بررسی شرایط بهینه عملیاتی در گیاه پالایی خاک های آلوده به سرب و کادمیوم توسط گیاهان بومی ایران

عبدالایمان عموئی[1]، امیر حسین محوی[2]، کاظم ندافی[2]، حمید فهیمی[3]، علیرضا مصداقی نیا[4]، سیمین ناصری[4]

۱. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پیراپزشکی و بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بابل، بابل، ایران (نویسنده مسئول)، تلفن ثابت: ۲۲۳۴۱۴۲-۰۱۱۱، Imnamou@yahoo.com

۲. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۳. استاد گروه بیولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

چکیده

سابقه و هدف: در دهه اخیر، تکنولوژی گیاه پالایی به دلیل ارزانی، سادگی، استفاده از انرژی نورانی خورشید و برخورداری از مکانیسم های طبیعی، از اهمیت فوق العاده ای برخوردار گردیده است. در این تحقیق، قابلیت پاکسازی خاک های آلوده به سرب و کادمیوم توسط گیاهان بومی ایران مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها: در این مطالعه تجربی، از گیاهان گاو پنبه، تاج خروس وحشی و ذرت مورد استفاده قرار گرفت. عصاره‌گیری در نمونه‌های خاک با استفاده از نیتریک و هیدرو کلریک اسید و در گیاهان با مخلوط نیتریک، پرکلریک و سولفوریک اسید انجام گردید. میزان سرب و کادمیوم در نمونه های خاک و گیاه به کمک دستگاه جذب اتمی " Perkin-Elmer" تعیین شد.

نتایج: میزان سرب(خاک های قلیایی) در ریشه گیاهان بیشتر از اندام های هوایی و در خاک های اسیدی(به جز ذرت) کمتر از اندام های هوایی بوده است. این مقادیر در تیمارهای گروه ۳ و در اندام های زیر زمینی و هوایی گاو پنبه، تاج خروس و ذرت بر حسب میلی گرم بر کیلو گرم (خاک های قلیایی) به ترتیب(۵۴/۵، ۲۵/۵)، (۶۹، ۳۷/۶) و (۴۷، ۳۲) و در خاک های اسیدی به ترتیب (۷۱/۴، ۹۲/۵)، (۸۹، ۱۲۰/۵) و (۸۵، ۶۶/۷) بدست آمد. میزان کادمیوم نیز در اندام های گیاهان و در خاک های قلیایی به ترتیب (۶/۵، ۴)، (۸، ۶/۲) و (۵/۶، ۳/۴) و در خاک های اسیدی به ترتیب (۵/۸، ۴/۵)، (۷/۶، ۵/۴) و (۶، ۴/۸) میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. میزان بیوماس تولیدی گیاهان درخاک های آلوده (گروه ۳) کمتر از تیمار شاهد و گروه های ۱ و ۲ بود.

نتیجه گیری: با توجه به افزایش میزان جذب و تجمع سرب و کادمیوم در گیاهان رشد یافته در خاک های اسیدی و قلیایی و میزان بیوماس گیاهان ذرت و تاج خروس وحشی، کاربرد این دسته از گیاهان بومی به منظور پالایش خاک های آلوده به فلزات سنگین در مناطق مختلف کشور مناسب می باشد.

واژه های کلیدی: گیاه پالایی، ذرت، تاج خروس وحشی، گاو پنبه، خاک، سرب، کادمیوم،

وصول مقاله :۹۱/۱/۱۵ اصلاحیه نهایی: ۹۱/۴/۱۱ پذیرش: ۹۱/۴/۱۸

مقدمه

در حال حاضر یکی از چالش های اساسی در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین در خاک به سبب عدم تجزیه آنها توسط میکرو ارگانیسم ها می باشد. این گونه فلزات با توجه به داشتن خواص و اثرات بالقوه سیتوتوکسیک، کارسینوژنیک و موتاژنیک، مخاطرات جدی را بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده وارد می نمایند (۲و۱). از سوی دیگر تخلیه پساب های صنعتی و

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]

کشاورزی همراه با دفع لجن زباله و افزایش مصرف لجن فاضلاب و کود کمپوست در مناطق کشاورزی، سبب تغییرات شگرفی بر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک های این مناطق و بدنبال آن افزایش میزان جذب و آلودگی فلزات سنگین در گیاهان و محصولات کشاورزی نظیرگندم و برنج را در دنیا بهمراه داشته است (۳). موارد گوناگونی از آلودگی به فلزات سنگین و به ویژه فلز سمی کادمیوم بر اثر مصرف بی رویه کودهای شیمیایی و یا استفاده از لجن فاضلاب در خاک مناطق کشاورزی دنیا گزارش گردیده است (۲و۱). با توجه به روند رو به رشد جمعیت دنیا از سویی و افزایش تدریجی میزان آلودگی های محیط زیست و بدنبال آن نابودی بخش مهمی از خاک های کشاورزی، چالش های اساسی و جدی دنیا در دهه آینده بر سر موضوع مهم امنیت غذایی از جنبه های کمی و کیفی آن خواهد بود. در کشور ما نیز با توجه به افزایش روند توسعه صنعتی در برنامه های ساخت و احداث صنایع و کارخانه های مختلف از سویی و نیز وجود قابلیت بالقوه مناسب در زمینه توسعه کشاورزی در اکثر مناطق و خصوصا در استان های شمالی و شمال غرب کشور، آلودگی خاک های مناطق مزبور به انواع ترکیبات آلاینده از جمله فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی و نیز پاکسازی این نوع فلزات سمی و خطرناک از محیط زیست و خاک دارای اهمیت زیاد خواهد بود. در سال های اخیر، استفاده از گیاهان جهت پاکسازی خاک های آلوده به فلزات سنگین به دلایل ارزانی، سادگی، استفاده از انرژی خورشید، مقبولیت همگانی، انجام پالایش در محل، فقدان باقیمانده مواد و ترکیبات سمی، حفظ و نگهداری کیفیت های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، رویکردی طبیعی و زیست محیطی، افزایش ظرفیت های طبیعی و پوشش های گیاهی، جلوگیری از فرسایش خاک، کنترل نشتاب و جلوگیری از نفوذ آن به آب های زیر زمینی، تلطیف هوا از طریق جذب ذرات و گاز های آلاینده و به ویژه گاز کربنیک و بالنتیجه تعدیل اثر گلخانه ای در اتمسفر، از توجه بسیار زیادی برخوردار گردیده است (۷-۲). تحقیقات در زمینه کاربرد گیاهان و درختان در پاکسازی خاک های آلوده به ترکیبات مختلف آلی و معدنی و به ویژه فلزات سنگین در چند سال اخیر اهمیت زیادی یافته است. بررسی مروری منابع علمی و مقالات نشان می دهد که موضوع استفاده از گیاهان در پاکسازی خاک های آلوده به فلزات سنگین را اولین بار" Chaney " و همکاران در سال ۱۹۹۲ در آمریکا به صورت عملی ارائه نموده اند (۱۰-۸ و۲). هم اکنون تحقیقات گسترده ای در زمینه پاکسازی محیط زیست و خاک های مناطق آلوده توسط محققین مختلف در سطح دنیا در حال انجام است، که در بین آنها باید به کارهای دانشمندانی نظیر Chaney، McGrath، Brooks، Baker و Robinson در این زمینه اشاره داشت (۱۵-۱۱). تحقیقات گسترده‌ای در زمینه گیاه پالایی خاک های آلوده به رادیو سزیوم و سایر رادیو عناصر ناشی از واقعه چرنوبیل در اکراین و سایر مناطق دنیا انجام شده است. در این مطالعات از گیاهان ذرت (Zea maize) و تاج خروس وحشی (Amaranthus retroflexus) بیشتر استفاده شده است (۱۰و۹).

با توجه به این که روش های پاکسازی خاک های آلوده به فلزات سنگین توسط گیاهان در مناطق دارای آلودگی های کم و متوسط بسیار مطلوب می باشد. بنابراین موضوع کاربرد و استفاده گیاهان در پاکسازی و زیست پالایی خاک های آلوده، با توجه به وجود پوشش های گیاهی فراوان و متراکم و نیز وجود خاک های با آلودگی کم فلزات سنگین در مناطق مختلف استان های شمال و شمال غرب کشور، روشی بسیار مناسب خواهد بود.

در تحقیق حاضر ضمن بررسی میزان غلظت سرب، کادمیوم و روی درخاک های آلوده، به مطالعه میزان قابلیت جذب و پاکسازی فلزات مزبور توسط گیاهان بومی کشور در خاک های اسیدی و قلیایی پرداخته شده است. در این

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]

مطالعه، از گیاهان ذرت و تاج خروس وحشی به دلایل قابلیت جذب زیاد، میزان تولید بیومس بالا و قابلیت رشد و نمو مناسب در اکثر مناطق به ویژه در استان های شمالی و شمال غرب کشور استفاده شده است. از گیاه گاو پنبه (Abutilon teophrasti) به علت غیر خوراکی بودن آن نیز در این پژوهش استفاده گردید.

مواد و روش ها

این مطالعه به صورت تجربی بوده که در شرایط آزمایشگاهی(گلخانه) انجام گردید. جهت مطالعه مرحله اول به تهیه و آماده سازی تیمارهایی با خاکهای دارای ترکیبات سرب، کادمیوم و روی کلراید به صورت مخلوط و با غلظت های مختلف (گروه اول/غلظت کم)، (گروه دوم/غظت متوسط) و (گروه سوم/غظت زیاد) در شرایط قلیایی (pH=۸) و اسیدی (pH=۵) اقدام گردیده که مشخصات آنها درجدول ۱ نشان داده شده است. جهت انجام این کار، ابتدا به میزان ۱۰۰ کیلوگرم از خاک دست نخورده و بکر مناطق دور دست و غیر آلوده اطراف شهرستان بابل جمع‌آوری و به ایستگاه تحقیقات بهداشتی دانشکده بهداشت در شهرستان بابل منتقل شده و در داخل یک حوضچه مخصوص نگهداری گردید. سپس با کمک یک دستگاه بتن مخلوط کن همراه با محلول آماده شده با غلظت‌های معین از هر یک از فلزات، کاملاً مخلوط و به داخل گلدان‌های پلاستیکی به گنجایش ۱۰ لیتر منتقل گردید. سپس از طریق غرقاب کردن خاک نمونه با آب به عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متر در هر گلدان، خاک از لحاظ رطوبت اشباع و به شرایط خاک طبیعی نزدیک گردید. سپس جهت تثبیت و تعادل اجزای خاک و فلزات سنگین مزبور و همسان سازی شرایط آلودگی مصنوعی با شرایط آلودگی طبیعی، کلیه تیمارهای حاوی خاک‌های آلوده و تیمارهای شاهد (خاک های طبیعی و غیر آلوده) به مدت بیش از ۶ ماه در شرایط هوای آزاد قرار داده شد. در این مطالعه از گیاهان بومی شمال ایران به نام های تاج خروس وحشی (Amaranthus retroflexus)، گاو پنبه (Abutilon theophrasti) و ذرت (Zea maize) استفاده شد. با توجه به تعداد گیاهان مزبور (۳ گیاه)، میزان آلودگی(۴/ شامل تیمارهای مورد و شاهد)، PH خاک (قلیایی و اسیدی) به همراه ۳ تکرار، مجموع تعداد تیمارهای (گلدان) مورد نیاز ۷۲ عدد بدست آمد. اسیدیته خاک به شیوه دو غاب آب مقطر (به نسبت ۱ به ۲/۵) و با کمک pH متر الکتریکی مدل "Aqualytic" انجام گردید. اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری با استفاده از محلول سدیم هگزا متا فسفات و سدیم کربنات انجام شد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC/Cathion Exchange Capacity) توسط محلول استاندارد ۱ نرمال آمونیوم استات تعیین گردید. اندازه گیری کربن آلی خاک به روش والکلی- بلاک انجام شد.

جدول۱. غلظت فلزات سنگین در خاک های قلیایی و اسیدی بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم

عنصر / نمونه	روی	کادمیوم	سرب
شاهد (غیر آلوده)	۲۳/۵۰	۰/۱۳	۸/۵۰
گروه ۱ (آلودگی کم)	۲۰۰	۱۰	۱۵۰
گروه ۲ (آلودگی متوسط)	۴۰۰	۲۰	۳۰۰
گروه ۳ (آلودگی زیاد)	۸۰۰	۴۰	۶۰۰

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]

پس از تهیه بذر هر یک از گیاهان مزبور، آنها را به داخل کرت های کوچک منتقل نموده که پس از بوجود آمدن نشا ها، جابجایی و کاشت آنها به داخل گلدان های پلاستیکی ۱۰ لیتری صورت گرفت. بطور معمول در هر گلدان به تعداد ۴ تا ۵ عدد نشا کاشته شد. جهت برخورداری کلیه تیمارها از شرایط محیطی و مکانی (تابش خورشید، میزان درجه حرارت و رطوبت، میزان بارندگی و جهت بادها) یکسان، موقعیت و طرز قرار گیری هر یک از تیمارها به صورت متناوب در هر هفته تغییر می کرد. عملیات برداشت اندام های ریشه و برگ، از خاک و جداسازی و شستشوی آنها با آب مقطر غیر یونیزه انجام گرفت. سپس نمونه‌های گیاهی، بمدت حداکثر ۷۲ ساعت و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در داخل اجاق قابل تنظیم درجه حرارت (Hotbox)، خشک و به کمک آسیاب برقی کاملاً کوبیده و بصورت پودر درآمده که پس از گذرانیدن از سرند ۲ میلی‌متری پلی‌اتیلنی، با ترازوی ۰/۰۰۰۱ گرم دقت مورد توزین قرار گرفت. عصاره‌گیری خاک با استفاده از اسیدهای نیتریک و کلریدریک ۶۵ درصد در داخل بشر ۱۲۵ میلی‌لیتری و بر روی اجاق برقی انجام گردید. در گیاهان با استفاده از مخلوط نیتریک، پرکلریک و سولفوریک اسید غلیظ انجام گردید. مخلوط مورد نظر از ۴۰۰ میلی‌لیتر نیتریک اسید ۶۵ درصد، ۴۰ میلی‌لیتر پرکلریک اسید ۷۰ درصد و ۱۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۹۷ درصد تشکیل شده بود. غلظت فلزات سنگین مورد نظر در نمونه های خاک و گیاه به کمک دستگاه جذب اتمی "Perkin-Elmer" مدل ۶۰۳ تعیین گردید. دستگاه را با استفاده از نمونه آب مقطر (Blank) بر روی صفر تنظیم نموده و عمل کالیبراسیون انجام شد. با قرائت میزان جذب هر یک از نمونه های مورد نظر توسط دستگاه جذب اتمی و انتقال آن به منحنی کالیبراسیون تهیه شده، میزان غلظت هر یک از فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی به ترتیب در طول موج های ۲۸۳/۵، ۲۲۸ و ۲۱۳/۹ نانومتر تعیین گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از روش آنالیز واریانس و مقایسه های چندگانه آن به روش Tukey انجام گرفت.

یافته ها

الف- میزان غلظت سرب در گیاهان در شرایط مختلف غلظت سرب و pH خاک

در جدول ۱، میانگین غلظت سرب در اندام های زیر زمینی و هوایی گیاهان گاو پنبه، تاج خروس وحشی و ذرت رشد یافته بر روی خاک های قلیایی (pH=۸) نشان داده شده است.

جدول ۱. میزان سرب و بیومس تولیدی درگیاهان بر حسب میزان آلودگی در خاک های قلیایی(pH= ۸)

نوع گیاه / نوع تیمار	گاوپنبه			تاج خروس وحشی			ذرت		
	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)
	ریشه	ساقه و برگ		ریشه	ساقه و برگ		ریشه	ساقه و برگ	
شاهد	۴/۹	۱/۳	۱۳۵/۶	۶/۷	۴/۴	۱۸۳/۵	۵	۲/۵	۳۰۳/۱
گروه ۱	۲۵/۳	۱۰/۹	۱۲۵/۵	۳۵/۳	۱۷/۷	۱۷۳/۶	۲۰/۶	۱۲/۵	۲۹۱/۳
گروه ۲	۳۷	۱۸	۱۱۰/۹	۵۱/۳	۲۶/۷	۱۶۳/۵	۲۹	۲۰/۲	۲۷۶/۳
گروه ۳	۵۴/۵	۲۵/۵	۹۶/۲	۶۸/۹	۳۷/۶	۱۳۸/۷	۴۷	۳۱/۹	۲۵۹/۲
P	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]

با توجه به جدول ۱، در کلیه تیمارها، میانگین غلظت سرب در ریشه بیشتر از ساقه و برگ بوده است. همچنین میانگین غلظت سرب در اندام های زیر زمینی و هوایی گیاهان مختلف رشد یافته بر روی خاک های مختلف بر حسب غلظت سرب (گروه های ۱، ۲، ۳ و شاهد) با یکدیگر متفاوت بوده که این تفاوت از لحاظ آماری نیز معنی دار می باشد (p=۰/۰۰۰). در جدول ۲، میانگین غلظت سرب در اندام های هوایی و زیر زمینی گیاهان گاو پنبه، تاج خروس وحشی و ذرت رشد یافته در خاک های اسیدی (pH= ۵) ارائه شده است. مطابق این جدول، میانگین غلظت سرب در اندام های هوایی گیاهان گاو پنبه و تاج خروس وحشی در خاک های اسیدی بیشتر از ریشه آنها بوده است (بر خلاف نتایج بدست آمده در خاک های قلیایی و در جدول ۱). همچنین میانگین غلظت سرب در اندام های هوایی و زیر زمینی گیاهان مورد بررسی در تیمارهای شاهد با میانگین آن در تیمارهای گروه های اول، دوم و سوم تفاوت داشته که این تفاوت از لحاظ آماری معنی دار بوده است (p=۰/۰۰۰). در حالی که، میانگین غلظت سرب در کلیه تیمارهای مورد و شاهد در اندام های زیرزمینی (ریشه) گیاه ذرت بیشتر از اندام های هوایی آن می باشد (جدول ۱). همچنین بین میانگین غلظت سرب در تیمار شاهد با کلیه تیمارهای آلوده، اختلاف وجود داشته که این تفاوت از لحاظ آماری معنی دار می باشد (p=۰/۰۰۰).

جدول ۲. میزان سرب و بیومس تولیدی در گیاهان برحسب میزان آلودگی در خاک های اسیدی(pH= ۵)

نوع گیاه / نوع تیمار	گاوپنبه			تاج خروس وحشی			ذرت		
	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)
	ریشه	ساقه و برگ		ریشه	ساقه و برگ		ریشه	ساقه و برگ	
شاهد	۷	۹	۱۵۳/۱	۱۳/۲	۱۹/۵	۱۹۹/۴	۹/۵	۵/۴	۲۸۲/۳
گروه ۱	۳۵	۴۷/۹	۱۱۹/۹	۴۹	۶۶	۱۶۳/۵	۴۰	۲۵	۲۴۲/۲
گروه ۲	۵۰	۷۳	۹۶	۶۸/۵	۹۳/۵	۱۴۶/۸	۶۴/۹	۴۶	۲۰۵/۷
گروه ۳	۷۱/۴	۹۲/۵	۷۷/۶	۸۹	۱۲۰/۵	۱۱۶/۷	۸۵	۶۶/۷	۱۷۹/۱
P	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

ب- میزان غلظت کادمیوم در گیاهان مختلف در شرایط گوناگون غلظت و pH خاک

در جدول ۳، میزان غلظت کادمیوم در اندام های هوایی و زیر زمینی گیاهان گاو پنبه، تاج خروس وحشی و ذرت در خاک های قلیایی (pH=۸) آلوده و شاهد ارائه شده است. مطابق این جدول، میانگین غلظت کادمیوم در اندام های زیرزمینی گیاهان مورد مطالعه در کلیه تیمارهای مورد و شاهد بیشتر از اندام های هوایی آن می باشد. آنالیز های آماری نیز نشان می دهد که تفاوت معنی داری بین میانگین جذب فلز کادمیوم در تیمارهای شاهد با گروههای ۱، ۲ و ۳، در اندام های هوایی و زیر زمینی گیاهان مختلف وجود دارد (p=۰/۰۰۰). در جدول ۴، میزان جذب فلز کادمیوم در اندام های مختلف گیاهان مورد مطالعه در خاک های آلوده اسیدی (pH=۵) نشان داده شده است. طبق این جدول، میانگین جذب فلز کادمیوم در اندام های زیر زمینی کلیه گیاهان از اندام های هوایی آنها بیشتر می باشد. آنالیز آماری میزان جذب کادمیوم در تیمارهای شاهد و مورد در اندام های زیر زمینی و هوایی گیاهان مختلف در جدول ۴، تفاوت معنی داری را نشان می دهد.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]

جدول ۳. میزان کادمیوم و بیومس تولیدی در گیاهان برحسب آلودگی در خاک های قلیایی(pH= ۸)

نوع گیاه / نوع تیمار	گاوپنبه			تاج خروس وحشی			ذرت		
	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)
	ریشه	ساقه و برگ		ریشه	ساقه و برگ		ریشه	ساقه و برگ	
شاهد	۳/۸	۱/۵	۱۳۵/۶	۳/۷	۳	۱۸۳/۵	۳/۵	۲/۳	۳۰۳/۱
گروه ۱	۱۱/۷	۶/۷	۱۲۵/۵	۱۲/۵	۸/۷	۱۷۳/۶	۷/۸	۷/۷	۲۹۱/۳
گروه ۲	۸/۸	۵/۵	۱۱۰/۹	۸	۷/۷	۱۶۳/۵	۵/۹	۵	۲۷۶/۳
گروه ۳	۶/۵	۴	۹۶/۲	۸	۶/۲	۱۳۸/۷	۵/۶	۳/۴	۲۵۹/۲
P	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

جدول ۴. میزان کادمیوم و بیومس تولیدی در گیاهان برحسب آلودگی در خاک های اسیدی(pH= ۵)

نوع گیاه / نوع تیمار	گاوپنبه			تاج خروس وحشی			ذرت		
	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)	میزان غلظت(mg/kg)		بیومس (gr)
	ریشه	ساقه و برگ		ریشه	ساقه و برگ		ریشه	ساقه و برگ	
شاهد	۳/۹	۳/۵	۱۵۳/۱	۵/۲	۳/۹	۱۹۹/۴	۴/۶	۳/۵	۲۸۲/۳
گروه ۱	۱۳/۳	۸/۸	۱۱۹/۹	۱۲/۵	۱۰	۱۶۳/۵	۱۰/۸	۸	۲۴۲/۲
گروه ۲	۷/۸	۵/۲	۹۶	۸/۳	۷	۱۴۶/۸	۹/۵	۶/۳	۲۰۵/۷
گروه ۳	۵/۸	۴/۵	۷۷/۶	۷/۶	۵/۴	۱۱۶/۷	۶	۴/۸	۱۷۹/۱
P	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰

ج- میزان بیومس گیاهان مورد مطالعه در شرایط مختلف خاک بر حسب غلظت فلزات سنگین و pH خاک

مطابق جداول ۱ و ۳ ، میزان بیومس گیاهان مختلف (خاک قلیایی) در تیمارهای شاهد بیشتر از گروه های اول، دوم و سوم بوده و از لحاظ آماری نیز این اختلاف میان تیمار شاهد با تیمارهای دوم و سوم معنی دار است(p=۰/۰۰۰). همچنین میزان بیومس گیاهان مورد مطالعه در خاک های اسیدی در تیمارهای آلوده کمتر از تیمارهای شاهد است، که این تفاوت در هر یک از گروه ها با گروه شاهد از لحاظ آماری معنی دار می باشد(p=۰/۰۰۰). میانگین بیومس گیاهان مختلف در گروه های اول، دوم و سوم در خاک های قلیایی (جداول ۱ و ۳) بیشتر از خاک های اسیدی (جداول ۲ و ۴) بوده که این تفاوت از لحاظ آماری معنی دار است (p=۰/۰۰۰).

بحث

با توجه به جداول ۱ و ۲، با افزایش میزان غلظت فلز سرب در خاک های آلوده (تیمارهای گروه ۱، ۲ و ۳) میزان جذب سرب در اندام های زیرزمینی و هوایی گیاهان مزبور زیاد شده است. در این قسمت از پژوهش حداکثر میزان جذب سرب در اندام های زیرزمینی گیاهان تاج خروس وحشی، گاوپنبه و ذرت در خاک های گروه سوم به ترتیب ۷۱/۲۵ ، ۶۷/۴۵ و ۵۴/۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم بدست آمد. اختلاف میزان جذب فلز سرب میان اندامهای هوائی و زیر زمینی گیاهان مزبور در کلیه نمونه ها از نظر آماری معنی دار

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]

نمی باشد. از مهم ترین دلایل عدم تفاوت بین میزان غلظت سرب در نمونه های مختلف را می توان به عدم قابلیت دسترسی سرب در خاک های قلیائی توسط گیاهان مختلف نسبت داد (۶). در یک تحقیق که توسط محققین لهستانی صورت گرفت، از گیاهان مختلفی از جمله گیاه ذرت و تاج خروس وحشی جهت پاکسازی خاک های آلوده به فلزات سنگین سرب، کادمیوم و روی در شرایط گلدانی و در محیط آزاد (فیلد) استفاده گردید. در مطالعه مزبور، میانگین میزان جذب فلز سرب در گیاه تاج خروس وحشی از سایر گیاهان بیشتر بوده است (۱۶). در مطالعه دیگر توسط سازمان حفاظت محیط زیست کشور دانمارک جهت پاکسازی خاک های آلوده مناطق صنعتی و بزرگراه‌های شهر کپنهاک از تعدادی گیاهان بومی از جمله گیاه تاج خروس وحشی مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه، گیاهان تاج خروس وحشی بر روی خاک های اسیدی (pH=۶)، حداکثر میزان جذب سرب را داشته‌اند (۱۷). در تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر می توان گفت که به طور کلی در خاک های قلیایی میزان جذب و تجمع سرب در گیاهان مختلف محدود می باشد. مطالعات سایر محققین در دنیا نیز موید نتایج حاصله از این پژوهش بوده است (۱۹و۱۸و۲). در توضیح پدیده مزبور می توان گفت که در خاک های قلیایی فلز سرب از قابلیت دسترسی و تحرک اندکی در خاک برخوردار بوده که بدین ترتیب قابل جذب و تجمع در اندام های زیرزمینی و هوایی گیاهان نخواهد بود. برعکس در خاک های اسیدی، قابلیت تحرک و دسترسی فلزات سنگین از جمله سرب نسبتاً افزایش یافته و بنابراین به آسانی فلز مزبور در اختیار و دسترس گیاه قرار گرفته و توسط ریشه جذب و سپس برحسب نوع گیاه و مکانیسم های مورد استفاده در زمینه نقل و انتقال مواد، به سمت سایر قسمت های گیاه و از جمله به طرف اندام های هوایی (ساقه و برگ) منتقل می گردد. طبق نتایج بدست آمده از مطالعات سایر محققین در این زمینه بنظر می رسد که در خاک های اسیدی کنده شدن فلزات از ذرات خاک (واجذبی) در مکان های پیوند، در اثر رقابت و جایگزینی یون های H^+ با کاتیون های فلزی در خاک تقویت می‌گردد (۱۳و۱۱). pH خاک نه تنها بر قابلیت انحلال و جذب فلزات در خاک اثر می گذارد، بلکه سبب تسهیل در فرآیند جذب فلز در گیاه خواهد شد (۱۹). گیاهان از مکانیسم های ویژه ای جهت افزایش غلظت یون های فلزی در محلول خاک (Soil solution) و افزایش قابلیت دسترسی و جذب فلزات از خاک بهره می گیرند. به عنوان مثال در زمان کاهش میزان غلظت یون های فلزی در فاز محلول خاک، گیاه ممکن است با آزاد سازی اسیدهای آلی از ریشه، سبب اسیدی شدن خاک ریزوسفر گردیده به طوری که در این حالت یون های هیدروژن تولیدی با یون های فلزی تثبیت شده بر سطح خاک جابجا شده و سبب آزاد شدن یون های فلزی و افزایش غلظت آنها در فاز محلول خاک خواهد شد (۱۴و۱۰). بدین ترتیب یون های فلزی موجود در فاز محلول خاک به آسانی جذب ریشه های گیاهان شده و در داخل اندام های مختلف گیاه به مقادیر زیاد تجمع می نمایند. با وجود این در این مطالعه، میزان غلظت فلز سرب در اندام های زیرزمینی گیاه ذرت در خاک های اسیدی بیشتر از اندام های هوایی بوده است. بررسی های بعمل آمده در زمینه استفاده از اسیدهای آلی و عوامل کیلیت کننده جهت افزایش قابلیت تحرک و دسترسی فلزات سنگین و به ویژه سرب در خاک حاکی از آن است که در برخی از گیاهان نظیر ذرت، علیرغم افزایش قابلیت دسترسی فلز سرب در اطراف ریشه، این عنصر عمدتاً در داخل اندام های زیرزمینی (ریشه) تجمع گردیده و به سمت اندام های هوایی (ساقه و برگ) منتقل نمی گردد (۲۰). بسیاری از محققین بر این باورند که گیاه ذرت با استفاده از مکانیسم های داخل سلولی، سرب را در داخل واکوئول های سلول های ریشه مهار کرده و از حرکت و خروج آن از ریشه به سمت آوندهای چوبی ممانعت

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]

می‌نمایند (۵). تحقیقات سایر دانشمندان در دنیا نیز موید این موضوع بوده که قابلیت دسترسی و جذب فلزات سنگین توسط گیاهان مختلف در خاک های اسیدی بیشتر از خاک های قلیایی می باشد (۸و۵). امروزه، اسیدی شدن خاک های مناطق مختلف کشاورزی و صنعتی در دنیا سبب نابودی گیاهان بومی و از جمله محصولات کشاورزی گردیده که یکی از علل آن افزایش قابلیت دسترسی و جذب فلزات سنگین توسط گیاهان مختلف در خاک های اسیدی می باشد. در جداول ۳ و ۴، میانگین میزان جذب کادمیوم در اندام های زیرزمینی و هوایی گیاهان در خاک های قلیایی (pH=۸) حاوی غلظت های مختلف کادمیوم ارائه شده است. با توجه به جداول مزبور، مشخص می گردد که میانگین جذب فلز کادمیوم در تیمارهای مورد و شاهد، در اندام‌های زیرزمینی گیاهان مورد نظر بیشتر از اندام های هوایی آنها می باشد. در این مطالعه میانگین میزان غلظت فلز کادمیوم در اندام های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف با افزایش غلظت کادمیوم در خاک‌های قلیایی، کاهش یافته است. طبق نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر حداکثر میانگین جذب فلز کادمیوم در اندام های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف در خاک های آلوده گروه اول بدست آمده است. در این مطالعه، نتایج بدست آمده از میانگین میزان جذب فلز کادمیوم در اندام های هوایی و زیرزمینی گیاهان مختلف در خاک های اسیدی نیز دقیقاً مشابه خاک های قلیایی بوده است. به طوری که با افزایش میزان غلظت فلز کادمیوم در خاک گروه سوم، از میزان جذب فلز مزبور در اندام های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف کاسته شده است (جداول ۳ و ۴). یکی از موضوعات مهم در رابطه با وجود همزمان و مخلوط فلزات سنگین در خاک و محیط زیست، پدیده اثر متقابل یا بر هم کنش (Interaction) آنها بر یکدیگر می باشد. از مهم ترین فلزات سنگین دارای بر هم کنش، می توان به روی و کادمیوم اشاره داشت. محققین مختلف در این زمینه به این نتیجه دست یافتند که در غلظت های پایین عناصر روی و کادمیوم، این دو فلز بر هم اثر سینرژیک داشته و نیز به علت شباهت‌های زیاد (آنالوگ) این دو عنصر، گیاهان قادرند عنصر کادمیوم را به جای عنصر روی در خود جذب نمایند (۲۱و ۹و ۸). در حالی که در غلظت های زیاد، این دو عنصر در خاک بر هم اثر متضاد (آنتاگونیستیک) داشته و در این صورت فلز روی از ورود و جذب کادمیوم به داخل گیاه ممانعت می کند (۲۳و۲۲). همچنین گیاهان نیز در این حالت به صورت انتخابی تنها به فلز روی اجازه ورود، جذب و انتقال به داخل خود را می‌دهند (۲۵و۲۴و۸و۴). طبق نتایج مطالعه حاضر نیز میانگین میزان غلظت جذب شده فلز کادمیوم در گیاهان مورد نظر در غلظت های پایین عناصر روی و کادمیوم در خاک گروه ۱ حداکثر بوده است. در حالی که در غلظت های بالای این دو فلز در خاک گروه های ۲و۳، میانگین میزان جذب کادمیوم در اندام های زیرزمینی و هوایی گیاهان مختلف در خاک های قلیایی و اسیدی حداقل بوده است. به این ترتیب نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های سایر محققین در سطح دنیا نیز مطابقت داشته است. در این تحقیق، میزان بیومس اندام های زیر زمینی و هوایی گیاهان مورد مطالعه با افزایش آلودگی خاک کاهش یافته که با توجه به اثر میزان بیومس گیاه بر میزان جذب کلی فلزات سنگین، کارآیی جذب این گونه فلزات در خاک های آلوده کاهش یافت. با توجه به میزان جذب فلزات سنگین سرب و کادمیوم در اندام های مختلف گیاهان مورد مطالعه و میزان بیومس تولیدی آنها، میزان حذف این گونه فلزات سمی از خاک توسط گیاهان از حاصل ضرب اندازه این دو پارامتر بدست می آید.

نتیجه گیری

در این پژوهش گیاهان تاج خروس وحشی و ذرت بیشترین میزان جذب سرب و کادمیوم و بیومس را در شرایط مختلف (غلظت و pH) دارا بوده اند. از سوی دیگر

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]

با توجه به میزان آلودگی خاک های مناطق مختلف کشورمان (آلودگی متوسط) و نتایج مناسب بدست آمده از این تحقیق برای پالایش خاک های آلوده به فلزات سرب و کادمیوم (گروه دو)، کاربرد گیاهان به ویژه گیاه ذرت و تاج خروس وحشی جهت پاکسازی خاک های مناطق شهری و صنعتی بسیار مفید خواهد بود.

تشکر و قدردانی

از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی بابل به واسطه حمایت های مالی، تشکر و قدردانی بعمل می آید.

References

1. Iskandar IK, Kirkham MB. Trace elements in soils: bioavailability, fluxes and transfer. 4th ed., Lewis publishers, Boca Raton, Florida, 2001.p. 25- 30.
2. Amouei AI, Mahvi AH, Naddafi K. Effect on heavy metals Pb, Cd and Zn availability in soils by amendments. J Babol University of Medical Sciences, 2006; 7: 26-31.
4. ITRC. Phytotechnology technical and regulatory guidance and decition trees, revised, 2009, Washington Dc.Available at: http://www.itrc. Access time:25/6/2011.
5. Lasat MM. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms, Review and analyses with heavy metals. J Environ Qual 2002; 31: 109- 120.
6. Pulford ID, Watson C. Phytoremediation of heavy metal contaminated land by trees- A review. Environmental International 2003; 29: 529- 540.
7. Mudgal V, Madaan N, Mudgal A. Heavy metals in plants: Phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution. Agric Biol J N Am 2010; 1: 40- 46.
8. Ebbs DS, Lasat MM, Brady DJ.Phytoextraction of cadmium and zinc from contaminated site. J Environ Qual 1997; 26: 1424-1430.
9. Chaney RLM, Malik YM, Li SL, Brown JS, Baker AJM. Phytoremediation of soil metals. Current Opinion in Biotechnology 1997; 8: 279- 284.
10. Salt D. Phytoremediation: A novel strategy, Biotech 1995; 13: 465-471.
11. Baker AJM, Reeves RP, Hajar ASM. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metalophyte Thlaspi caeralesent. New Phytol 1995; 127: 61-68.
12. Raskin I, Kumar PBNA, Dushenkov S, Salt D. Bioconcentration of heavy metals by plants. Curr Opin Biotech 1994; 5: 285-90.
13. Huang JW, Cunningham SD, Chen WR. Phytoremodiation of lead contaminated soils. E S T 1997; 31:800-805.
14. Kumar PB, Dushenkov V, Motto H, Raskin I. Phytoextaction: The use of plants to remove heavy metals from soils. Environ Sci Technol 1995; 29:1232-1238.
15. Chen HM, Zheng CR, Shen ZG. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. Chemosphere 2000; 41: 229-234.
16. Gorska M. Phytoremediation in Poland. Available at: www.ics.triest.it, Access time: 25/6/2011.
17. Danish EPA. Plants can remediate contaminated soil.Available at: www.Danish EPA, June 1998. Access time: 25/6/2011.
18. Hajiboland R. An evaluation of the efficiency of cultural plants to remove heavy metals from growing medium. Plant Soil Environ 2005; 51: 156- 164.
19. Wuana RA, Okieimen FE, Imborvungu JA. Removal of heavy metals from a contaminated soil using organic chelating acids. Int J Environ Sci Tech 2010; 7: 485- 496.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]

20. Conningham SD, Anderson TA, Schwab AP. Phytoremediation of soils contaminant with organic pollutants. Advanced Agronomy 1997; 56: 55-64.
21. Romkens P, Bouwman G, Japenga J, Draaisma C. Potential and drawbacks of chelate-enhanced phytoremediation of soil. Environmental Pollution 2002; 116: 109- 121.
22. Adriano DC, Wenzel WW, Vangronsveld J, Bolan NS. Role of assisted natural remediation in environmental clean up. Geoderma 2004; 122: 121- 142.
23. Khan AG, Kuek C, Chaudhry TM, Khoo CS. Role of plants, mychrrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. Chemosphere 2000; 41: 197-207.
24. Garbisu C, Akotra I. Phytoextraction: a cost- effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Bioresourse Technology 2001; 77: 229- 236.
25. Wilde EW, Brigmon RL, Dunn DL, Heitkamp MA, and Dagnan DC. Phytoextraction of Lead from fring range soil by Vetiver grass. Chemosphere 2005; 58: 861-870.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2025-07-14]