نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال اول، شماره ۴، تابستان ۱۳۹۱

گیاه پالایی خاک‌های آلوده به برخی فلزات سنگین به وسیله چند گیاه بومی منطقه حفاظت شده ارسباران

فاطمه اکبرپور سراسکانرود[1*]، فرهاد صدری[2] و داریوش گل علیزاده[3]

۱*) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تبریز؛
نویسنده مسئول مکاتبات: akbarpourfatemeh@gmail.com
۲) دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست دانشگاه آزاد واحد علوم وتحقیقات
۳) کارشناس مسئول سازمان حفاظت محیط زیست

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۲/۳۰

چکیده

فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های خاک و محیط‌زیست می‌باشند. در سال‌های اخیر محققان زیادی جذب فلزات سنگین توسط جلبک‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و گیاهان مورد بررسی قرار دادند. گیاه پالایی یکی از شیوه‌های مناسب برای پالایش خاک از فلزات سنگین است. بعد از عملیات آماده‌سازی خاک‌های آلوده بذرهای گیاهان قدومه کوهی (*Arabis arenosa*) و گیاه تاج خروس وحشی (*Amaranthus retroflexus*) و گیاه علف مرغ (*Agropyron repens*) در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی کشت گردید. پس از برداشت و خشک کردن در آون با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت به ترتیب با روش‌های اکسیداسیون تر و هضم با اسید نیتریک عصاره‌گیری و با دستگاه‌های جذب اتمی و کوره گرافیتی اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که غلظت سرب و کادمیم در خاک در ریشه بیش از ساقه و برگ بوده و همچنین غلظت سرب در اندام‌های زیرزمینی و روی در اندام‌های هوایی بالاتر بوده است. نتایج به دست آمده بالاترین غلظت روی را در اندام هوایی گیاه علف مرغ به میزان ۲۶۲/۶۵ mg/Kg و بیشترین غلظت سرب را در اندام‌های زیرزمینی گیاه تاج خروس وحشی به میزان ۷۱/۲۵ mg/Kg از خاک نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تاج خروس وحشی؛ علف مرغ؛ فلزات سنگین؛ قدومه کوهی؛ گیاه پالایی

مقدمه

در حال حاضر یکی از چالش‌های اساسی و مهم در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی یا تجمع غلظت فلزات سنگین به سبب عدم تجزیه آنها توسط میکروارگانیسم‌ها می باشد این گونه فلزات با توجه به داشتن خواص و اثرات بالقوه سیتوتوکسیک[1]، کارسینوژنیک[2] و موتاژنیک[3] بر انسان و سایر موجودات زنده حیات آنها را با خطرات جدی مواجه ساخته است از سوی دیگر ورود و تخلیه پساب‌های صنعتی وکشاورزی همراه با دفع لجن و زباله و نیز افزایش مصرف و استفاده مجدد از لجن فاضلاب و کود کمپوست در مناطق کشاورزی، سبب تغییرات شگرفی بر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاکهای این مناطق و به دنبال آن افزایش میزان جذب وآلودگی فلزات سنگین در گیاهان و محصولات کشاورزی نظیر گندم و برنج را در دنیا بهمراه داشته است. موارد گوناگونی از آلودگی به فلزات سنگین به ویژه فلز کادمیوم بر اثر مصرف بی رویه کودهای شیمیایی فسفات دار یا استفاده از لجن فاضلاب در خاک مناطق کشاورزی دنیا گزارش گردیده است. با

[1] Cytotoxcic
[2] Carcinogenic
[3] Mutagenic

Archive of SID
www.SID.ir

توجه به روند رو به رشد جمعیت دنیا از سویی وافزایش تدریجی میزان آلودگی‌های محیط زیست وخاک و به دنبال آن نابودی بخش مهمی از خاک‌های کشاورزی و حاصل خیز، چالش‌های اساسی وجدی دنیا در دهه آینده بر سر موضوع مهم امنیت غذایی از جنبه‌های کمی و کیفی آن خواهد بود. از این تکنولوژی (استفاده از گیاهان سبز برای جذب آلاینده‌ها) می‌توان در انواع محیط‌های آلوده نظیر آب‌های زیرزمینی و سطحی، لجن فاضلاب، رسوبات خاک و هوا و نیز برای پاکسازی و حذف انواع ترکیبات آلاینده و سمی وآلی از قبیل هیدروکربن‌های نفتی، نفت خام، آفت کش‌ها، حلال‌های آلی کلردار، ترکیبات منفجره، هیدروکربن‌های پلی آروماتیک، شیرابه‌های زباله و رواناب‌های کشاورزی استفاده کرد. (Salt *et al*., 1995), (Lasat, 2002), (lasat, 1998)

از این روش نیز جهت پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مانند سرب، کادمیوم، کروم و... می توان استفاده نمود(Chaney, 1997) .پیشتر قابلیت جذب وتجمع فلزات سنگین کادمیوم وروی موجود در خاک توسط گیاهان علفی (یونجه، شبدر، جو و گونه‌های چاودار) وگیاه خردل هندی مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج این مطالعه مبین آن است اگرچه میزان جذب وتجمع فلزات کادمیم و روی در گیاه خردل هندی بیش از گیاهان علفی بوده اما تحمل و مقاومت گیاهان علفی نسبت به آلاینده‌های مزبور از گیاهان خردل هندی بیشتربوده است.(Ebass *et al*., 1997). در تحقیقی دیگر قابلیت جذب وپاکسازی فلزات سنگین از خاک توسط گیاه جو معمولی برابر یا حتی بیشتراز گیاه خردل هندی برآورد شده است. (lasat, 1998) درپژوهشی دیگر قابلیت جذب فلزات سنگین در گیاهان متعددی نظیر علف مرغ (*Agropyron repens*)، گیاه جگن (*Carex hirta*) و قدومه کوهی (*Arabis arenosa*) بررسی شدند. محققان دریافتند که از بین گیاهان مختلف مورد مطالعه، علف مرغ به دلیل میزان جذب سرب و بیوماس زیاد یک گیاه بسیار مناسب جهت پاکسازی خاک‌های آلوده به فلز سنگین سرب خواهد بود. به طوری که با کاشت این گیاه در خاکهای آلوده به سرب به ازای هر هکتار میزان ۵۰ کیلوگرم سرب توسط گیاه مزبور استخراج گردید. (Liuet *et al*., 2000) در یک مطالعه توسط Brooks و همکاران ازگیاهان *Berkheya coddii* و *Alyssum bertolonii* ۹ تن در هکتار و میزان جذب نیکل در آن ۷۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه مزبور بدست آمد. همچنین میزان بیوماس گیاه *Berkheya coddii* در این مطالعه ۲۲ تن در هکتار و میزان جذب فلز نیکل ۵۰۰۰ میلی‌گرم وزن خشک گزارش گردید. به طوری که میزان حذف فلز نیکل در هکتار توسط گیاه *Berkheya coddii* برابر ۱۱۰ کیلوگرم وتوسط گیاه *Alyssum bertolonii* ۶۳ کیلوگرم در هکتار تعیین شده است.(Brooks, 1998) نتایج فوق حاکی از آن است که گیاهان کارایی بالایی در حذف وپاکسازی فلزات سنگین از خاک دارند. خاک‌ها و آب‌های آلوده به فلزات سنگین، مشکلاتی جدی برای زیست بوم و سلامت انسان بوجود می آورند که به راه حلی کارآمد نیاز دارند. سرب و کادمیم از فلزات سنگینی هستند که بدلیل پیامدهای وخیم در آلودگی زیست بوم اهمیت دارند. گیاه پالائی روشی نوین است که از گیاهان برای زدودن آلودگی‌ها از خاک بهره می برد. این روش در مقایسه با سایر روش‌های پالایش، بسیار کم هزینه و ساده است. لیکن، می بایست کارآیی این فناوری نوین با مدل‌های ریاضی ارزیابی گردد. بررسی منابع نشان می دهد که تاکنون به دلیل پیچیدگی پیوستار خاک – آلاینده – آب – گیاه، مدل‌های ساده و کارآمدی برای گیاه پالائی ایجاد نشده است. به این منظور، مدلی بر مبنای واکنش خاک و گیاه به آلودگی‌های سربی و

Archive of SID

www.SID.ir

کادمیمی خاک ارایه شد. در این مدل، توابع کاهش تعرق نسبی گیاه و غلظت نسبی سرب و کادمیم گیاه به عنوان تابعی از غلظت سرب و کادمیم در خاک تعیین و نرخ پالایش آلاینده از خاک بدست آمد. نتایج بدست آمده، کارآیی بالای مدل‌های حاصل از ترکیب مدل تعرق نسبی گیاه و غلظت نسبی سرب و کادمیم گیاه را در برآورد نرخ گیاه پالائی سرب (R^2>0.89) و کادمیم (R^2=0.83) از خاک نشان داد(خداوردیلو و همایی، ۱۳۸٦). از میان آلودگی‌ها، فلزات سنگین به ویژه سرب بدلیل پیامدهای وخیم در آلودگی زیست بوم اهمیتی ویژه دارد. با ترکیب مدل ریاضی تغییرات عملکرد نسبی گیاه و غلظت فلز در بافت‌های گیاهی در سطوح مختلف غلظت سرب در خاک، میزان پالایش سرب از خاک بدست آمد. نتایج نشان داد که غلظت سرب در ماده خشک گیاه شاهی با افزایش غلظت سرب در خاک افزایش می یابد. حال آنکه، عملکرد نسبی گیاه با افزایش غلظت سرب در خاک کاهش داشت. نتایج همچنین نشان داد که مقدار سرب جذب شده از خاک توسط شاهی با افزایش آلودگی خاک 1000 $mgkg^{-1}$ افزایش می یابد. لیکن در آلودگی سربی خاک از 1000 تا 1500 $mgkg^{-1}$ سرب پالوده شده از خاک در اواخر دوره رشد گیاه افزایش چشمگیری دارد. نتایج نشان داد که گیاه شاهی برخلاف توانایی اش در تحمل آلودگی‌های بالای سرب، در زدودن آن از خاک چندان توانا نیست. بنابراین، نمی توان آلودگی‌های حاد سرب در خاک را با استفاده از گیاه شاهی پالود، لیکن از آن برای کاهش آلودگی سربی تا حدی معین می توان استفاده نمود (خداوردیلو و همکاران، ۱۳۸٦). با توجه به این مشکلات مدل‌هایی برای کادمیم و سرب با استفاده از گیاهان شاهی و اسفناج ارائه دادند که پارامترهای آن به سادگی قابل اندازه گیری است و از طرف دیگر در بر گیرنده خرده فرایندهای حاکم بر پدیده می باشد (Khodaverdiloo and Homaee, 2008). در یک مطالعه توسط دلالیان و همایی (۱۳۸۹) زمان گیاه پالائی خاک‌های آلوده به کادمیم و مس به وسیله گیاه مریم گلی شبیه سازی شد. مدل ارائه شده با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی واسنجی گردید و کارایی آن با ملاک‌های کمی آزموده شد. نتایج نشان داد که نرخ گیاه پالائی کادمیم و مس به وسیله مریم گلی تابع مرتبه صفر از غلظت‌های آن‌ها در خاک بود. همچنین نتایج بیانگر کارایی بالای مدل‌های پیشنهادی با همدماهای برون جذبی خطی در برآورد زمان گیاه پالائی کادمیم و مس از خاک بود. در یک مطالعه دیگر آلودگی ناشی از عناصر کادمیم و سرب در برخی سبزی‌های خوراکی کشت شده در ۵ منطقه جنوب تهران ارزیابی شد. در مورد سرب و کادمیم بیشترین میزان آلودگی در نمونه تره تعیین شد که از مقادیر مجاز برای مصرف انسان طبق استاندارد اتحادیه اروپا بیشتر بوده است. در این تحقیق اختلاف بین میانگین غلظت کادمیم در سه نمونه تره، کاهو و نعناع در مناطق مورد مطالعه معنی دار بوده است اما در مورد سرب اختلاف معنی داری مشاهده نشد (گیویان راد و همکاران، ۱۳۹۰). هدف از این تحقیق، بررسی توان پاکسازی برخی از گیاهان بومی کشور انتخابی از منطقه حفاظت شده ارسباران برای پاکسازی فلزات سنگین کادمیوم، سرب و روی از خاکهای آلوده بوده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه سعی بر آن بوده تا از گیاهان بومی کشور استفاده گردد با توجه بـه خصوصـیات گیاهـان مناسب جهت پاکسازی خـاک‌هـای آلـوده بـه فلـزات سنگین نظیر سرعت رشد زیاد، رشد و نمو و مقاومت در محل آلوده، غیر خوراکی بـودن، پـراکنش مناسـب

Archive of SID

www.SID.ir

انتخاب گردد که گیاهان قدومه کوهی (*Arabis arenosa*)، تاج خروس وحشی (*Amaranthus retroflexus*) و علف مرغ (*Agropyron repens*) از منطقه حفاظت شده ارسباران انتخاب شد. منطقه حفاظت شده ارسباران بین ' ٤٠و °٣٨ تا ' ٩و °٣٩ عرض شمالی و ' ٤٢و °٤٦ تا ' ٣٠و °٤٧ طول شرقی قرار دارد. این منطقه در شمال استان آذربایجان شرقی و در محدوده شهرستان کلیبر واقع شده است که از شمال به رودخانه ارس، از شرق به رودخانه کلیبر، از غرب به رودخانه ایلگنه و از جنوب به کوههای سایگرام، توپخانه و قره موت منتهی می شود. بعد از انتخاب گیاهان مذکور اقدام به تهیه وآماده سازی تیمارهایی با خاک‌های دارای ترکیبات کلراید و نیترات: سرب، کادمیوم و روی به صورت مخلوط و با غلظت‌های مختلف (گروه اول/غلظت کم)، (گروه دوم/غلظت متوسط) و (گروه سوم/غلظت زیاد) گردید در مرحله بعد خاکهای آماده شده با سرب، کادمیم و روی به صورت مخلوط و با غلظت‌های به ترتیب ٢٠و٥٠٠،٦٠٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با مواد تقویت کننده خاک و پیت در گلدانهای ١٠ کیلوگرمی ریخته شد، سپس خاکهای آلوده تقریبا با رطوبت اشباع آبیاری و دو هفته رها شدند تا حد امکان بر هم کنش آلاینده‌های خاک تکوین پیدا کند. پس از پر کردن گلدانها بذر گیاهان با تعدادی بیشتر از آنچه نیاز بود با فواصل منظم در آنها کشت گردید. پس از جوانه زدن بذرها، بوته‌های سالمتر و قویتر برای ماندن انتخاب و بقیه تنک گردیدند. برای دوری از تنش رطوبتی، گلدان‌ها هر روز توزین و با فواصل زمانی کوتاه (بسته به دوره رشد گیاه از ٢٤ تا ٤٨ ساعت) تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی آبیاری شدند. همچنین برای کاهش تبخیر از سطح خاک گلدان‌ها، روی خاک با سنگریزه پوشانده شد. گیاهان در پایان فصل رشد برداشت شدند. نمونه‌های گیاهی پس از برداشت با آب مقطر شست و شو داده شدند. سپس نمونه‌ها در دمای ٨٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت خشک شدند نمونه‌ها پس از خشک شدن با استفاده از آسیاب برقی با محفظه تمام استیل آسیاب شدند نمونه‌های آسیاب شده تا زمان عصاره گیری در ظروف پلاستیکی که قبلا با اسید رقیق شسته شده بودند نگهداری شدند در پایان سرب، کادمیوم و روی موجود در نمونه‌های گیاه و خاک عصاره گیری و تجزیه‌های شیمیایی لازم انجام گردید. سرب، روی و کادمیوم خاک با تکان دادن نمونه‌هایی با نسبت ٢:١ (آب مقطر:خاک) به مدت ٢٤ ساعت در تکان دهنده‌ای به دور ٣٠٠ دور در دقیقه عصاره‌گیری شد. غلظت سرب و کادمیوم در گیاه با روش اکسیداسیون تر عصاره گیری و پس از بهم زدن نمونه، غلظت آنها با دستگاههای جذب اتمی (Atomic Absorption Spectrometer, Shimadzu, AA-670G) و کوره گرافیتی (Graphite Furnace Atomizer, Shimadzu, GFA-4A) اندازه گیری شد. (Afyuniand Nourbakhsh, 1997, Brooks, 1999, Gupta, 2000). از آمیزه اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید سولفوریک با نسبت حجمی ١و٤،٤٠ برای اکسیداسیون تر استفاده شد. در تجزیه وتحلیل آماری داده‌ها از نرم افزارهای SPSS 14 استفاده شده است. تجزیه وتحلیل داده‌ها با روش آنالیز واریانس و مقایسه‌های چند گانه آن به روش Tukey انجام گرفت.

نتایج و بحث

به طور کلی در ارزیابی روش‌های پاکسازی و حذف فلزات سنگین در خاک و محیط زیست توسط گیاهان دو عامل نقش اساسی دارند. عامل اول میزان جذب یک فلز سنگین بر حسب میکروگرم یا میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه و عامل دوم نیز

Archive of SID

www.SID.ir

میزان وزن خشک توده بیولوژیک گیاه یا بیوماس بر حسب گرم یا کیلوگرم باشد.

بحث نتایج مربوط به میزان جذب فلز سرب در گیاهان مختلف در خاک:

در کلیه تیمارهای گیاه قدومه کوهی میانگین غلظت سرب در ریشه بیش از برگ و ساقه بوده است(شکل ۱). میانگین مقادیر جذب فلز سرب در اندام‌های مختلف گیاهی قدومه کوهی روئیده در خاکهای آلوده و شاهد متفاوت بوده که این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار بوده است ($p<0.05$). میانگین غلظت فلز سرب در اندام‌های زیرزمینی گیاه تاج خروس وحشی بیش از اندام‌های هوایی آن می باشد (شکل ٤). همچنین میانگین میزان جذب فلز سرب در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه تاج خروس وحشی در تیمار شاهد با سایرین تفاوت داشته که این اختلاف از لحاظ آماری معنی دار بوده است. ($p<0.05$) با توجه به شکل‌های ۱، ٤ و ۷ با افزایش میزان غلظت سرب در خاکهای آلوده (تیمارهای گروههای ۱،۲،۳) میزان جذب سرب در اندام‌های زیر زمینی و هوایی گیاهان مزبور زیاد شده است. در این قسمت از پژوهش حداکثر میزان سرب در اندام‌های زیرزمینی گیاهان تاج خروس وحشی، قدومه کوهی و علف مرغ در خاکهای گروه سوم به ترتیب ٦٨/٩٢، ٥٤/٤٥، ٤٧/٠٧ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. آنالیز آماری با ANOVA در نرم افزار آماری SPSS نیز یک اختلاف معنی داری را بین میانگین جذب فلز سرب در تیمارهای مورد و شاهد گیاهان مختلف ارائه می نماید ($p<0.05$) اما این اختلاف میان گیاهان مختلف در هریک از گروههای خاک بر حسب غلظت فلز سرب از لحاظ آماری معنی دار نمی باشد($P>0.05$). گرچه که در این مطالعه با افزایش میزان غلظت فلز سرب در خاک بر میزان غلظت این فلز در اندام‌های زیرزمینی وهوایی گیاهان مزبور اضافه گردید اما این اختلاف در بین تیمارهای مورد گروه (۱)با گروه(۲)وگروه (۲) با گروه (۳) هم در اندام‌های زیرزمینی وهم در اندام‌های هوایی گیاهان قدومه کوهی وعلف مرغ از نظر آماری معنی‌دار نبوده است ($P>0.05$) همچنین اختلاف میزان جذب فلز سرب میان اندام‌های هوائی و زیرزمینی گیاهان مزبور در کلیه نمونه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($P>0.05$) از مهمترین دلایل معنی دار نبودن اختلاف آماری میانگین‌های جذب فلز سرب در میان نمونه‌های مختلف را می توان به عدم قابلیت دسترسی سرب در خاک توسط گیاهان مختلف نسبت داد بطوریکه میزان غلظت سرب در اندام زیرزمینی گیاهان بیشتر از اندام هوایی می‌باشد در این پژوهش گیاهان مورد مطالعه بر حسب حداکثر میزان جذب فلز سرب در اندام‌های مختلف نیز رتبه بندی شده اند. طبق بررسی حاضر در کلیه خاکها بر حسب آلودگی، میانگین میزان جذب سرب در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه تاج خروس وحشی بیش از اندام‌های سایر گیاهان بوده است در زیر ترتیب گیاهان مورد نظر بر حسب حداکثر قابلیت جذب در فلز سرب در اندام‌های زیرزمینی و هوائی ارائه گردیده است.

اندام زیر زمینی :قدومه کوهی < علف مرغ <تاج خروس وحشی

اندام هوایی: علف مرغ<قدومه کوهی<تاج خروس وحشی

بحث نتایج مربوط به میزان جذب فلز کادمیوم در گیاهان مختلف در خاک:

در شکل‌های ۸ و ۵، ۲ میانگین جذب فلز کادمیوم در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاهان نشان داده شده است که میانگین فلز کادمیوم در تیمارهای

Archive of SID

www.SID.ir

موردی و شاهد در اندام‌های زیرزمینی گیاهان مورد نظر بیشتر از اندام‌های هوایی آن‌ها می‌باشد. در این مطالعه میانگین میزان غلظت فلز کادمیوم در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف با افزایش غلظت کادمیوم خاک کاهش یافته است. طبق نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، حداکثر میانگین جذب فلز کادمیوم در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف در خاکهای آلوده گروه اول بدست آمده است. آنالیز آماری با نرم افزار SPSS نیز حاکی از آن است که بین میانگین جذب فلز کادمیوم در تیمارهای شاهد و مورد گروه اول اختلاف آماری معنی دار وجود دارد ($p<0.05$) در حالیکه در سایر تیمارهای شاهد ومورد گروه اول اختلاف آماری معنی دار وجود دارد ($p<0.05$) در حالیکه در سایر تیمارهای شاهد ونیز بین تیمارهای مورد در کلیه گیاهان اختلاف آماری معنی دار وجود ندارد($P>0.05$).

میانگین میزان جذب فلز کادمیوم در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان مختلف با افزایش میزان غلظت در خاک گروه (۳) در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف کاسته شده است. یکی از موضوعات مهم در رابطه با وجود همزمان و مخلوط فلزات سنگین در خاک و محیط زیست پدیده اثر متقابل یا برهم کنش آنها بر یکدیگر می باشد. از مهم ترین فلزات سنگین که معمولا بر هم اثرات متقابل داشته می‌توان به روی و کادمیم اشاره داشت. محققین مختلف در این زمینه به این نتیجه دست یافتند که در غلظت‌های پائین عناصر روی وکادمیم این دو فلز بر هم اثر سینرژیک داشته وبعلت شباهت‌های زیاد این دو عنصر گیاهان قادرند عنصرکادمیوم را به جای عنصر روی در خود جذب نمایند در حالیکه در غلظت‌های زیاد این دو عنصر در خاک بر هم اثر آنتاگونیستیک (تداخلی و متضاد) داشته ودر اینصورت فلز روی از ورود وجذب کادمیوم به داخل گیاه ممانعت می کند. همچنین گیاهان نیز در این حالت به صورت انتخابی تنها به فلز روی اجازه ورود، جذب و انتقال به داخل خود را می دهند (Ebbas *et al*., 1997), (ITRC , 2001), (MC – Grath *et al*., 1997). طبق نتایج مطالعه حاضر نیز میانگین میزان غلظت جذب شده فلز کادمیوم در گیاهان مورد نظر در غلظت‌های پائین عناصر روی وکادمیوم در خاک گروه ۱ حداکثر بوده است. در حالیکه در غلظت‌های بالای این دو فلز در خاک گروه‌های ۲ و ۳ میانگین میزان جذب کادمیوم در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف حداقل بوده است. با بهره گیری از نتایج مطالعه حاضر می توان از ترکیبات مختلف فلز روی نظیر سولفات روی جهت جلوگیری از ورود، جذب و انتقال فلز کادمیوم از خاکهای کشاورزی به داخل گیاهان و محصولات کشاورزی و در نتیجه حفظ و نگهداری سلامت انسان و محیط زیست استفاده نمود. می توان گفت که کارایی جذب و حذف فلز کادمیوم در خاک توسط گیاه تاج خروس وحشی بیشتر از سایر گیاهان مورد مطالعه بوده است (شکل ۵).

بحث نتایج مربوط به میزان جذب فلز روی توسط گیاهان در خاک

با توجه به شکل‌های ۳، ٦ و ۹ میانگین میزان جذب فلز روی در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان مختلف نشان داده شده است در این مطالعه میانگین میزان جذب فلز روی در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان مختلف با میزان غلظت فلز مزبوردر خاک یک ارتباط مستقیم و خطی وجود داشته است بطوریکه میانگین میزان جذب فلز روی در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان در تیمارهای گروه ۳ (غلظت زیاد) حداکثر بوده است. همچنین در این

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی میانگین میزان غلظت فلز روی در اندام‌های هوایی گیاهان مختلف در کلیه تیمارها از اندام‌های زیرزمینی آنها بیشترمی باشد. بین میانگین جذب فلز روی در اندام‌های زیرزمینی و در بین تمامی تیمارها اختلاف آماری معنی دار وجود دارد. ($p<0.05$) همچنین بین میانگین جذب فلز مزبور در اندام‌های هوایی گیاه قدومه کوهی در بین تیمارهای شاهد با تیمارهای گروه ۲ و ۳ و نیز بین کلیه تیمارهای مورد آزمایش اختلاف آماری معنی دار بوده است. ($p<0.05$) در گیاه تاج خروس وحشی نیز بین میانگین جذب فلز روی در کلیه تیمارهای مورد و شاهد یک اختلاف آماری معنی دار بین گروهی وجود داشته است همچنین بین تیمارهای شاهد با تیمارهای گروه ۲و۳ و نیز بین تیمارهای گروه ۱و۳ میانگین جذب فلز روی در اندام‌های زیرزمینی گیاه مزبور اختلاف آماری معنی دار وجود داشته است. ($p<0.05$) در اندام‌های هوایی گیاه تاج خروس وحشی نیز بین میانگین جذب فلز روی در کلیه تیمارهای مورد و شاهد و نیز بین کلیه تیمارهای مورد اختلاف آماری معنی دار وجود داشته است. ($p<0.05$) همچنین در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه علف مرغ نیز بین میانگین جذب فلز روی در میان تیمارهای شاهد و مورد و بین کلیه تیمارهای مورد، اختلاف آماری معنی دار بوده است ($p<0.05$). با توجه به نتایج شکل‌ها این موضوع مشخص می گردد که در میان گیاهان مزبور گیاه علف مرغ حداکثر میزان جذب فلز روی را دارا بوده است در زیر گیاهان بر حسب حداکثر توانایی جذب فلز روی رتبه بندی شده است(شکل‌های ۳، ٦ و ۹).

اندام زیر زمینی: تاج خروس وحشی< قدومه کوهی< علف مرغ

اندام هوایی: تاج خروس وحشی< قدومه کوهی< علف مرغ

بحث نتایج مربوط به میزان بیوماس تولیدی گیاهان مختلف در خاکهای آلوده

در جداول ٤-۲ میانگین میزان بیوماس تولیدی گیاهان مختلف در خاک و در غلظت‌های مختلف فلزات سرب، کادمیوم و روی (تیمارهای گروه ۳و۱،۲) را نشان داده است با توجه به جداول مزبور میانگین میزان بیوماس اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف در برابر افزایش غلظت آلودگی‌ها به صورت خطی کاهش یافته است که روند این کاهش در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ قابل مشاهده می‌باشد. در این پژوهش حداکثر کاهش میزان بیوماس در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف در تیمارهای گروه ۳ بوده است طبق جدول ۲ و شکل ۱۰ میانگین میزان بیوماس اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه قدومه کوهی و در تیمارهای گروه ۱ نسبت به تیمارهای شاهد به ترتیب ۹۲/۳۸٪و۹۰/۰٦٪و در تیمارهای گروه ۲ نسبت به شاهد به ترتیب ۸۳/۲۲٪و۷۸/۸٦٪ و نیز در تیمارهای گروه ۳ نسبت به شاهد به ترتیب ۷۷/۵۹٪و۷۵/۹۹٪کاهش داشته است. آنالیز آماری با ANOVA نیز مبین آن است که بین میانگین میزان بیوماس اندام‌های زیرزمینی و نیز اندام‌های هوایی در بین تیمارهای شاهد با تیمارهای گروه ۳ اختلاف آماری معنی دار وجود داشت .($p<0.05$) در حالیکه بین سایر تیمارهای مورد و شاهد و بین کلیه تیمارهای مورد اختلاف وجود داشته که این اختلاف از لحاظ آماری معنی دار نبوده است. ($P>0.05$) در جدول ۳ و شکل ۱۱ میانگین میزان بیوماس اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه تاج خروس وحشی در تیمارهای مختلف مورد و شاهد نشان داده شده است میانگین میزان کاهش بیوماس

Archive of SID

www.SID.ir

اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه تاج خروس وحشی در تیمارهای گروه ۱ نسبت به تیمارهای شاهد به ترتیب ۹۳/۵۰٪ و ۹۰/۰۹٪ و در تیمارهای گروه ۲ نسبت به تیمارهای شاهد به ترتیب ۸۵/۳۵٪ و ۸۵/۶۷٪و نیزدر تیمارهای گروه ۳ نسبت به تیمارهای شاهد به ترتیب ۷۵/۹۹٪ و ۷۵/۵۷٪ تعیین شده است. در این بررسی طبق تجزیه و تحلیل آماری بین میانگین میزان بیوماس اندام‌های زیرزمینی گیاه تاج خروس وحشی در بین تیمارهای مورد و شاهد ونیز بین کلیه تیمارهای مورد آزمایش اختلاف وجود داشته ولی این اختلاف از لحاظ آماری معنی دار نمی‌باشد ($P>0.05$). بین میانگین بیوماس اندام‌های هوایی گیاه مزبور در بین تیمارهای مورد و شاهد اختلاف وجود داشته که این اختلاف تنها در میان تیمارهای شاهد با تیمارهای گروه ۳ از لحاظ آماری معنی‌دار بوده است. ($p<0.05$) در جدول ٤ و شکل ۱۲ نیز میانگین میزان بیوماس اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه علف مرغ ارائه شده است. با توجه به جدول مزبور نیز کاهش درصد میزان بیوماس تولیدی در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاه مزبور در تیمارهای گروه ۱ با تیمارهای شاهد به ترتیب ۹۵/۷۹٪و۹۵/۸٦٪ و در تیمارهای گروه ۲ با تیمارهای شاهد به ترتیب ۹۰/٦۰٪و۹۰/٤۵٪و در تیمارهای گروه ۳ نسبت به شاهد به ترتیب ۸۱/۹٦٪و۸٤/۰۷٪ بدست آمده است. در این مطالعه نیز بین میانگین بیوماس تولیدی اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه علف مرغ در بین تیمارهای مورد و شاهد و بین کلیه تیمارهای مورد آزمایش، اختلاف وجود داشته که این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است ($P>0.05$).

با توجه به نتایج بدست آمده از این قسمت می‌توان گفت که گیاه علف مرغ در بین گیاهان مورد مطالعه کمترین کاهش بیوماس و بیشترین مقاومت را در برابر آلودگی‌های فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در خاک را دارا بوده است در زیر گیاهان مورد نظر بر حسب افزایش حساسیت در برابر آلودگی‌های مزبور رتبه بندی شده اند(شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲).

علف مرغ>تاج خروس وحشی >قدومه کوهی

جدول۱_ میانگین میزان غلظت فلزات سنگین در خاکهابر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

عنصر / نمونه	روی	کادمیوم	سرب
شاهد	۲۳/۵	۰/۱۳	۸/۵
گروه۱(آلودگی کم)	۲۰۰	۱۰	۱۵۰
گروه ۲(آلودگی متوسط)	٤۰۰	۲۰	۳۰۰
گروه۳(آلودگی زیاد)	۸۰۰	٤۰	٦۰۰

جدول ۲- توصیف آماری میزان وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه قدومه کوهی در خاک

نوع تیمار	میزان وزن خشک ریشه بر حسب			میزان وزن خشک ساقه وبرگ		
	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد
شاهد(غیرآلوده)	۱۸/٦۵	٤/۷۷	۲/۷۵	۱۱٦/۹۵	۱۲/۳٦	۷/۱۳
گروه ۱(آلودگی کم)	۱٦/۲۵	۳/۰۳	۱/۷٤	۱۰۹/۲۵	٦/۷۹	۳/۹۲
گروه۲(آلودگی متوسط)	۱٤/۵۰	۲/۷۰	۱/۵۵	۹٦/٤۵	۸/۲۰	٤/۷٤
گروه۳(آلودگی زیاد)	۱۲/٤۵	۳/۰۲	۱/۷۵	۸۳/۸۵	۱۹/٤٤	۱۱/۲۲

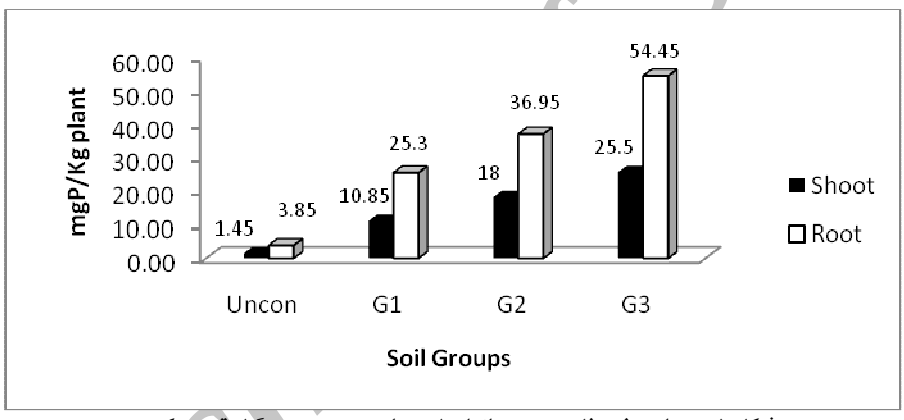
Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳- توصیف آماری میزان وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه تاج خروس وحشی در خاک

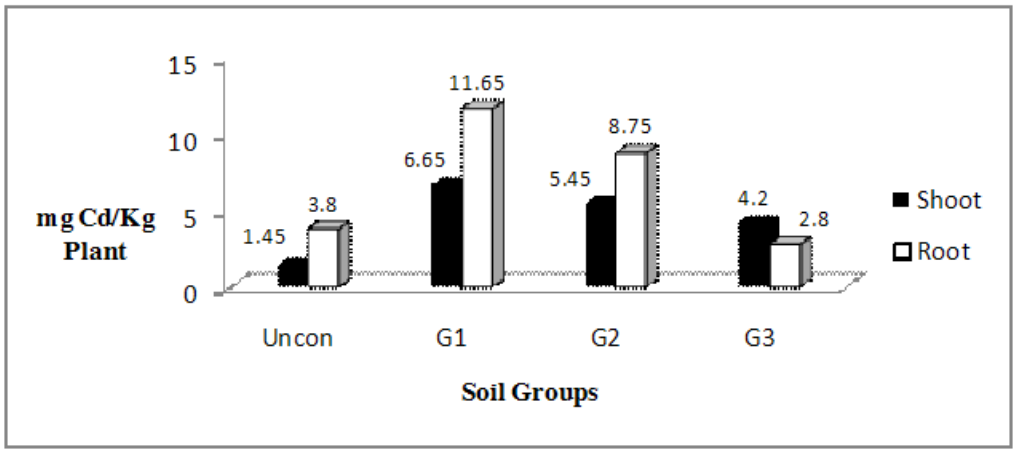
نوع تیمار	میزان وزن خشک ریشه			میزان وزن خشک ساقه وبرگ		
	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد
شاهد (غیرآلوده)	۳٤/۷۵	٤/۳٦	۲/۵۲	۱٤۸/۸۰	۱۷/۲۳	۹/۹۵
گروه ۱ (آلودگی کم)	۳۲/۲۵	٤/۸۰	۲/۷۷	۱٤۲/۰۵	۱٤	۸/۰۸
گروه۲ (آلودگی متوسط)	۲۹/۵۰	۵/۲۰	۳	۱۳٦/٤۷	۱۱/٦۷	۷٤.٦
گروه۳ (آلودگی زیاد)	۲٦/٦۵	۳/٤۳	۱/۹۸	۱۱۳/٤۵	۹/۵	۵/٤۸

جدول ٤- توصیف آماری میزان وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه علف مرغ در خاک

نوع تیمار	میزان وزن خشک ریشه			میزان وزن خشک ساقه و برگ		
	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد
شاهد(غیرآلوده)	٤۰/۵۰	۵/۰۵	۲/۹۱	۲٦۲/٦۵	۱۱/۳۰	٦/۵۳
گروه ۱(آلودگی کم)	۳۸/۱۵	٤/٦۳	۲/٦۷	۲۵۳/۰۵	۷	٤/۰٤
گروه۲(آلودگی متوسط)	۳٦/٤۵	۲/۸۸	۱/٦٦	۲٤۰/٤۵	۱۲/٦۲	۷/۲۹
گروه۳(آلودگی زیاد)	۳۳/۷۵	۳/۱۹	۱/۸٤	۲۳۲/٦۵	۱٤/٤۱	۸/۲۲

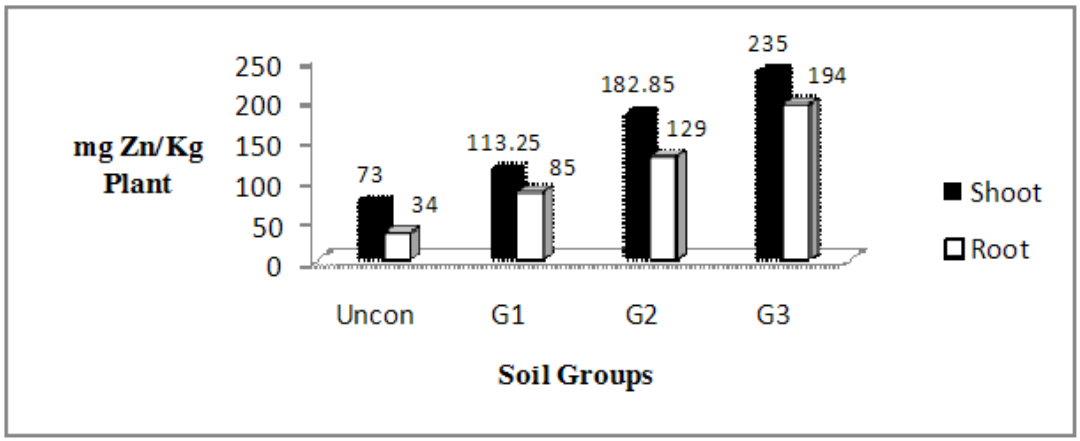


شکل ۱- میزان جذب فلز سرب در اندامهای هوایی و زیر زمینی گیاه قدومه کوهی

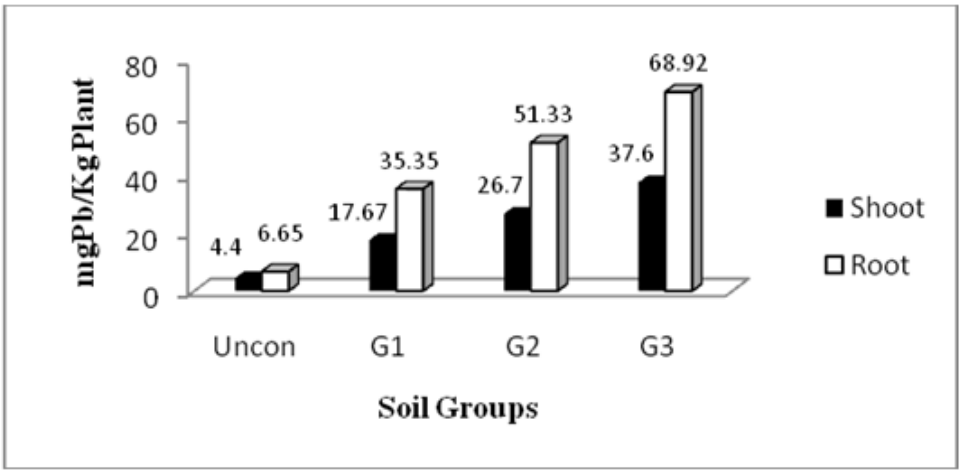


شکل ۲- میزان جذب فلز کادمیم در اندامهای هوایی و زیرزمینی گیه قدومه کوهی

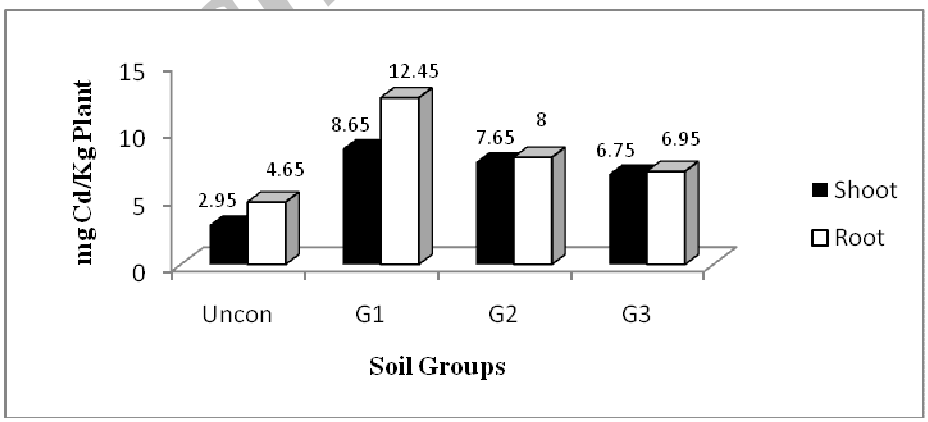
www.SID.ir



شکل ۳- میزان جذب فلز روی در اندامهای هوایی و زیر زمینی گیاه قدومه کوهی

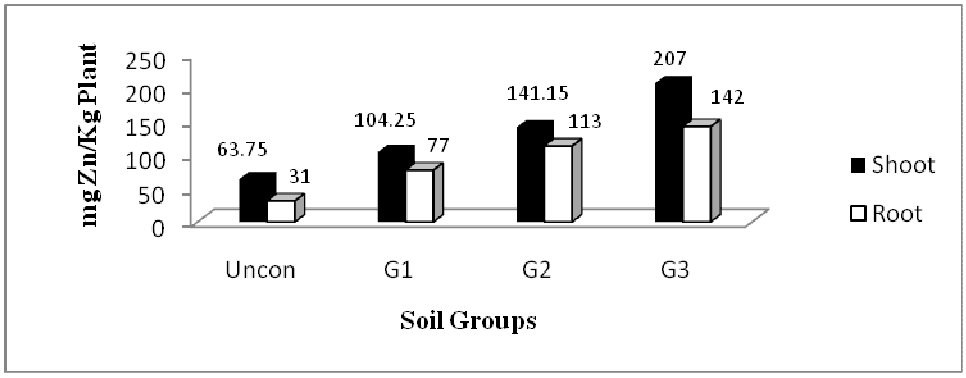


شکل ٤- میزان جذب فلز سرب در اندامهای هوایی و زیر زمینی گیاه تاج خروس وحشی

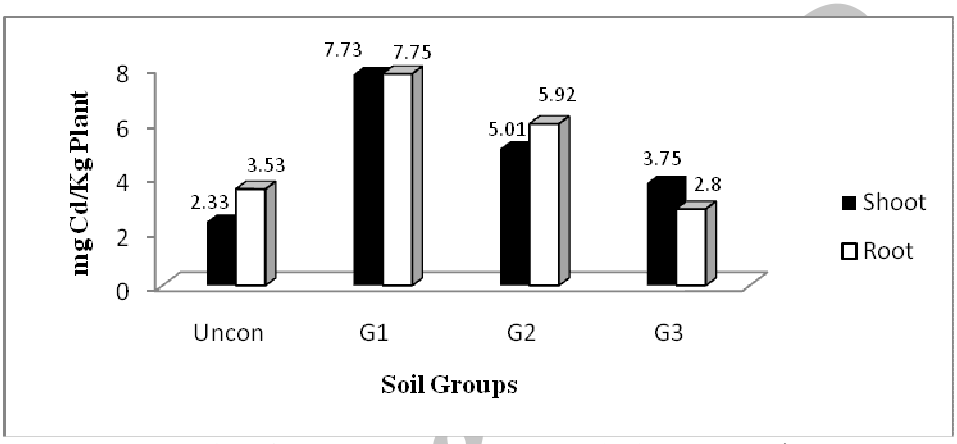


شکل ٥- میزان جذب فلز کادمیم در اندامهای هوایی و زیر زمینی گیاه تاج خروس وحشی

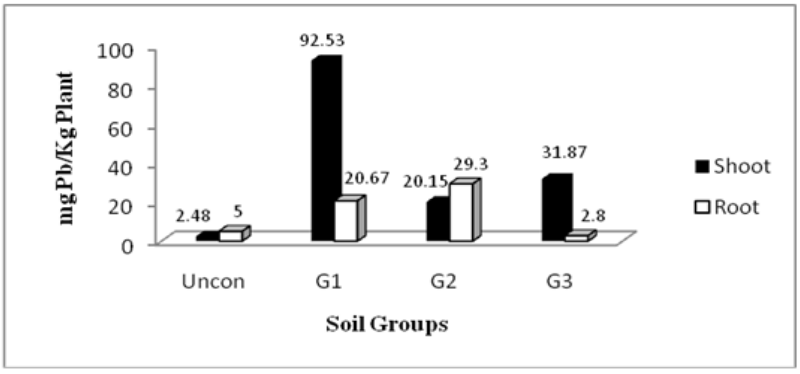
www.SID.ir



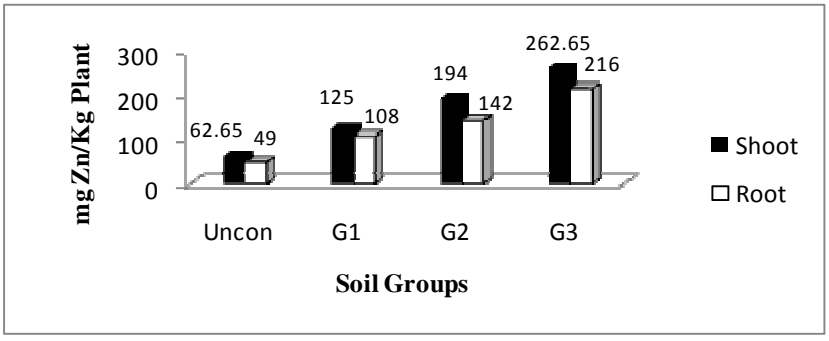
شکل ٦- میزان جذب فلز روی در اندامهای هوایی و زیر زمینی گیاه تاج خروس وحشی



شکل ۷- میزان جذب فلزکادمیم در اندامهای هوایی و زیر زمینی گیاه علف مرغ

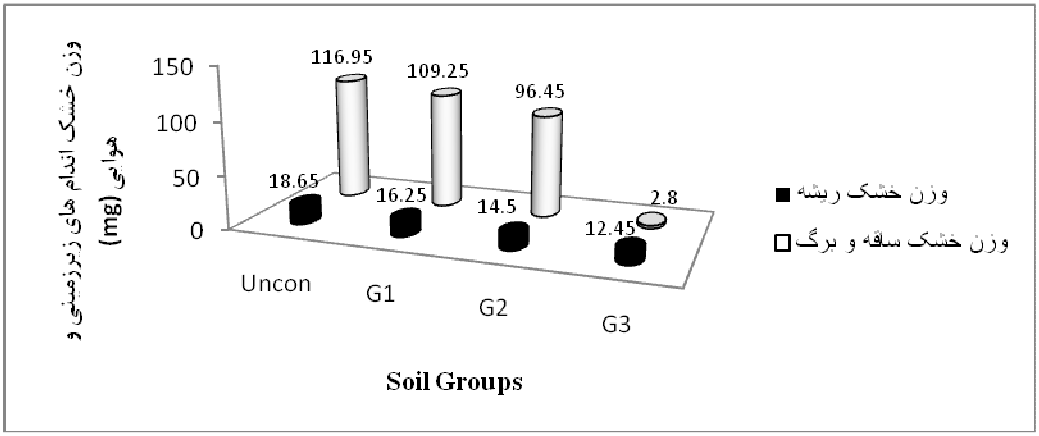


شکل ۸- میزان جذب فلزسرب در اندامهای هوایی و زیر زمینی گیاه علف مرغ

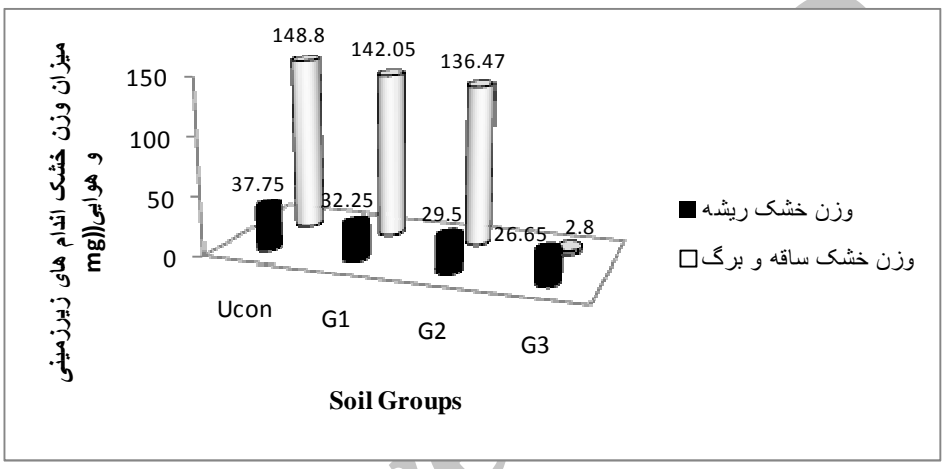


شکل ۹- میزان جذب فلزروی در اندامهای هوایی و زیر زمینی گیاه علف مرغ

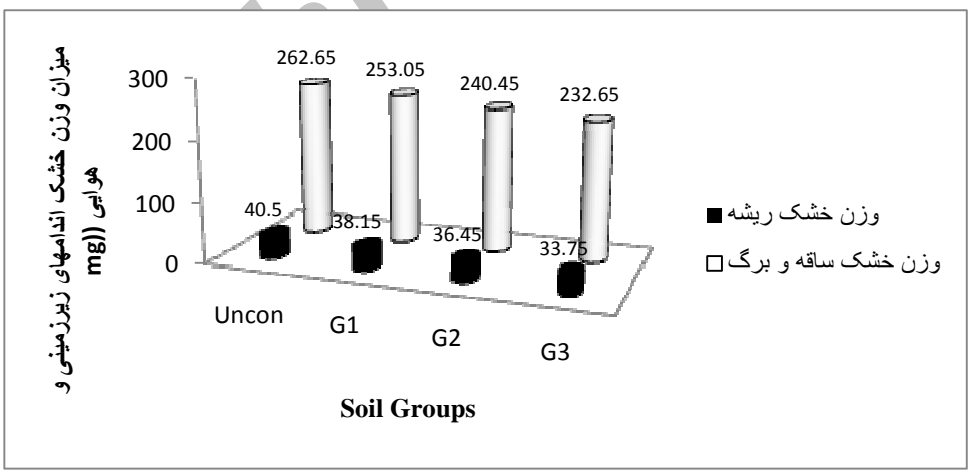
www.SID.ir



شکل ۱۰- میزان بیوماس تولیدی گیاه قدومه کوهی در تیمارهای مختلف



شکل ۱۱- میزان بیوماس تولیدی گیاه تاج خروس وحشی در تیمارهای مختلف



شکل ۱۲- میزان بیوماس تولیدی گیاه علف مرغ در تیمارهای مختلف

نتیجه‌گیری

در این مطالعه افزایش میزان جذب و تجمع فلزات سنگین در گیاهان با افزایش غلظت آنها در خاک به استثنای کادمیوم نشان داده شد. همچنین کاهش میزان بیوماس تولیدی در گیاهان با افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک ملاحظه می شود. هدف از این تحقیق، بررسی توان پاکسازی برخی از گیاهان بومی

www.SID.ir

کشور برای پاکسازی فلزات سنگین کادمیوم، سرب و روی از خاکهای آلوده بوده است از این رو پس از گیاه پالائی میزان فلزات سنگین باقیمانده در خاک مورد سنجش قرار نگرفتند که پیشنهاد می‌شود تغییرات ایجاد شده در ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی خاک به ویژه فلزات سنگین باقیمانده در خاک پس از عملیات پالایش در مطالعات آینده مد نظر قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

خداوردیلو، ح. و همایی، م. ۱۳۸٦. مدل سازی پالایش سبز خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ٤۲(ب): ٤۲٦-٤۱۷.

خداوردیلو، ح.، همایی، م.، لیاقت، ع. و میرنیا، خ. ۱۳۸٦. ارزیابی کمی امکان پالایش سبز خاک‌های آلوده به سرب به وسیله شاهی، علوم کشاورزی، (۲)۱۳: ۳۷۰-۳۵۷.

دلالیان، م. و همایی، م. ۱۳۸۹. شبیه سازی زمان لازم برای پالایش سبز خاک‌های آلوده شده به کادمیم و مس به وسیله گیاه مریم گلی، دانش آب و خاک، ٤: ۱٤۱-۱۲۹ .

گیویان راد، م.، صادقی، ط.، لاریجانی، ک. و حسینی، ا. ۱۳۹۰. تعیین فلزات سنگین کادمیم و سرب در سبزی‌های خوراکی کاهو، نعناع و تره کشت شده در اراضی مختلف جنوب تهران، علوم غذایی و تغذیه، ۲: ٤٤-۳۸.

Afyuni, M. and Nourbakhsh, F. 1997 . Extractability of some heavy metals in sludge amended calcareous soils. Water and Wastewater, 20:4-9.

Brooks, R.R. 1999. Phytoarcheology and hyper accumulator “In R.R. Brooks (ed) Plants that hyper accumulate heavy metals, CAB Int. Newyork, p.p: 95-118.

Chaney, R.L., Malik, M., Li, Y.M., Brown, S.L., Angle J. S. and Baker. A. J. M. 1997. Phytoremediation of soil metals, Current – opin _in Biotech

Cunningham, S.P., Berti, W.R. and Huang .J.W .1995. phytoremediation of contaminated soils, Elsevier Science Ltd. Chapter.1, manipulating metabolism, 393-394.

Danish EPA. 2000. Plants can remediate contaminated soil, www. Danish EPA, June 1998.

Ebbas, D.S., Lasat, M. and Brady, D.J. 1997. Phytoextraction of cadmium and zinc from contaminated site. Journal of Environment, 26:1424-1430.

Gupta, P.K.2000. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios. New Delhi, India.p.438.

ITRC. 2001. Phytotechnology technical and regulatory Guidance document, http:/www.itrc web.org

Khodaverdiloo, H. and Homaee, M. 2008. Modeling of cadmium and lead phytoextraction from soils. Polish Journal of Soil Science, 41:149-162.

Lasat, M. M. 2002. Phytoextraction of toxic metals: Are view of biological mechanisms, Review and analyses with heavy metals, Journal of Environment, 31:109-120

Lasat, M.M. 1998. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil American Association for the advancement of environmental science and engineering fellow, http:/www. Clu –in .org / down load/ remed /Lasat.

Liu, J.R.M. Shu, C.H. Choi, D. 2000. Phytoremediation of cadmium contamination: over expression of metallotioneine in transgenic tobacco plant, Udesgesund heitsbl-Gesundheits forch-Gesund heits Schutz,43:126-130.

MC- Grath. S.P., Shen, Z.G. and Zhao, F.J. 1997. Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of the plants gron in contaminated soils. PL Soil , 188, 153-59.

Salt, D.1995. phytoremediation, Anovel strategy, Biotech, 13:465-471.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Phytoremediation of heavy metal (Lead, Zinc and Cadmium) from polluted soils by Arasbaran protected area native plants

Fatemeh Akbarpour Saraskanroud[1*], Farhad Sadri[2] and Dariush Golalizadeh

1*) M. Sc. of Chemistry & Fertility Soil, College of Agriculture, Tabriz University, Tabriz. Iran, Corresponding author: email: akbarpourfatemeh@gmail.com
2) PhD Student, Science & Research Branch, Azad University, Tehran. Iran
3) M. Sc. Graduated, Department of Environment, Tehran, Iran.

Received: 24-06-2011 Accepted: 20-05-2012

Abstract

Heavy metals are the most important soil and environmental pollutants. Phytoremedation is one of the environmental oriented technologies that use plants to clean up contaminated soils from heavy metals. The objective of this study was to assess the capability of some native plants to phytoextract some heavy metals from the contaminated soils. Consequently, after preparing and stabilization of the contaminated soils, the seeds of some native plants (*Arabis arenosa, Amaranthus retroflexus*, *Agropyron repens*) were seeded, grown and harvested in a designed pot experiment. The soil and plant samples were taken and dried out in an oven at 85 ˚c for 48 hours. The mean concentration of each heavy metal in the samples was determined using Atomic Absorption Spectrometry apparatus. The results indicated that Pb and Cd concentration in plant roots were more than shoots. Lead concentration in plant underground portion and Zinc concentration in aboveground portion were higher. The results further indicated that the maximum Zinc concentration in Agropyron repens aboveground portion was 262.65 $Mgkg^{-1}$ and the maximum Pb concentration in amaranthus retrofleus underground portion was 71.25 $Mgkg^{-1}$. From the plant extraction of this study we discovered that pb and cd concentration in soils are considered to become higher in root than shoots of plants. Pb concentration in underground portion and zinc concentration in aboveground portion is higher. Finding of this research show that Zinc concentration maximum in Agropyron repens aboveground portion is 262.65 $mgkg^{-1}$ and Pb concentration maximum in Amaranthus retroflexus underground portion is 71.25 $mgkg^{-1}$.

Keywords: Amaranthus retroflexus; Agropyron repens; Arabis arenosa; Heavy metals; Phytoremediation; Remediation; Soil

Archive of SID

www.SID.ir