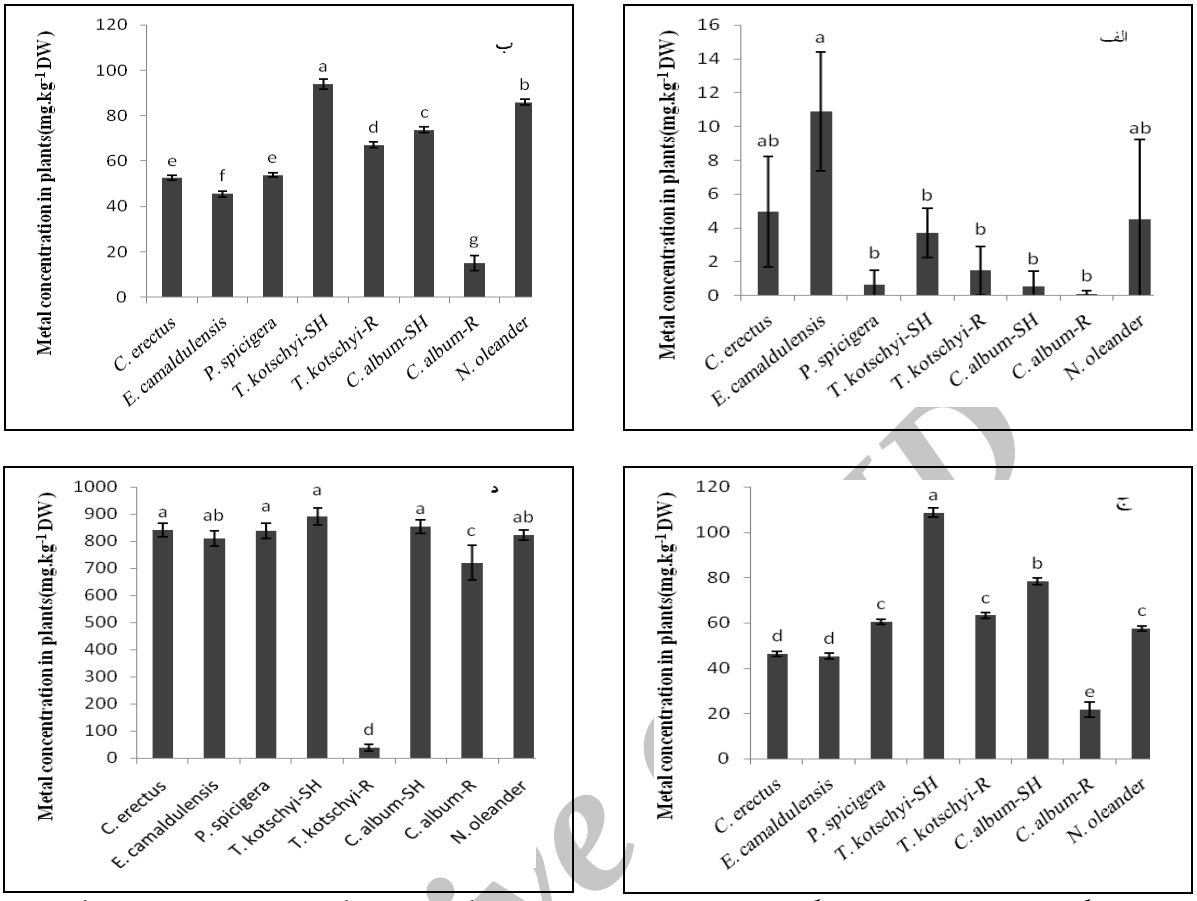
Archive of SID

www.SID.ir

یک و د) توانایی تحمل در برابر غلظت‌های بالای فلز. گیاهان بیش تجمع‌دهنده تحت شرایط تنش فلزات سنگین هیچ گونه علایم سمّیت فلز را از خود نشان نمی‌دهند و توانایی بالایی در تحمل آنها دارند. همان طور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، غلظت فلزات مطالعه شده در خاک مناطق ۱ و ۲ به استثنای نیکل در برخی موارد بسیار کمتر از میزان تجمع این عناصر در نمونه‌های گیاهی است (شکل‌های ۳ و ۴). بنابراین، به نظر می‌رسد که بیشتر گونه‌های انتخابی قابلیت انباشت فلزات یاد شده را به ویژه در بخش هوایی خود دارند. همچنین، بر اساس این نتایج، تصور می‌شود که بین غلظت این فلزات در خاک و غلظت آنها در نمونه‌های گیاهی منطقه ارتباطی منطقی و مستقیم وجود دارد (جدول ۲). چنین ارتباطی در مطالعه Yanqun و همکاران (۲۰۰۴) به صورت معنی‌داری گزارش شده است. این مطالعات پیشنهاد می‌کند که غلظت فلزات سنگین در خاک تحت تأثیر بسیاری از عوامل تغییر می‌کند و این می‌تواند میزان تجمع آنها را به صورت غیر مستقیم در گیاه تحت تأثیر قرار دهد. به همین علت در مطالعه حاضر، برای دستیابی به غلظت‌های دقیق‌تر فلزات سنگین در خاک و پوشش گیاهی، دو منطقه ارزیابی شد. با این حال، در بیشتر موارد اختلاف معنی‌داری میان میانگین تجمع هر فلز بین دو منطقه (علیرغم وجود فاصله ۲ کیلومتری بین آنها) مشاهده نشد (جدول ۲). اگرچه تعیین غلظت فلزات سنگین به فرم کلی در خاک ممکن است تا حدودی خطر ناشی از حضور غلظت‌های بالای فلزات را در محیط نشان دهد، اما الزاماً شاخص مناسبی برای مشخص نمودن مقادیر قابل جذب توسط گیاهان نیست (Gasparatos *et al.*, 2001). بنابراین، غالباً در مطالعات مربوط به میزان تجمع فلزات سنگین در گیاهان به ویژه برای محاسبه شاخص BF از غلظت آن بخش از فلزات که به صورت قابل دسترس در محلول خاک حضور دارند و درصدی از غلظت کل را تشکیل می‌دهند، استفاده می‌شود. پیشنهاد شده است که چنانچه غلظت فلز به شکل قابل تبادل در خاک بالاتر از ۱۰ درصد از غلظت آن به صورت کل باشد، تا حد زیادی برای جذب گیاه قابل دسترس است (Ullrich *et al.*, 1999). نتایج حاصل از مطالعه حاضر بیانگر آن است که به استثنای عنصر نیکل، درصد قابل جذب سایر فلزات بررسی شده در مناطق ۱ و ۲ بالاتر از ۱۰ درصد است (نتایج ارایه نشده است) که این موضوع می‌تواند از جمله عوامل مؤثر در قابلیت جذب و تجمع فلزات در گیاهان انتخابی این ناحیه باشد (شکل‌های ۳ و ۴). در این پژوهش، با اندازه‌گیری اسیدیته نمونه‌های خاکی، مقادیر کمتر از ۷ برای نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق ۱ و ۲ به دست آمد (نتایج مربوط به اسیدیته خاک نشان داده نشده‌اند). بنابراین، به نظر می‌رسد که یکی از عوامل مهم در افزایش درصد شکل قابل تبادل فلزات در خاک مناطق بررسی شده، pH اسیدی و در نتیجه افزایش تبادل کاتیونی و آزاد شدن کاتیون‌های فلزات سنگین به محلول خاک باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴- میانگین مقادیر الف) نیکل، ب) منگنز، ج) روی و د) آهن بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک در پوشش گیاهی در منطقه ۲. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± SD است. حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح P<۰/۰۵ است. SH و R به ترتیب بیانگر بخش هوایی و ریشه‌ای در گیاهان علفی است.

فلزات نیکل، منگنز و آهن از جمله عناصر ضروری کم مصرفی هستند که در گروه فلزات سنگین طبقه‌بندی می‌شوند. در گیاهان بیش تجمع‌دهنده کمینه میزان نیکل در بخش هوایی ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک است (Baker and Brooks, 1989). بر اساس مطالعات انجام شده جنس *Alyssum* L. از خانواده Brassicaseae بیشترین تعداد گونه گیاهی بیش تجمع‌دهنده نیکل را با توانایی رشد در خاک‌هایی با غلظت‌های بالا و در حد سمّی حاوی نیکل دارد (Reeves *et al.*, 1999). در مطالعه حاضر، فلز نیکل کمترین میزان تجمع را در نمونه‌های خاکی و گیاهی در مقایسه با سایر فلزات نشان می‌دهد (جدول ۲). به طور کلی، مقدار نیکل در نمونه‌های گیاهی انتخاب شده، در مقایسه با حد آستانه تعریف شده برای یک گیاه بیش تجمع‌دهنده بسیار کمتر است (شکل‌های ۳-الف و ۴-الف)، ولی با توجه به جدول ۳، به نظر می‌رسد که تیپ‌های درختی *P. stephaniana*، *C. erectus* و *E. camaldulensis* و تیپ علفی *T. kotschyi* قابلیت انتقال نیکل را به بخش هوایی خود دارند. برخی از مطالعات حاکی از شناسایی گونه‌های گیاهی بیش تجمع‌دهنده برای منگنز است

Archive of SID

www.SID.ir

(Reeves and Baker 2000؛ Min *et al.*, 2007). در گیاهان بیش تجمع‌دهنده میزان منگنز در بخش هوایی بیش از ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک (Baker and Brooks, 1989) و در خاک‌های نرمال مقدار آن حداکثر ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007) است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، علیرغم این که غلظت منگنز در نمونه‌های خاکی متعلق به تیپ درختی *E. camaldulensis* (شکل ۱-ب) و تیپ‌های درختی *C. erectus* و *P. spicigera* (شکل ۲-ب) در مناطق بررسی شده افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد، با این وجود، افزایش درخور توجه و معنی‌داری در تجمع منگنز در بخش هوایی گیاه علفی *T. kotschyi* نسبت به سایر گونه‌ها مشاهده می‌شود (شکل‌های ۳-ب و ۴-ب). به نظر می‌رسد که این گیاه توانایی بالایی در انتقال منگنز از خاک به بخش هوایی و تغلیظ آن داشته باشد. اگرچه با در نظر گرفتن حد آستانه برای تجمع منگنز در یک گیاه بیش تجمع‌دهنده (Baker and Brooks, 1989)، شاید نتوان گیاه علفی *T. kotschyi* را به عنوان گونه‌ای بیش تجمع‌دهنده معرفی نمود، اما با توجه به این که شاخص‌های تغلیظ زیستی و ضریب انتقال برای این فلز در گیاه یاد شده بیشتر از یک است (جدول ۳)، به نظر می‌رسد که این گیاه توانایی انتقال و تجمع منگنز را از بخش ریشه‌ای به بخش هوایی دارد و می‌تواند به عنوان گیاهی با قابلیت انباشت منگنز مطرح شود. علیرغم این که همه گیاهان انتخاب شده در این مناطق با داشتن ضریب BF بیشتر از یک، توانایی تجمع منگنز را در بخش هوایی خود دارند (جدول ۳)، اما بر اساس نتایج تصور می‌شود که تیپ‌های علفی با وجود بیوماس کمتر به علت برخورداری از BF بالاتر یا یکسان نسبت به سایر تیپ‌ها و همچنین، TF بیشتر از یک کارآیی بالاتری در انتقال منگنز از بخش ریشه‌ای به بخش هوایی و در نتیجه تغلیظ آن در بخش هوایی در مقایسه با تیپ‌های درختی و درختچه‌ای دارند که این به وضوح در رابطه با تیپ‌های علفی *T. kotschyi*، *S. soda* و *C. album* مشهود است. نتایج مشابهی برای گیاه علفی *Artrocnemum macrostachyum* در مناطق با فعالیت معدنی اسپانیا مشاهده شده است (Martinez-Sanchez *et al.*, 2012). در این گیاه، علیرغم آن که تجمع منگنز در برگ‌ها بالاست ولی کمتر از حد آستانه برای گیاه بیش تجمع‌دهنده است، با این وجود، ضریب TF بیشتر از یک برای منگنز آن را به عنوان گیاهی علفی با قابلیت تجمع فلز در بخش هوایی معرفی می‌نماید.

کمینه میزان تجمع روی در بخش هوایی گیاه برای معرفی به عنوان گیاهی بیش تجمع‌دهنده ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاهی است (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). از جمله گونه‌های بیش تجمع‌دهنده برای روی می‌توان به *Arabidopsis halleri*، *Viola calaminaria*، چند گونه متعلق به جنس *Thlaspi* (Baker and Brooks, 1989)، *Sedum afelredii* (Deng *et al.*, 2007) و *Corydalis davidii* (Lin *et al.*, 2012) اشاره نمود. بیشینه میزان طبیعی روی در خاک‌ها ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Istvan and Benton, 1997). با بررسی نمونه‌های خاکی مناطق ۱ و ۲، بیشترین مقدار روی در نمونه‌های خاکی تیپ درختی *E. Camaldulensis* و *C. erectus* سنجش شد (شکل‌های ۱-ج و ۲-ج). با این وجود، مطابق با شکل‌های ۳-ج و ۴-ج، تجمع

Archive of SID

www.SID.ir

معنی‌داری از این فلز در بخش هوایی گیاه علفی *T. kotschyi* در هر دو منطقه نسبت به سایر گونه‌ها مشاهده شد. بر اساس مقادیر BF و TF بیشتر از یک برای این گیاه (جدول ۳)، با وجود آن که میزان روی در اندام هوایی این گیاه بسیار کمتر از حد آستانه برای یک گیاه بیش تجمع‌دهنده است (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007)، اما به نظر می‌رسد که این گیاه کارآیی بالایی در انتقال و تجمع روی در بخش هوایی داشته باشد. بررسی مقادیر BF برای عنصر روی در گیاهان انتخاب شده بیانگر آن است که همه این گیاهان توانایی تجمع روی را در اندام هوایی خود دارند (جدول ۳). با این حال، با توجه به مقادیر TF (جدول ۳)، تصور می‌شود که تیپ‌های علفی *T. kotschyi* و *C. album* به شکل مؤثری قادر به انتقال و تغلیظ روی در بخش هوایی خود در مقایسه با تیپ‌های درختی و درختچه‌ای هستند. مطالعات انجام شده بر روی گیاه *Salix viminalis* (Schmidt, 2003) حاکی از آن است که برخی از گونه‌های گیاهی می‌توانند مقادیر درخور توجهی از عناصری نظیر روی را جذب و متجمع کنند، اما با توجه به شاخص‌های تعریف شده برای گیاه بیش تجمع‌دهنده (Lin *et al.*, 2012)، جزو گیاهان بیش تجمع‌دهنده طبقه‌بندی نشده، عمدتاً به عنوان گیاهانی که پتانسیل مناسبی در حذف فلزات سنگین از محیط دارند معرفی می‌شوند.

در گیاهان بیش تجمع‌دهنده آهن حد آستانه غلظت این فلز در بخش هوایی ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاهی است (Baker and Brooks, 1989). غلظت آهن در خاک تا مقادیر ۳۸۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در حد طبیعی بدون ایجاد سمّیت گزارش شده است (Istvan and Benton, 1997). نتایج حاصل از این بررسی حاکی از آن است که متوسط مقدار آهن در خاک مناطق بررسی شده به طور معنی‌داری بیش از سایر فلزات است (جدول ۲). متوسط میزان آهن در پوشش گیاهی این مناطق نیز از همین روند تبعیت می‌کند و در مقایسه با سایر فلزات، آهن بیشترین میزان تجمع را در نمونه‌های گیاهی از خود نشان می‌دهد (شکل‌های ۳-د و ۴-د). با توجه به شکل‌های ۱-د و ۲-د، علیرغم این که میزان قابل دسترس آهن در نمونه‌های خاکی متعلق به گیاهان انتخاب شده، کمتر از ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است، اما همه نمونه‌های گیاهی توانایی بالایی را در تجمع فلز در بافت‌های هوایی و ریشه‌ای خود در محدوده ۴۷۹/۹ تا ۸۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم از خود نشان می‌دهند (شکل‌های ۳-د و ۴-د). با بررسی مقادیر BF (جدول ۳)، تصور می‌شود که همه گونه‌های انتخابی شامل تیپ‌های درختی، درختچه‌ای و علفی پتانسیل بالایی در تغلیظ آهن در بخش هوایی خود دارند. مقایسه مقادیر TF در سه گونه علفی انتخاب شده در این مناطق بیانگر آن است که احتمالاً گیاه *Taraxcum*، توانایی بالایی را برای انتقال آهن از ریشه به بخش هوایی در مقایسه با دو تیپ علفی دیگر دارد (جدول ۳). نتایج مشابهی در تجمع آهن برای گیاهان علفی *Zygophyllum fabago* و *A. macrostachyum* گزارش شده است (Martinez-Sanchez *et al.*, 2012). این مطالعات حاکی از آن است که گیاهان اشاره شده اگرچه بیش تجمع‌دهنده آهن نیستند، اما با توجه به ضرایب BF و TF بیشتر از یک می‌توانند مقادیر بالایی از آهن را در بخش هوایی خود ذخیره کنند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- مقادیر عامل تغلیظ زیستی (BF) و عامل انتقال (TF) در مناطق ۱ و ۲. مقادیر میانگین ۳ تکرار ± SD است. حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح P<۰/۰۵ است.

شماره گونه‌ها	عامل تغلیظ زیستی (BF)			
	Ni	Mn	Zn	Fe
۱	۶/۳۴ ±۱/۲۹^{a}	۴/۲۷ ± ۱/۳۵^{a}	۱۱/۱۳ ± ۲/۶۶^{b}	۳۳/۲۵ ± ۰/۵۷^{a}
۲	ناچیز^{b}	۲/۳۰ ± ۰/۳۹^{b}	۴/۳۲ ± ۰/۱۴^{c}	۲۴/۴۲ ± ۳/۹۸^{a}
۳	۵/۸۳ ± ./۶^{a}	۲/۳۲ ± ۰/۳۱^{b}	۲۳/۳۶ ± ۰/۸۱^{a}	۲۸/۴۵ ± ۰/۵۳^{a}
۴	۴/۸۰ ± ۱/۳^{a}	۴/۴۸ ± ۰/۲۷^{a}	۲۰/۳۴ ± ۱/۲۰^{a}	۲۸/۵۷ ± ۰/۰۸^{a}
۵	۰/۳۵ ± ۰/۶۱^{b}	۲/۵۲ ± ۰/۱۶^{b}	۱۱/۱۶ ± ۰/۴۶^{b}	۲۸/۰۸ ± ۱/۲۳^{a}
۶	۸/۰۹ ± ۳/۹۳^{a}	۳/۳۳ ± ۰/۱۱^{c}	۷/۹۹ ±۰/۲۹^{b}	۳۳/۷۳ ± ۰/۸۹^{b}
۷	۱۷/۷۵ ± ۱۳/۵^{a}	۳/۴۹ ± ۰/۲۳^{c}	۱۴/۶۴ ± ۲/۷۰^{b}	۴۷/۷۸ ± ۱/۵۵^{b}
۸	۱/۱۰ ± ۱/۱۱^{b}	۳/۴۱ ± ۰/۱۷^{c}	۳۴/۸۹ ± ۲/۷۴^{a}	۹۳/۴۳ ± ۱/۷۱^{a}
۹	۱۱/۷۲ ± ۶/۴۱^{a}	۶/۹۷ ± ۰/۱۳^{b}	۲۲/۸۱ ± ۱/۶۴^{a}	۴۲/۴۰ ± ۱/۸۲^{b}
۱۰	۱/۰۲۱ ± ۱/۷۶^{b}	۹/۹۲ ± ۲/۰۹^{a}	۳۲/۳۶ ± ۰/۴۴^{a}	۴۴/۲۶ ± ۱/۱۵^{b}
۱۱	۷/۰۱ ± ۷/۷۹^{a}	۶/۴۳ ± ۰/۰۸^{b}	۱۶/۶۰ ± ۲/۷۶^{b}	۴۵/۵۳ ± ۰/۹۶^{b}
شماره گونه‌ها	عامل انتقال (TF)			
	Ni	Mn	Zn	Fe
۱	–	–	–	–
۲	–	–	–	–
۳	–	–	–	–
۴	۶/۸۳ ± ۱/۰۳^{a}	۲/۸۲ ± ۱/۰۲^{b}	۱/۷۳ ± ۰/۰۸^{b}	۱/۴۹ ± ۰/۰۴^{b}
۵	۰/۳۳ ± ۰/۴۷^{b}	۲/۷۶ ± ۰/۳۹^{b}	۰/۹۲ ± ۰/۰۰۱^{c}	۱/۰۱ ± ۰/۵۵^{b}
۶	–	–	–	–
۷	–	–	–	–
۸	–	–	–	–
۹	۱/۴۶ ± ۱/۷۴^{b}	۱/۳۹ ± ۰/۰۲۶^{b}	۱/۷۱ ± ۰/۰۲^{c}	۲۵/۵۸ ± ۷/۸۶^{a}
۱۰	۰/۵۲ ± ۰/۹۱^{b}	۵ ± ۰/۶۲^{a}	۳/۶۶ ± ۰/۶۰^{a}	۱/۱۹ ± ۰/۱۴^{b}
۱۱	–	–	–	–

جمع‌بندی

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، به نظر می‌رسد که گیاهان انتخاب شده با توجه به شاخص‌های تعریف شده برای گیاهان بیش تجمع‌دهنده نمی‌توانند در این گروه طبقه‌بندی شوند، اما با در نظر گرفتن ضریب تغلیظ زیستی (BF) و عامل انتقال (TF) تقریباً همه این گونه‌ها پتانسیل بالایی در انتقال و انباشت فلزات مورد مطالعه در بخش هوایی خود دارند (به ویژه تیپ‌های علفی علیرغم داشتن بیوماس کمتر) و می‌توان آنها را در گروه گیاهان تجمع‌دهنده قرار داد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که کاشت این گیاهان در این مناطق می‌تواند راهکاری مناسب برای کاهش فرسایش خاک

Archive of SID

www.SID.ir

و نشت فلزات به اعماق خاک و آب‌های زیرزمینی باشد. همچنین، تصور می‌شود که با شناسایی گونه‌هایی که دارای چنین پتانسیلی هستند، گام بعدی کشت گلدانی و آب کشتی این گونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی برای ارزیابی دقیق‌تر از کارآیی آنها در پاکسازی محیط از فلزات سنگین باشد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر، از هزینه پژوهانه دوره کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است. از معاونت پژوهشی و گروه‌های زیست‌شناسی و شیمی دانشگاه شهید چمران اهواز و حمایت مالی این دانشگاه برای یاری در انجام این تحقیق و فراهم نمودن تسهیلات تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Adriano, D. C. (1986) Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, New York.

Alloway, B. J., Jackson, A. P. and Morgan, H. (2005) The accumulation of cadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of sources. Society of Environment 91: 223-236.

Baker, A. J. M. and Brooks, R. R. (1989) Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements and review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery 1: 81-126.

Boularbah, A., Schwartz, Ch. and Bitton, G. (2005) Heavy metal contamination from mining sites in south Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. Chemosphere 63: 811-817.

Branquinho, C., Serrano, H. C., Pinto, M. J. and Martins-Loucao, M. A. (2006) Revisiting the plant hyperaccumulation criteria to rare plants and earth abundant elements. Environmental Pollution Journal 146: 437-443.

Buszewski, B., Jastrzebska, A., Kowalkowski, K. and Gorna-Binkul, A. (2000) Monitoring of selected heavy metals uptake by plants and soils in the area of Torub, Poland.Polish Journal of Environmental Studies 9: 511-515.

Chaney, R. L. M., Malik, Y. M., Li, S. L., Brown, Y. A. and Baker, A. J. M. (1997) Phytoremediation of soil metals. Current Opinion in Biotechnology 8: 279-284.

DeVos, C. H. R., Schat, H., De Waal, M. A. M., Voojs, R. and Ernst, W. H. O. (1991) Increased resistance to copper-induced damage of root cell plasmalemma in copper tolerant *Silene cucubalus*. Physiologia Plantarum 82: 523-528.

Deng, D. M., Shu, W. S., Zhang, J., Zou, H. L., Lin, Z., Ye, Z. H. and Wong, M. H. (2007) Zinc and cadmium accumulation and tolerance in populations of *Sedum alferedii*. Environmental Pollution 147: 381-386.

Freeman, J. L., Persans, M. W., Nieman, K., Albrecht, C., Peer, W., Pickering, I. J. and Salt, D. E. (2004) Increased glutathion biosynthesis plays a role in nickel tolerance in Thlaspi nickel hyperaccumulators. Plant Cell 16: 2176-2191.

Gasparatos, D., Myloni, D., Haidouti, C. and Massas, I. (2001) Heavy metal distribution in soils from eleonas area, Athens, Greece in relation to land use. XXXI Annual ESNA Meeting, Chania, Greece .

Hozhina, E. I., Khramov, A. A. and Gerasimor, P. A. (2004) Uptake of heavy metals, arsenic, and antimony by aquatic plants in the vicinity of ore mining and processing industries. Journal of Geochemical Exploration 74: 153-162.

Istvan, P. and Benton, J. (1997) Trace

Archive of SID

www.SID.ir

elements. Lucie Press, Boca Raton, Florida.

Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A. B. (2007) Trace elements from soil to human. Springer-Verlag, Heidelberg.

Komar, L., Tu, C., Zhang, W., Cai, Y. and Kennelley, E. K. (2001) A fern that hyperaccumulates arsenic. Nature Journal 409: 579-585.

Lin, W., Xiao, T., Wu, Y., Ao, Z. and Ning, Z. (2012) Hyperaccumulation of zinc by *Corddalis davidii* in Zn-polluted soils. Chemosphere 86: 837-842.

Lindsay, W. L. and Norvell, W. A (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of American Journal 42: 421-428.

Lorestani, B., Cheraghi, M. and Yousefi, N. (2011) Introduction potential of lead-zinc mine in Iran. World Academy of Science, Engineering and Technology 77: 163-168.

Martinez-Sanchez, M., Garcia-Lorenzo, M., Perez-Sirvent, C. and Bench, J. (2012) Trace element accumulation in plants from an aridic area affected by mining activities. Journal of Geochemical Exploration 10: 1016-1027.

McGrath, S. P. and Zhao, F. J. (2003) Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. Current Opinion Biotechnology 14: 277-282.

Miclean, M., Roman, C. and Levei, E. (2007) Heavy metals availability for plants in a mining area from North-Western Romania. Chemical Speciation and Bioavailability 1: 11-25.

Min, Y., Boqing, T., Meizhen, T. and Aoyama, I. (2007) Accumulation and uptake of manganese in a hyperaccumulator Phytolacca Americana. Minerals Engineering 20: 188-190.

Papafilippaki, A., Velegraki, D., Vlachaki, C. and Stavroulakis, S. (2008) Levels of heavy metals and bioavailability in soils from the industrial area of Heraklion-Crete, Greece. Proceedings of the Protection and Restoration of the Environment 29: 6-10.

Parizanganeh, A., Hajisoltani, P. and Zamani, A. (2010) Assesment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding zinc industrial complex. Procedia Environmental Sciences 2:162-166.

Reeves, R. D. and Baker, A. J. M. (2000) Metal-accumulating plants. In: Phytoremediation of toxic metals (Eds. Raskin, I. and Ensley, B. D.) 193-229. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Reeves, R. D., Baker, A. J. M., Borhidi, A. and Berazain, R. (1999) Nickel hyper accumulation in the serpentine flora of Cuba. Annals of Botany 83: 29-38.

Schmidt, U. (2003) Enhancing phytoextraction: the effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. Journal of Environmental Quality 32: 1939-1954.

Taylor, G. J. (1987) Exclusion of metals from the symplasm: a possible mechanism of metal tolerance in higher plants. Journal of Plant Nutrition 10: 1213-1320.

Ullrich, S. M., Ramsey, M. H. and Helios-Rybicka, E. (1999) Total and exchangeable concentrations of heavy metals in soils near Bytom, an area of Pb/Zn mining and smelting in Upper Silesia, Poland. Applied Geochemistry 14: 187-196.

Yang, X. E., Baligar, V. C. and Clarl, R. B. (1996) Cadmium effects on influx and transport of mineral nutrients in plants species. Journal of Plant Nutrition 19: 643-656.

Yanqun, Z., Yuana, L., Schvartz, C., Langlade, L. and Fand, L. (2004) Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead-zinc mine area, China. Environment International 30: 567-576.

Archive of SID

www.SID.ir

Comparison of potentiality of heavy metals accumulation in the plants surrounding steel industries in the Mahshahr-Bandar Imam road, Ahvaz

Parzhak Zoufan [1]*, Atefeh Saadatkhah [1] and Saadat Rastegharzadeh [2]

[1] Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
[2] Department of Chemistry, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Archive of SID

Abstract

Plants use of water, air and soil plays an important role in changing ecological conditions. Therefore, the plants could be used to purity ecosystems from various pollutions such as heavy metal. In this study, heavy metals concentration such as, Ni, Mn, Zn, Fe and Pb in the plants and soils surrounding steel production industries in east west of Ahwaz city in the Mahshahr-Bandar Imam road was investigated. The results indicated that average bioavailable metal concentration in soil samples changes as Fe> Mn> Zn> Ni> Pb ($mg.kg^{-1}$). The maximum value of Fe was measured in the shoot of *Taraxacum kotschyi* (891 $mg.kg^{-1}$ DW) as a herb and *Conocarpus erectus* (860.63 $mg.kg^{-1}$ DW) as a tree, Zn and Mn maximum was assayed in the shoot of *T. kotschyi* with 108.63 and 93.90 $mg.kg^{-1}$ DW, respectively. Also, the maximum concentration of Ni was measured in tree type of *Eucalyptus camaldulensis* with 10.86 $mg.kg^{-1}$ DW value. The Pb concentration was not determinable in plant and soil samples. The results of bioconcentration factor and translocation factor indicated that these factors were higher than 1 in most of the cases. Based on the study, it seemed that mentioned metal concentration in plants was lower than defined as threshold in a hyperaccumulator plant. However, it could be assumed that selected plants would be able to accumulate metal in shoot.

Key words: Accumulation, Translocation factor, Bioconcentration factor, Heavy metals

* Corresponding Author: p.zoufan@scu.ac.ir

www.SID.ir