نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دوم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۱

ISSN 2251-7480

ارزیابی توان بیش‌اندوزی گیاه شاهی برای پالایش گیاهی خاک‌های آلوده به کادمیم

فرانک محمدی‌پور[۱] و صفورا اسدی کپورچال[۲*]

۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ واحد علوم و تحقیقات؛ گروه خاکشناسی؛ تهران؛ ایران

۲*) استادیار گروه خاکشناسی؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه گیلان؛ گیلان؛ ایران؛ نویسنده مسئول مکاتبات: safooraasadi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۶/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۳۰

چکیده

آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از چالش‌های مهم در ارتباط با حفاظت منابع آب و خاک است. کادمیم یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی است که با توجه به تحرّک خیلی زیاد در چرخه خاک- گیاه- انسان و اثرات نامطلوبی که بر انسان و حیوان دارد، پالایش آن از خاک‌های آلوده بسیار ضروری است. یکی از راه‌های آلودگی‌زدایی خاک گیاه پالایی است که در آن از گیاهان بیش‌اندوز برای جذب آلاینده‌ها از خاک‌های آلوده استفاده می‌شود. هدف از انجام این پژوهش، بررسی امکان آلودگی‌زدایی کادمیم از خاک با استفاده از گیاه شاهی بود. بدین منظور، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تیمار شامل شاهد، ۳، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم کادمیم در هر کیلوگرم خاک و ۴ تکرار در گلخانه اجرا گردید. پس از طی دوره رشد، گیاهان از خاک برداشت و غلظت کادمیم تجمع یافته در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه و همچنین خاک تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تمام تیمارها با افزایش غلظت کادمیم در خاک، مقدار جذب کادمیم در ریشه افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت کادمیم در خاک، غلظت کادمیم در اندام هوایی ۱۹/۳ و در ریشه حدود ۳۴ برابر شد. این نتایج نشان دهنده توانایی زیاد ریشه و اندام هوایی شاهی برای جذب کادمیم از خاک‌های آلوده است. مجموع میانگین مقادیر کادمیم جذب شده در ریشه ۶۵/۱۸ و در اندام هوایی ۶۰/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. همچنین، با افزایش غلظت کادمیم، زمان لازم برای پالایش گیاهی نیز افزایش یافته و کمترین زمان لازم مربوط به پالایش غلظت ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بنابراین با توجه به اینکه شاهی گیاهی با دوره رشد نسبتاً کوتاه و عملکرد بالا می‌باشد، می‌توان از این گیاه به عنوان گیاهی بیش‌اندوز برای پالایش خاک‌های آلوده به کادمیم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک؛ پالایش گیاهی؛ فلزات سنگین؛ کادمیم

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مشکلات اساسی زیست‌بوم است. عمده‌ترین منابع رهاسازی فلزات سنگین به خاک مربوط به فعالیت‌های صنعتی از قبیل معدن کاوی، ذوب فلزات، صنایع آبکاری، فلزکاری، مصرف سوخت، تخلیه فاضلاب و انهدام زباله، کاربرد آفت‌کش‌ها، کودها و لجن فاضلاب مصرفی در بخش کشاورزی می‌باشد (داوری و همکاران، ۱۳۸۹). خاک به‌عنوان صبورترین جزء طبیعت، دیرتر از سایر اجزاء، اختلالات ناشی از آلودگی را بروز می‌دهد. در چند دهه اخیر، آلودگی خاک با فلزات سنگین به‌علت تخلیه زباله و فاضلاب از منابع انسانی، به‌طور چشم‌گیری رو به افزایش بوده است (Ghosh and Singh, 2005). این وضعیت به‌علت اثرات اکولوژیک زیان‌بار آلاینده‌ها، پی‌آمدهای زیست‌محیطی خطرناکی را در پی

دارد (Atafar *et al*., 2010; Jafarnejadi *et al*., 2011). رایج‌ترین فلزات سنگین موجود در مناطق آلوده، کادمیم، سرب، کروم، مس و نیکل می‌باشند. در این میان کادمیم و سرب از مهم‌ترین آلاینده‌های سمی بوده که از منابع مختلف و به روش‌های گوناگون مانند عملیات مختلف زراعی (کودپاشی- سم‌پاشی)، استخراج معدن، فعالیت‌های صنعتی و یا از طریق اگزوز اتومبیل به محیط- زیست، گیاهان و زنجیره غذایی وارد می‌شوند (Asadi *et al*., 2009؛ دلالیان و همایی، ۱۳۸۹). کودهای فسفری دارای مقادیر زیادی کادمیم هستند که باعث تجمع این فلز در خاک می‌شوند (Huang *et al*., 2004; Asadi *et al*., 2011). برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک وجود دارد. پالایش گیاهی یکی از روش‌های بیولوژیک، ساده، ارزان و دوست‌دار محیط‌زیست بوده که در آن از گیاهان برای زدودن آلودگی از خاک استفاده می‌شود. استخراج مؤثر فلزات سنگین با استفاده از گیاهان بیش‌اندوز به عمق‌های کمتر از ٢٤ اینچ محدود می‌شود. چنانچه آلودگی در اعماق بیشتر باشد می‌توان از درختان با ریشه‌های عمیق استفاده کرد (Pulford and Watson, 2003). تاکنون، در حدود ٤٠٠ رده گیاهان خاکزی، متعلق به ٤٥ خانواده بیش-اندوز فلزات سنگین مختلف شناخته شده‌اند (Baker and Brooks, 1989).

موفقیت در پالایش گیاهی به شناسایی گونه‌های گیاهی با تولید زیست‌توده بالا که قادر به ذخیره فلزات سنگین هستند وابسته است (Pulford and Watson, 2003). گیاهان متداول برای تجمع فلزات شامل آفتاب‌گردان (*Helianthus annuus*)، ذرت (*Zea mays*)، نخودفرنگی (*Pisum sativum*) و درخت خردل (*B.juncea*) هستند (Huang *et al*., 1997; Epstein *et al*., 1999). تمام این گیاهان جزء گیاهان غیرنمک دوست طبقه‌بندی می‌شوند. خانواده‌های زیادی از گیاهان آوندی به‌عنوان بیش‌اندوز فلزات شناخته شده‌اند که تعداد زیادی از آنها به خانواده چلیپائیان تعلق دارند (Mudgal *et al*., 2010).

گیاه پالایی از دیدگاه‌های متفاوتی توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهشی عربی و همکاران (۱۳۸۹)، اثر افزودن کی‌لیت طبیعی اسید سیتریک و کی‌لیت‌های مصنوعی HEDTA و EGTA در محلول کردن کادمیم در خاک‌هایی که به‌صورت مصنوعی آلوده شده‌اند و نیز توانایی آنها در افزایش پالایش گیاهی کادمیوم را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داده که کی‌لیت‌های مصنوعی نسبت به اسید سیتریک که یک کی‌لیت طبیعی است حلالیت را بیشتر افزایش می‌دهد و در این میان، کی‌لیت مصنوعی HEDTA در استخراج گیاهی بسیار تواناتر بوده و درنتیجه باعث جذب بیشتر کادمیم می‌شود. عیسی‌زاده لزرجان و همکاران (۱۳۸۹) توانایی گیاهان پیازچه و اسفناج برای پالایش گیاهی خاک‌های آلوده به کادمیوم ناشی از مصرف کودهای فسفاته را بررسی کردند. مقایسهٔ توان بیش اندوزی این دو گیاه نشان داد که پیازچه از توانایی بیشتری برای استخراج گیاهی کادمیم برخوردار است.

در پژوهشی دیگر که با هدف ارزیابی کارآیی EDTA و NTA در افزایش غلظت سرب محلول در خاک و مقایسه اثرات آنها بر مقدار جذب سرب توسط گیاه شاهی انجام گردید، نتایج نشان داد که استفاده از اسیدهای آمینو- پلی‌کربوکسیلیک موجب افزایش غلظت سرب محلول در خاک و سپس جذب توسط ریشه و انتقال آن به شاخساره شاهی می‌شود و مصرف این ترکیبات باعث افزایش بازده و کاهش زمان آلودگی‌زدایی سرب از خاک شد و در این رابطه تأثیر EDTA بیشتر از NTA می‌باشد (بابائیان و همایی، ۱۳۸۹). همچنین، در پژوهش دیگری بررسی افزایش کارآیی استخراج گیاهی سرب از خاک به‌وسیله گیاه هویج با کاربرد کی‌لیت‌های طبیعی و سنتزی نشان داد که تأثیر EDTA بیشتر از NTA و اسید اگزالیک بود (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۱). تحقیقات انجام شده در

خصوص ارزیابی ویژگی‌های مؤثر خاک بر وضعیت غلظت کادمیم در خاک نشان داد که ویژگی‌های ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار مواد آلی خاک نسبت به سایر ویژگی‌های خاک بر میزان حلالیت کادمیم خاک (کل و قابل جذب) تأثیر بیشتری داشته و مواد آلی بر خلاف مقدار اندک، نقش مهمی را در حلالیت کادمیم در خاک‌های مورد مطالعه دارند (جعفرنژادی و همکاران، ۱۳۹۱).

از دیدگاه مدل‌سازی، مدل‌های پالایش سبز به‌منظور شناخت بیشتر فرآیندهای حاکم بر پدیده‌ی پالایش و مدیریت خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از اهمیت به‌سزایی برخوردار بوده و پژوهشگران مختلفی در این زمینه کار کرده‌اند. خداوردی‌لو و همایی (۱۳۸٦) مدل نوینی برای پالایش سبز خاک‌های آلوده به کادمیم و سرب ارائه دادند. بدین منظور، نظریه نوینی بر مبنای رفتار خاک و گیاه در برابر آلاینده ارائه شد که در آن هم‌دمای برون جذبی خاک بیانگر رفتار خاک در برابر آلاینده و تغییرات نرخ جذب آلاینده به‌وسیله گیاه، بارتاب رفتار گیاه در برابر آلاینده در نظر گرفته شد و مدل ساده‌ای برای برآورد زمان لازم برای پالایش آلاینده به‌دست آمد. با استفاده از نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مدت زمان لازم برای پالایش سبز سرب از خاک توسط شاهی و اسفناج قابل برآورد بوده لیکن، تئوری ارایه شده قادر به برآورد دقیق زمان لازم برای پالایش سبز کادمیم از خاک نبوده و فقط برای دست‌یابی به برآوردهای کلّی از زمان لازم برای پالایش سبز کادمیم توسط گیاهان فوق پیشنهاد گردید. دلالیان و همایی (۱۳۸۹)، در پژوهشی زمان پالایش سبز خاک‌های آلوده به کادمیم و مس را با استفاده از گیاه مریم گلی بررسی کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که نرخ پالایش سبز کادمیم و مس به وسیله این گیاه تابع مرتبه صفر از غلظت آن‌ها در خاک است. همچنین نتایج این پژوهش بیانگر کارآیی بالای مدل‌های پیشنهادی با همدمای برون جذبی خطی در برآورد زمان پالایش سبز کادمیم و مس از خاک بود. بر پایه نتایج ارزیابی کمّی اعتبار مدل‌های برازش داده شده بر هم‌دمای برون‌جذبی کادمیم و مس، مدل خطی و فروندلیچ برای پیش‌بینی هم‌دمای برون‌جذبی کادمیم و مس در خاک کارآمدتر می‌باشند. داوری و همایی (۱۳۹۰) با ترکیب توابع ضرب پذیر کاهش عملکرد و غلظت نسبی آلاینده‌های نیکل و کادمیم در گیاه، مدل نوینی برای برآورد مقدار گیاه‌پالایی توأمان این دو آلاینده از خاک ارائه دادند. نتایج آنها نشان داده که مدل پیشنهادی که از ترکیب توابع ضرب پذیر بدون آستانه عملکرد نسبی و غلظت نسبی آلاینده‌ها در گیاه اشتقاق یافته بود در برآورد مقدار پالایش آلاینده‌ی نیکل از خاک کارآیی بالایی داشته، لیکن مدل پیشنهادی تنها برای برآوردهایی کلّی از مقدار گیاه‌پالایی کادمیم به‌وسیله کلم زینتی کارایی داشت (داوری و همایی، ۱۳۹۰).

بررسی‌های انجام شده نشان دهنده این است که نرخ جذب و تجمع کادمیم در اندام‌های خوراکی سبزی‌ها بیشتر از سایر گیاهان است (Mudgal *et al*., 2010). شاهی (ترتیزک)، با نام علمی (*Lepidium sativum*)، گیاهی است یک‌ساله با ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر از خانواده چلیپاییان[1]، بومی اروپای مرکزی که در نواحی مختلف ایران نیز پرورش می‌یابد. نظر به اینکه تحقیقات انجام شده در مورد پالایش گیاهی در ایران چندان فراوان نیست و یافته‌های موجود در مراکز علمی در زمینه پتانسیل جذب فلزات سنگین و آلاینده‌های دیگر به وسیله گیاهان کم می‌باشد، در نتیجه انجام تحقیقات در زمینه پالایش گیاهی با هدف معرفی روش‌های نوین پالایش و انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب، لازم و ضروری است. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی توان بیش‌اندوزی گیاه شاهی برای پالایش گیاهی خاک‌های آلوده به کادمیم و تعیین میزان جذب کادمیم به وسیله این گیاه بود.

مواد و روش‌ها

[1] Brassicaceae

پژوهش به صورت کشت گلخانه‌ای و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ٦ تیمار و ٤ تکرار طراحی گردید. اثر مقدار کادمیم موجود در خاک بر میزان جذب کادمیم در ٦ سطح شاهد، ۳، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک بررسی گردید. به منظور پالایش گیاهی از گیاه شاهی استفاده شد. بافت خاک مورد آزمایش برای کاشت شاهی، لوم رسی بود. به‌منظور تجزیه خاک، مقداری از خاک هوا خشک مورد نظر، با الک ٤ میلی‌متری، الک شده و برای انجام آزمایش‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شد. واکنش گل اشباع با دستگاه pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت سنج، فراوانی نسبی ذرات شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش جایگزینی کاتیون‌ها با استات سدیم، مقدار ماده آلی خاک به روش واکلی و بلاک و غلظت کادمیم کل در خاک با استفاده از روش عصاره‌گیری به‌دست آمد. نتایج حاصل از این تجزیه ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

پارامتر اندازه‌گیری در خاک	مقدار اندازه‌گیری شده
%N	۱۴۸
Na^{+} (mg/kg)	۲۹۳
K^{+} (mg/kg)	۱۰۲
Mg^{++} (mg/kg)	۱/۱۵
P^{+} (mg/kg)	۲/۲
O.C	۰/۱۵
CEC	۱۲/۹
EC (ds/m)	۱/۷
pH	۷/۵
ρb (g/cm³)	۱/۵
بافت	لوم رسی

در این پژوهش گلدان‌هایی با ارتفاع ۳۰ و قطر ۲۲ سانتی‌متر انتخاب شده و برای آلوده‌سازی جرم مشخصی از خاک ابتدا مقدار لازم نمک حاوی کلرور کادمیم محاسبه و به نمونه های خاک اضافه گردید. در هر گلدان ۸ کیلوگرم خاک ریخته و با کوبیدن، خاک را متراکم کرده بطوری‌که جرم ویژه ظاهری آن ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در هر گلدان گردید. سپس به‌منظور ایجاد تعادل بین آلاینده و خاک، گلدان‌ها را به مدت ده هفته (٤۵ روز) در شرایط رطوبت ظرفیت زراعی قرار داده و پس از گذشت این مدت، بذرهای شاهی درگلدان‌ها کاشته شد. تراکم کشت برای هر گلدان ده بوته در نظر گرفته شد. برای این منظور پس از استقرار جوانه‌ها، عمل تنک کردن تا حدّ تراکم مطلوب انجام گرفت. به‌منظور کاهش مقدار تبخیر از سطح خاک، رویه خاک با سنگریزه پوشانده شده و برای جلوگیری از هر گونه تنش رطوبتی، گیاهان با آب غیر شور و غیر آلوده تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی، آبیاری شدند. وزن هر گلدان در حد رطوبت ظرفیت زراعی بر روی آن‌ها یادداشت و برای حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، با توزین گلدان‌ها و محاسبه اختلاف وزنی آن با هنگامی که در حالت ظرفیت زراعی است، کمبود آب از طریق آبیاری جبران شد. در نتیجه مقدار تعرّق گیاهان هم با توزین روزانه گلدان‌ها به دست آمد. برای محاسبه مقدار تبخیر، گلدان‌هایی بدون گیاه (شاهد) در بین گلدان‌های آزمایش قرار داده و مقدار تعرّق در هر گلدان با مشخص بودن مقدار تبخیر در گلدان‌های شاهد، محاسبه شد. در حین آزمایش، مراقبت‌هایی برای کنترل دمای گلخانه و سم‌پاشی علیه آفات و بیماری‌ها صورت گرفت. در بازه‌های زمانی مناسب، برای انجام تجزیه‌های شیمیایی مختلف، از گیاه و خاک گلدان نمونه‌برداری شد. نمونه‌های گیاهی پس از برداشت، سه بار با آب معمولی و دو بار با آب مقطر شسته و به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند. نمونه‌های خشک شده به وسیله آسیاب برقی با محفظه استیل، آسیاب شدند. غلظت کادمیم گیاه با روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد (Gupta, 2000). اندازه‌گیری غلظت کادمیم در نمونه‌های خاک و گیاه با دستگاه‌های جذب اتمی (Shimadzu AA-670G) و پرتوسنجی نشری پلاسمایی جفت شده القایی

(Varian Vista-PRO) انجام شد. نمونه‌هایی که غلظت فلز در آنها از محدوده حساسیت دستگاه جذب اتمی کمتر بود با استفاده از دستگاه پرتوسنجی نشری پلاسمایی جفت شده القایی قرائت شدند. در نهایت به منظور بررسی اثر میزان کادمیم موجود در خاک بر جذب توسط بخش‌های مختلف گیاه، شامل اندام‌های هوایی و ریشه‌ها و دستیابی به مناسب‌ترین تیمار برای پالایش گیاهی، داده‌ها تجزیه شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ١٦) استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون‌های چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش غلظت کادمیم در خاک، کادمیم جذب شده به وسیله ریشه افزایش یافته است. هنگامی که غلظت کادمیم افزوده شده به خاک، صفر است، کادمیم موجود در ریشه ۱/۰۳ میلی‌گرم بود. با افزایش غلظت کادمیم در خاک، کادمیم در ریشه افزایش یافته و در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، مقدار کادمیم موجود در ریشه به ٣٤/٨٢ رسید. به‌عبارت دیگر، با افزایش غلظت کادمیم در خاک، غلظت کادمیم در ریشه حدود ٣٤ برابر شده است و می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت کادمیم در خاک، تمایل ریشه شاهی برای جذب کادمیم افزایش می‌یابد. نتایج تجزیه واریانس مقدار کادمیم در ریشه و اندام هوایی شاهی با توجه به غلظت‌های مختلف کادمیم در خاک در جدول های ۲ و ۳ آمده است و بیانگر آن است که بین مقادیر مختلف کادمیم موجود در ریشه و اندام هوایی، در غلظت‌های مختلف کادمیم خاک اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس کادمیم موجود در ریشه با توجه به مقادیر مختلف کادمیم در خاک

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	۳۲۶۸/۲۲۵	۵	۶۵۳/۶۴۵	۱۶۹/۱۹۶	۰/۰۰۱
Within Groups	۶۹/۵۳۸	۱۸	۳/۸۶۳		
Total	۳۳۳۷/۷۶۴	۲۳			

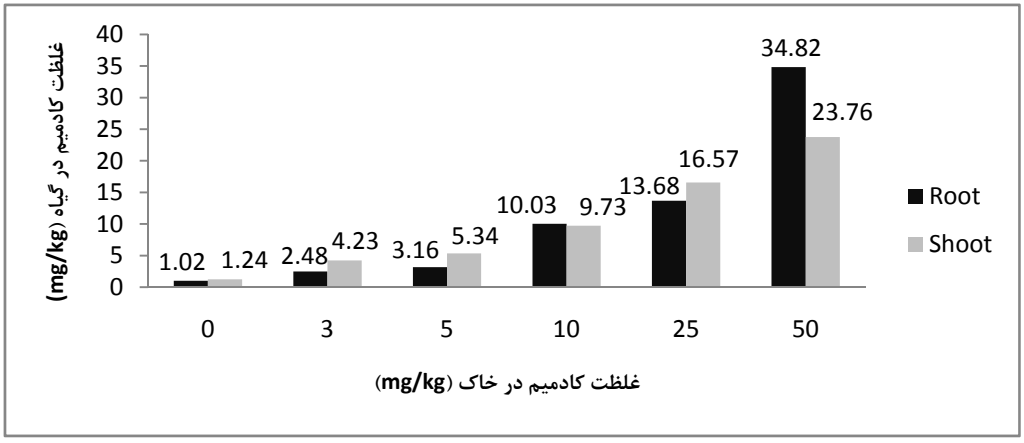
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس کادمیم موجود در اندام هوایی با توجه به مقادیر مختلف کادمیم در خاک

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	۱۴۵۷/۳۲۰	۵	۲۹۱/۴۶۴	۳۴۶۴۶/۰۸۴	۰/۰۰۱
Within Groups	۰/۱۵۱	۱۸	۰/۰۰۸		
Total	۱۴۵۷/۴۷۲	۲۳			

شکل ۱، مقدار کادمیم جذب شده به وسیله ریشه و اندام هوایی گیاه را با توجه به غلظت‌های مختلف کادمیم در خاک نشان داده و بیانگر تمایل زیاد ریشه شاهی به جذب کادمیم است. همچنین، با افزایش غلظت کادمیم در خاک، جذب به وسیله اندام هوایی گیاه نیز افزایش می‌یابد به‌طوریکه در تیمار شاهد، کادمیم موجود در ساقه ١/٢٤ بوده و با افزایش مقدارکادمیم تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، مقدارکادمیم در اندام هوایی به ٢٣/٧٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسید. به عبارت دیگر با افزایش غلظت از صفر تا ۵۰، مقدار کادمیم در اندام هوایی تقریباً ۱۹ برابر می‌شود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که با افزایش غلظت کادمیم در خاک، انتقال کادمیم به اندام هوایی شاهی بیشتر شده و در نتیجه گیاه شاهی، کادمیم بیشتری را جذب و ذخیره می‌کند. پژوهش‌های انجام شده توسط سایر پژوهشگران نتایج

مشابهی که بیانگر ارتباط مستقیم بین غلظت کادمیم تجمع یافته در گیاهان و غلظت کادمیم در خاک می‌باشد را نشان داده است. به‌طوری‌که با افزایش غلظت کادمیم در خاک مقدار کادمیم جذب شده به وسیله ریشه نسبت به اندام هوایی افزایش بیشتری می‌یابد (عیسی‌زاده لرزجان و همکاران، ۱۳۸۹؛ خداوردی لو و همایی، ۱۳۸٦؛ Khodaverdiloo and Homaee, 2008).

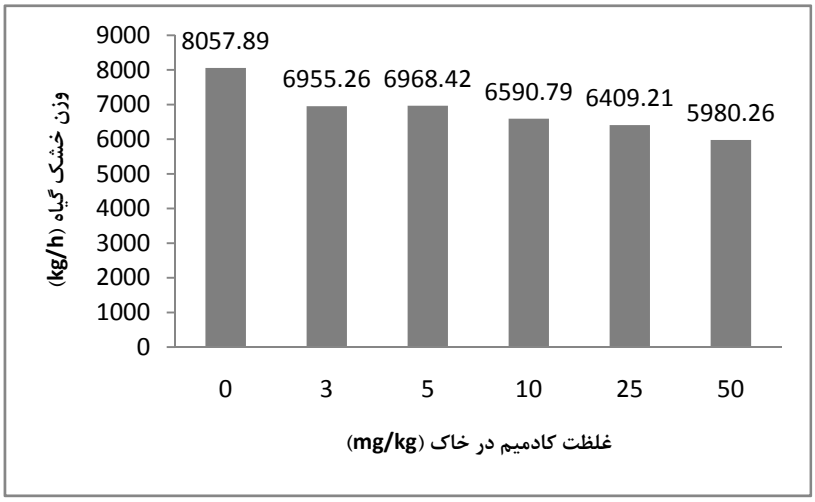
با توجه به این که میزان جذب کادمیم به وسیله گیاه به مقدار کادمیم قابل دسترس در خاک بستگی دارد و از آنجا که با افزایش غلظت کادمیم در خاک، جذب افزایش یافته است، بنابراین تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کادمیم برای گیاه، قابل دسترس می‌باشد و از ریشه به اندام هوایی منتقل می‌گردد. مقایسه مقدار کادمیم جذب شده به‌وسیله ریشه و اندام هوایی شاهی در غلظت‌های مختلف نشان دهنده آن است که در غلظت صفر، ۳ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مقدار کادمیم در اندام هوایی، بیشتر از ریشه است (شکل ۱). مقدار کادمیم در اندام هوایی، در غلظت صفر، ۰/۲ در غلظت ۳، ۱/۷۵ و در غلظت ۵، ۲/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، بیشتر از مقدار کادمیم برداشت شده به وسیله ریشه است و می‌توان گفت که در این غلظت‌ها، ریشه توانایی بیشتری در انتقال کادمیم به اندام هوایی نسبت به ذخیره کادمیم در خود، دارد. در غلظت ۱۰، بین مقدار کادمیم موجود در ریشه و اندام هوایی اختلافی اندک (حدود ۰/۳) وجود دارد و می‌توان نتیجه گرفت که در این غلظت، تمایل ریشه به جذب و انتقال کادمیم به اندام هوایی تقریباً برابر است. در غلظت ۲۵، کادمیم موجود در ساقه ۲/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشتر از مقدار کادمیم در ریشه می‌باشد که ناشی از انتقال بیشتر کادمیم به اندام هوایی نسبت به ذخیره آن در ریشه است. لیکن، در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کادمیم اندام هوایی نسبت به ریشه کاهش یافته است و این اختلاف غلظت چیزی در حدود ۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که علت آن ترسیب و غیر متحرک شدن کادمیم در ریشه و انتقال کمتر آن به اندام هوایی بود. مجموع میانگین‌های مقادیر کادمیم جذب شده در ریشه ٦۵/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که از مجموع میانگین‌های کادمیم جذب شده در اندام هوایی (٦۰/۸٦) بیشتر است. بنابراین در مجموع می‌توان گفت که ریشه شاهی بیش‌اندوزی بیشتری نسبت به اندام هوایی آن دارد.



شکل ۱- مقادیر کادمیم در ریشه و اندام هوایی شاهی نسبت به مقادیر مختلف کادمیم در خاک

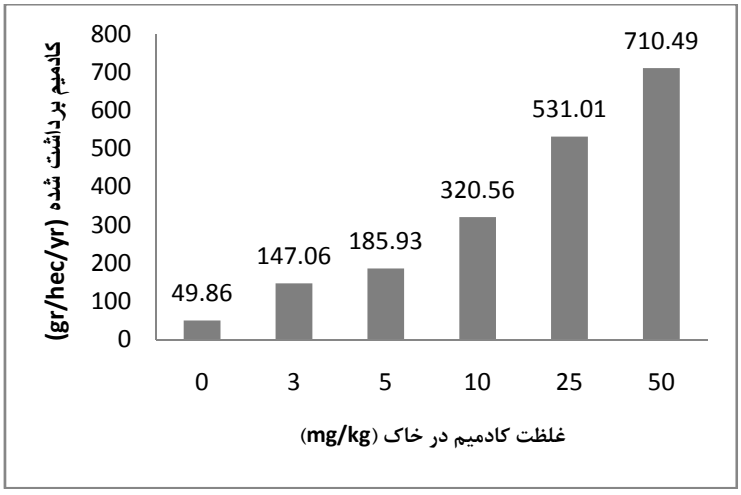
روند تغییرات عملکرد گیاه شاهی با توجه به افزایش غلظت کادمیم در خاک در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش غلظت کادمیم موجود در خاک، عملکرد گیاه در واحد سطح (هکتار) کاهش می‌یابد. به این صورت که اگر

عملکرد گیاه در غلظت صفر، ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شود، با افزایش غلظت کادمیم در خاک عملکرد شاهی از غلظت ۳ تا ۵۰ به ترتیب، ۸۶/۳۲، ۸۶/۴۸، ۸۱/۷۹، ۷۹/۵۴ و ۷۴/۲۲ درصد خواهد شد. به عبارت دیگر با افزایش غلظت کادمیم در خاک تا ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، عملکرد گیاه ۲۵/۸۷ درصد کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش عملکرد از غلظت صفر به ۳ رخ داده است که عملکرد از ۱۰۰ به ۸۶/۳۲ درصد کاهش یافته، یعنی با افزایش غلظت کادمیم موجود در خاک از صفر تا ۳، به تقریب ۱۴ درصد از عملکرد کاسته شده است.



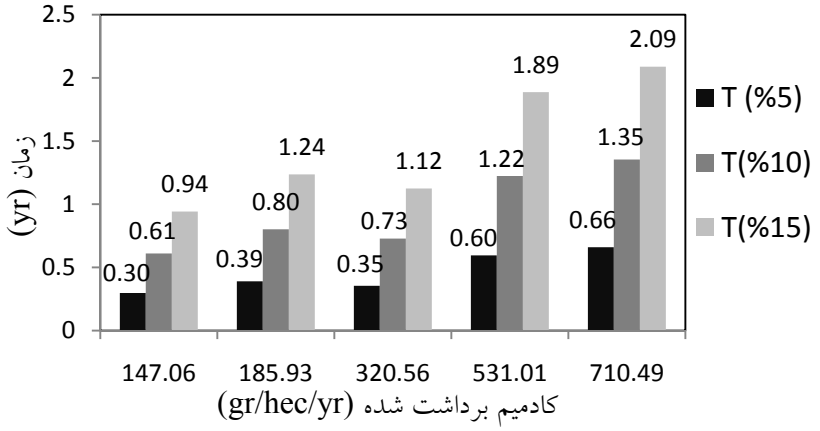
شکل ۲- وزن خشک گیاه نسبت به مقادیر مختلف کادمیم در خاک

شکل ۳ بیانگر میزان کادمیمی است که در طول یک سال به‌وسیله شاهی در غلظت‌های صفر تا ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم در خاک برداشت شده است. با افزایش غلظت کادمیم موجود در خاک، برداشت آن حدود ۱۴/۲۵ برابر شده است. به‌طوری‌که از غلظت صفر تا ۵۰، برداشت کادمیم به ترتیب برابر با ۴۹/۸۶، ۱۴۷/۰۶، ۱۸۵/۹۳، ۳۲۰/۵۶، ۵۳۱/۰۱ و ۷۱۰/۴۹ گرم بر هکتار در سال است.

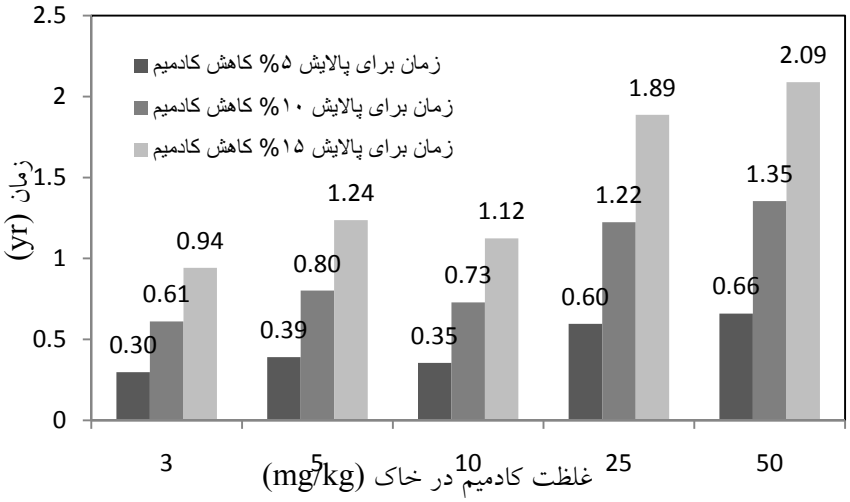


شکل ۳- مقدار کادمیم برداشت شده به وسیله شاهی در سطوح مختلف آلودگی کادمیم

شکل ٤ مقدار کادمیم برداشت شده به وسیله گیاه شاهی را نسبت به زمان با ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش کادمیم نشان می‌دهد. آهنگ برداشت کادمیم در سال نشان می‌دهد که با کاهش ٪۱۵ از مقدار اولیه کادمیم نسبت به کاهش ٪۱۰ و ٪۵، زمان بیشتری برای برداشت همان مقدار کادمیم لازم است و با کاهش ٪۵ مقدار اولیه کادمیم، کمترین زمان برای برداشت غلظت‌های مختلف کادمیم موجود در خاک لازم است. در نهایت با کاهش ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از غلظت کادمیم به ترتیب حدود ٤، ۹ و ١٤ ماه زمان لازم است تا مقدار برداشت کادمیم از ١٤٧/٠٦ به ٧١٠/٤٩ (برداشت کادمیم ٤/٨٣ برابر شده) برسد. با توجه به اینکه کمترین زمان پالایش در سطح ٪۵ از آلودگی های مختلف کادمیم بدست آمد، می‌توان گفت این گیاه برای پالایش خاک‌هایی که آلودگی کادمیم آنها در حد پایین تا متوسط می‌باشد، کارآیی بیشتری می‌تواند داشته باشد. زمان پالایش خاک با ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش کادمیم به ازای مقادیر مختلف کادمیم موجود در خاک در شکل ۵ نشان داده شده است. در هر سه مورد، بیشترین زمان برای غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. از غلظت ۵ تا ۱۰ با توجه به افزایش غلظت، زمان پالایش در حال کاهش است و به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین مقدار جذب و برداشت کادمیم در غلظت ۳ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم صورت گرفته و بیشترین زمان مربوط به کاهش ۱۵ درصد از مقدار اولیه کادمیم است.



شکل ٤- آهنگ یا شدت برداشت کادمیم پالایش شده در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد از غلظت های مختلف کادمیم در سال



شکل ۵- زمان پالایش خاک با توجه به غلظت‌های متفاوت کادمیم در خاک

نتیجه‌گیری

از آنجا که برای پالایش فلزات سنگین، حذف کامل آن‌ها از خاک لازم نمی‌باشد، پالایش گیاهی روش مناسبی برای آلودگی‌زدایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است. البته در شرایطی که شدت آلودگی فراتر از تحمل گیاه است نمی‌توان از این روش استفاده کرد. با توجه به اینکه در این پژوهش با افزایش غلظت کادمیم در خاک، مقدار جذب توسط گیاه افزایش یافته، می‌توان از گیاه شاهی برای پالایش خاک‌های آلوده به کادمیم تا غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم استفاده کرد. در این پژوهش با محاسبه مجموع مقدار کادمیم جذب شده در غلظت‌های مختلف مشخص گردید که ریشه گیاه شاهی نسبت به اندام هوایی آن از قدرت بیش‌اندوزی بیشتری برخوردار است. بنابراین می‌توان از ریشه شاهی به عنوان بیش‌اندوز کادمیم استفاده کرد. با توجه به این که شاهی یکی از پرمصرف‌ترین سبزی‌های خوراکی در ایران می‌باشد، چنانچه در پالایش گیاهی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از آن استفاده شود، باید بلافاصله پس از برداشت مانند زباله‌های خطرناک اقدام به سوزاندن و دفن آن‌ها نمود.

فهرست منابع

بابائیان، ا. و همایی، م. ۱۳۸۹. افزایش کارآیی استخراج سرب از خاک بوسیله شاهی (Barbara verna) با استفاده از اسیدهای آمینوپلی‌کربوکسیلیک. نشریه آب و خاک، ۲٤ (٦): ۱۱٤۲-۱۱۵۰.

بابائیان، ا.، همایی، م. و راهنمایی، ر. ۱۳۹۱. افزایش کارآیی استخراج گیاهی سرب از خاک بوسیله هویج با کاربرد کی‌لیت‌های طبیعی و سنتزی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲٦ (۳): ٦۰۷-٦۱۸.

جعفرنژادی، ع. ل.، همایی، م.، صیاد، غ. ع. و بای‌بوردی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی ویژگی‌های مؤثر خاک بر وضعیت غلظت کادمیم در خاک و بذر گندم در برخی خاک‌های آهکی خوزستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۹ (۲): ۱٤۹-۱٦٤.

خداوردی‌لو، ح. و همایی، م. ۱۳۸٦. مدل‌سازی پالایش‌سبز خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱ (٤۲): ٤۱۷-٤۲٦.

داوری، م.، همایی، م. و خداوردی‌لو، ح. ۱۳۸۹. مدل‌سازی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به آلاینده‌های نیکل و کادمیم با استفاده از توابع ماکروسکپیک کاهش تعرق. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱٤ (۵۲): ۷۵-۸٤.

داوری، م. و همایی، م. ۱۳۹۰. مدلی نوین برای گیاه‌پالایی توأمان نیکل و کادمیم از خاک‌های آلوده بر مبنای توابع ضرب‌پذیر عملکرد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (٦): ۱۳۳۲-۱۳٤۳.

دلالیان، م. ر. و همایی، م. ۱۳۸۹. شبیه سازی زمان لازم برای پالایش سبز خاک‌های آلوده شده به کادمیم و مس بوسیله گیاه مریم‌گلی. مجله دانش آب و خاک، ۲۰ (٤): ۱۲۹-۱٤۱.

عربی، ز.، همایی، م. و اسدی، م. ا. ۱۳۸۹. مقایسه آثار افزودن اسید سیتریک و کی‌لیت‌های مصنوعی بر افزایش پالایش گیاهی کادمیوم از خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱٤ (۵٤): ۸۵-۹۵.

عیسی زاده لزرجان، س.، اسدی کپورچال، ص.، پذیرا، ا. و همایی، م. ۱۳۸۹. ارزیابی توان بیش اندوزی اسفناج و پیازچه به منظور استخراج گیاهی کادمیم از خاک‌های آلوده. دومین همایش ملی «کشاورزی و توسعه پایدار، فرصت‌ها و چالش‌های پیش رو»، شیراز.

Asadi Kapourchal, So., Asadi Kapourchal, S., Pazira, E. and Homaee, M. 2009. Assessing radish (raphanus sativus L.) potential for phytoremediation of Lead- contaminated soils resulting from air pollution. Soil plant and environment, 55 (5): 202-206.

Asadi Kapourchal, S., eisazadeh, S. and Homaee, M. 2011. Phytoremediation of cadmium polluted soils resulting from use of phosphorus fertilizers. European Biotechnology Thematic Network Association congress. Istanbul, Turkey: S37.

Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homaee, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M. and Mahvi, AH. 2010. Effect of fertilizer application

Huang, J.W., Chen, J., Berti, W.R. and Cunningham, S.D. 1997. Phytoremediation of lead-Contaminated soil: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. Environmental Science and Technology, 29: 1232-1242.

Huang, B., Kuo, S. and Bembenek, R. 2004. Chloride salinity reduces cadmium accumulation by the Mediterranean halophyte species Atriplex halimus L. Environmental and Exprimental Botany, 65:142-152.

Jafarnejadi, A. R., Homaee, M., Sayyad, Gh. A. and Bybordi, M. 2011. Large Scale Spatial Variability of Accumulated Cadmium in the Wheat Farm Grains. Soil and Sediment Contamination, 20 (1): 98-113.

Mudgal, V., Madaan, N. and Mudgal, A. 2010. Heavy metals in plants: phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution. Agriculture and biology journal of nourth America,1(1): 40-46.

Pulford, I.D. and Watson, C. 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees - a review. Environment International,29(4):529-540.

on soil heavy metal concentration. Environmental Monitoring and Assessment, 160:83-89.

Baker, A.J.M. and Brooks, R.R. 1989. Plant regeneration of the mining ecotype Sedum alfredii and cadmium hyperaccumulation in regenerated plants. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 99: 9-16.

Epstein, A.L., Gussman, C.D., Balaylock, M.J., Yermiyahu, U., Huang, J.W., Kapulink, Y. and Orser, C.S. 1999. Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: Sesuvium portulacastrum and Mesembryan themum crystallinum. Journal of Plant Physiology, 162:1133-1140.

Khodaverdiloo, H. and Homaee, M. 2008. Modeling of Cadmium And Lead Phytoextraction From Contaminated Soils. Polish Journal of Soil Science, 41 (2): 149-162.

Ghosh, M. and Singh, S.P. 2005. Strategies for enhancing the phytoremediation of cadmium-contaminated agricultural soils by Solanum nigrum L. Environmental Pollution, 159:762-768.

Gupta, P.K. 2000. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Agrobios, New Dehli, India.

ISSN 2251-7480

Assessing land cress potential for phytoextraction of cadmium from Cd-contaminated soils

Faranak Mohamadipour[1] and Safoora Asadi Kapourchal[2]*

1) M.Sc., Department of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*) Assistant professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Gilan University, Gilan, Iran,
Corresponding author email: safooraasadi@yahoo.com

Received: 10-09-2012 Accepted: 21-11-2012

Abstract

Soil contamination with heavy metals is one of the most important challenges in soil and water conservation area. Remediation of Cd as one of the most important environmental contaminants from contaminated soils due to its high mobility in soil-plant-human chain and adverse effects on human and animals, is very important. Phytoextraction is one of the biological remediation methods in which hyperaccumulator plants are used to take up pollutants from contaminated soils. The objective of this study was to investigate the capability of Land Cress (Lepidium sativum) for phytoremediation of cadmium from Cd-contaminated soils. For this purpose, a randomized block experimental design with six treatments of 0, 3, 5, 10, 25 and 50 mg Cd/ kg soil and four replicates was established in the greenhouse. When plants were fully developed, plants were harvested and cadmium concentrations in the soil, roots and shoots were measured. The results indicated that by increasing Cd concentration in soil, its accumulation in plant tissues was also increased. By increasing cadmium concentration in soil, its concentration within the roots and shoots was increased to 19.3 and 34 times, respectively. This indicates the high capability of both roots and shoots for cadmium uptake from contaminated soils. Total average cadmium concentration in roots and shoots was 65.18 and 60.86 mg/kg, respectively. With increasing cadmium concentration, the time needed for phytoextraction was also increased. The minimum time needed for phytoextraction was belonged to the 3 mg/kg Cd treatment. Since Land Cress has short growing period and high biomass, it can be used as hyperaccumulator plant to remediate cadmium from Cd-contaminated soils.

Keywords: cadmium; contaminated soils; heavy metals; phytoremediation