ارزیابی کارآیی سه گیاه شورپسند در کاهش سدیم تبادلی (ESP) و آلودگی کادمیمی و سربی خاک

رقیه حمزه‌نژاد تقلیدآباد، حبیب خداوردی‌لو*، سالار رضاپور و شهرام منافی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۹/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۱۷)

چکیده

آلودگی خاک با فلزات سنگین از جمله کادمیم و سرب از نگرانی‌های جدی به شمار می‌رود. هدف از این مطالعه، ارزیابی کارآیی سه گیاه آتریپلکس (*Atriplex verucifera*)، سالیکورنیا (*Salicornia europaea*) و سلمه‌تره (*Chenopodium album*) در کاهش سدیم تبادلی و آلودگی کادمیم و سرب خاک در دو خاک با ویژگی‌های متفاوت بود. دو نمونه خاک، یکی شور- سدیمی-آهکی (S_1) و دیگری آهکی (S_2) انتخاب گردید. سپس غلظت‌های مختلف سرب و کادمیم به خاک افزوده شد. خاک‌ها پس از آلوده شدن، نزدیک هفت ماه تحت تیمار تر و خشک شدن قرار گرفتند. سپس بذرهای گیاهان ذکر شده در گلدان‌های حاوی خاک‌های آلوده در تیمارهای فوق و هم‌چنین تیمارهای شاهد (بدون آلودگی سرب یا کادمیم) کشت شدند. پس از طی دوره رشد، عملکرد گیاهان و غلظت سرب، کادمیم و سدیم خاک و گیاه در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که سالیکورنیا بالاترین انباشت کادمیم و سالیکورنیا و آتریپلکس بالاترین انباشت سرب را تحت شرایط نامطلوب خاک‌های شور- سدیمی داشتند. درحالی‌که سلمه‌تره و آتریپلکس بردباری بالایی به کادمیم در خاک معمولی داشتند. هم‌چنین کاشت این گیاهان موجب کاهش چشمگیر ESP خاک S_1 شد. سالیکورنیا با کمترین کاهش عملکرد نسبی، بردبارترین گیاه نسبت به شوری و آلودگی سرب و کادمیم در بین گیاهان مورد مطالعه شناخته شد. شناسایی عوامل پیچیده گیاهی و خاکی (شوری- سدیمی و غلظت فلز در خاک) تأثیرگذار بر کنترل غلظت فلز در این گیاهان، به طراحی فناوری گیاه‌پالایی در مناطق خشک و متأثر از نمک کمک خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: آتریپلکس، سالیکورنیا، سرب (Pb)، سلمه‌تره، کادمیم (Cd)، گیاهان شورپسند

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیاران علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به فلزات سنگین در خاک‌ها به دلیل آثار نامطلوب آنها بر فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی موجودات زنده افزایش یافته است. آلودگی خاک توسط فلزات سنگین، خطرات جدی را برای سلامت انسان و دیگر موجودات به همراه دارد (۲۲). کادمیم و سرب از جملهٔ فلزات سنگین هستند که عملکرد بیولوژیکی حیاتی ندارند و حتی در غلظت‌های کم برای موجودات زنده بسیار سمی هستند (۱۴). سرب و کادمیم آلودگی‌های پر وسعت خاک در اکثر مناطق می‌باشند که از راه‌هایی گوناگون از جمله نهشته‌های اتمسفری، دود اتومبیل‌ها، کاربرد پسماندهای صنعتی و لجن فاضلاب به خاک راه می‌یابند (۲۹). به منظور پاک‌سازی خاک‌های آلوده به فلزات، روش‌های زیادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ولی در این میان رهیافت‌های زیست محیطی و همگام با طبیعت، توسعه و کاربرد زیادی در سطح تجاری یافته‌اند. گیاه‌پالایی روشی نوین است که از گیاهان برای زدودن آلودگی‌ها از خاک بهره می‌برد. این روش در مقایسه با سایر روش‌های پالایش، بسیار کم هزینه و ساده است. از مهم‌ترین محدودیت‌های گیاه‌پالایی، عدم زیست فراهمی برخی عناصر در خاک و همچنین بردبار نبودن برخی گیاهان به شرایط تنش آلودگی است(۱۲).

موفقیت گیاه‌پالایی به شناسایی گونه‌های گیاهی مناسب که توانایی انباشت فلزات سنگین و تولید ماده خشک بالایی داشته باشند، بستگی دارد (۱۸). کاربرد گونه‌های شورپسند با سامانه ریشه‌ای عمیق، اهمیت ویژه‌ای در این مورد دارد، زیرا این گیاهان به طور ذاتی در محیط‌هایی با تنش‌های شوری و سدیمی حضور دارند و به تنش‌هایی دیگر از جمله خشکی نیز بردبار هستند. این گیاهان به ویژه آتریپلکس از گونه‌های غالب در مناطق خشک و نیمه‌خشک با شوری بالا می‌باشند که منبعی برای تغذیه دام‌ها و تجدید اراضی فرسوده مانند تپه‌های شنی، خاک‌های شور- آهکی، خاک‌های کم‌عمق و غیره به شمار می‌روند (۲۵). عموماً افزایش شوری خاک منجر به افزایش چشمگیر جذب فلزات سنگین و برخی متابولیت‌ها در گیاهان می‌گردد. هم‌چنین شوری عاملی مهم در انتقال فلزات از ریشه به شاخساره می‌باشد (۵). گیاهان می‌توانند با انحلال کلسیت خاک در ریزوسفر خود و در نتیجه افزایش غلظت یون‌های کلسیم (Ca^{2+}) در محلول خاک برای جایگزینی مؤثر یون‌های سدیم در فاز تبادلی به اصلاح ESP خاک نیز کمک نمایند (۹). هدف از این مطالعه ارزیابی کارآیی سه گیاه آتریپلکس (*Atriplex verucifera*)، سالیکورنیا (*Salicornia europaea*) و سلمه‌تره (*Chenopodium album*) در کاهش سدیم تبادلی و آلودگی کادمیمی و سربی خاک در دو خاک با ویژگی‌های متفاوت بود.

مواد و روش‌ها

دو نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) از استان آذربایجان غربی نمونه‌برداری شد. توزیع اندازه ذرات در خاک با روش هیدرومتری (۶)، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون (۲۴)، pH خاک در عصاره اشباع توسط pH متر (۲۱)، ظرفیت تبادلی کاتیونی (CEC) با روش باور (۲۷)، کربن آلی با روش والکی و بلک (۲۴)، سدیم قابل تبادل (Na_{exch}) با روش استات آمونیم یک نرمال در pH=7 (۱۶) و درصد سدیم تبادلی (ESP) خاک نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$ESP = \frac{Na_{exch}}{CEC} \times 100 \qquad [۱]$$

لازم به ذکر است که به دلیل پدیده دفع آنیونی در خاک‌های شور- سدیمی، تصحیح ESP با روش باور و هاتچر با استفاده از فرمول زیر انجام گرفت:

$$Na_{exch} = Na_t - (\frac{Cl_w}{Cl_e \times Na_{soil}}) \qquad [۲]$$

که در آن Na_{exch} مقدار سدیم تبادلی پس از تصحیح دفع آنیونی، Na_t سدیم محلول به علاوه سدیم تبادلی، Na_s مقدار سدیم محلول خاک براساس غلظت در عصاره اشباع، Cl_w مقدار کلرید در توده محلول و فاز تبادلی و Cl_e مقدار کلرید محلول خاک (عصاره اشباع) است. تمامی واحدها برحسب $cmol\ \ kg^{-1}$ است. در این مطالعه از گیاهان آتریپلکس

(*Atriplex verucifera*)، سالیکورنیا (*Salicornia europaea*) و سلمه‌تره (*Chenopodium album*) که مقاوم به شرایط سدیمی و شوری می‌باشند، استفاده شد. خاک‌ها با افزودن مقادیر مناسب نمک نیترات سرب ($Pb(NO_3)_2$) با غلظت‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک و نیترات کادمیم $Cd(NO_3)_2.H_2O$ به غلظت‌های ۱۰، ۳۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک آلوده شدند. سپس خاک با غلظت‌های یاد شده در ۳ تکرار در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی ریخته شد. خاک‌های آلوده هفت ماه در پنج دور تا رطوبت اشباع آبیاری و در هوای آزمایشگاه خشک شدند تا حد امکان برهم‌کنش‌های آلاینده و خاک تکوین یافته و شرایط آلودگی طبیعی‌تر باشد. سپس، بذرهای سالیکورنیا، آتریپلکس و سلمه‌تره در گلدان‌های مورد نظر کشت گردید. پس از جوانه‌زدن بذرها، بوته‌های سالم‌تر و قوی‌تر به تعداد پنج بوته در هر گلدان برای سالیکورنیا، چهار بوته برای آتریپلکس و هفت بوته برای سلمه‌تره تنک شدند. مقدار کافی از عناصر غذایی ضروری گیاه ($MgSO_4.7H_2O$ ،$Ca(NO_3)_2.4H_2O$ ،$K_2HPO_4.3H_2O$ ،$FeEDTA$ ، $ZnSO_4.7H_2O$ ،$(NH_4)_6MO_{24}.4H_2O$ ، $H3BO_3$ ،$MnSO_4.4H_2O$ و $CuSO_4.5H_2O$) برای جلوگیری از هر گونه تنش تغذیه‌ای به گلدان‌های مذکور افزوده گردید. هم‌چنین، برای تصحیح اثر سایر عوامل (از جمله آبشویی احتمالی، تأثیر آب آبیاری و غیره) بر ESP خاک، گلدان‌هایی به عنوان شاهد برای هر تیمار تهیه گردید که گیاهی در آنها کشت نگردیده بود. تغییرات ESP خاک در این گلدان‌ها از مقادیر تغییرات ESP در گلدان‌های حاوی گیاهان کسر شد تا تأثیر خالص گیاهان در کاهش ESP خاک به دست آید.

چهار ماه پس از کاشت، بخش هوایی گیاهان برداشت شده و با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس، نمونه‌ها در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و آسیاب شدند. غلظت سدیم، کادمیم و سرب در گیاه با روش اکسیداسیون تر و غلظت کل کادمیم و سرب در خاک به روش اکسیداسیون با اسید نیتریک ۴ مولار و اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی به‌دست آمد (۱). ESP خاک نیز پس از برداشت گیاهان اندازه‌گیری شد. بردباری گیاهان نسبت به کادمیم و سرب براساس ارتباط بین رشد گیاهان در خاک‌های آلوده نسبت به تیمار شاهد (بدون آلودگی کادمیمی و سربی) ارزیابی شد.

شاخص عملکرد نسبی به شکل زیر محاسبه شد:

$$RY = \frac{Y_c}{Y_o} \times 100 \qquad [۳]$$

که در آن Y_c عملکرد ماده خشک گیاه در سطح آلودگی c و Y_o عملکرد ماده خشک گیاه در تیمار شاهد در هر خاک است. برای ارزیابی کارآیی گیاه در اصلاح ESP خاک و تأثیر آلودگی سربی یا کادمیمی خاک بر این کارآیی، تغییرات نسبی ESP خاک محاسبه شد:

$$RE = {(ESP_i - ESP_f)}/{ESP_i} \qquad [۴]$$

که در آن RE، ضریب کارآیی گیاه، ESP_i، درصد اولیه سدیم تبادلی خاک (قبل از کاشت گیاهان) و ESP_f، درصد نهایی سدیم تبادلی خاک (پس از یک دوره کاشت و برداشت گیاهان) است. هرچه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، کارآیی گیاه در اصلاح ESP خاک بیشتر است.

برای ارزیابی توانایی گیاهان در گیاه‌پالایی سطوح مختلف آلودگی سربی یا کادمیمی، در هر سطح آلودگی خاک به کادمیم یا سرب فلز استخراج شده توسط گیاهان (غلظت فلز در شاخساره گیاه ($mg\ kg^{-1}$) × عملکرد ماده خشک شاخساره گیاه در هر گلدان ($kg\ pot^{-1}$) تعیین و براساس آن تعداد دور کشت لازم برای پالایش خاک تا سطوح مجاز کادمیم یا سرب (CN) محاسبه شد:

$$CN = {(C_i - C_a)}/{EX_M} \qquad [۵]$$

که در آن C_i و C_a به ترتیب غلظت اولیه و مجاز فلز در خاک ($mg\ kg^{-1}$)، EX مقدار فلز استخراج شده از خاک هر گلدان در یک دور کشت ($mg\ pot^{-1}$) و M مقدار خاک موجود در هر گلدان ($kg\ pot^{-1}$) است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار برای خاک، گیاه و غلظت فلز در خاک انجام شد. تجزیه‌های آماری با

استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون SNK (Student Newman-Keuls) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۱ رده‌بندی خاک‌ها و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول این دو خاک از نظر درصد سدیم تبادلی و شوری کاملاً با هم متفاوتند. به‌طوری‌که خاک S_1، خاکی شور- سدیمی و آهکی است، درحالی‌که خاک S_2 یک خاک آهکی می‌باشد. هم‌چنین مواد آلی، CEC و pH در خاک S_2 بیشتر از خاک S_1 است، حال آن‌که خاک S_1 کربنات کلسیم معادل بیشتری دارد. هر دو خاک به‌طور طبیعی حاوی مقداری کادمیم و سرب بودند که مقدار سرب در خاک S_2 بیشتر از خاک S_1 بود، درحالی‌که مقدار کادمیم در هر دو خاک یکسان بود. شکل ۱ تغییرات عملکرد نسبی گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره را در سطوح مختلف کادمیم و سرب کل در دو خاک S_1 و S_2 نشان می‌دهد. با توجه به (شکل ۱- الف) در غلظت‌های کمتر از ۱۰ mg Cd/ kg عملکرد سه گیاه مورد مطالعه در این پژوهش تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد درحالی‌که در غلظت‌های بالاتر سالیکورنیا بیشترین عملکرد را در هر دو خاک S_1 و S_2 داشت. در نتیجه سالیکورنیا بالاترین بردباری به کادمیم را در بین گیاهان دارد. کودو و همکاران (۱۵) در آزمایشی با کشت سالیکورنیا در سه نوع خاک شور، سدیمی و بسیار سدیمی دریافتند که بیشترین عملکرد سالیکورنیا در خاک سدیمی بود. در واقع گیاهان شورپسند Na را برای تنظیم فشار اسمزی در واکوئل خود می‌اندوزند.

در خاک S_1 عملکرد هر سه گیاه سلمه‌تره و سالیکورنیا از غلظت صفر تا ۱۰ mg Cd kg^{-1} به شدت کاهش یافت. در غلظت‌های بالاتر کاهش عملکرد سلمه‌تره و سالیکورنیا معنی‌دار نبود ($P>0/05$). با این حال، تفاوت معنی‌داری ($P>0/05$) در کاهش عملکرد آتریپلکس و سلمه‌تره بین دو خاک S_1 و S_2 مشاهده نشد. عملکرد آتریپلکس و سلمه‌تره در هر دو خاک تا غلظت ۳۰ mg Cd kg^{-1} به شدت کاهش یافت و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم این دو گیاه چند روز پس از جوانه‌زنی از بین رفتند. قلّاب و عثمان (۷) در مطالعه‌ای دریافتند که غلظت کلراید عاملی مهم در تعیین زیست‌فراهمی کادمیم در خاک است و افزایش سطح شوری منجر به کاهش معنی‌دار ماده خشک گیاه و افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی شد. با توجه به (شکل۱- ب) سالیکورنیا بالاترین عملکرد را در خاک S_1 و آتریپلکس بالاترین علمکرد را در خاک S_2 داشت. در خاک S_1 در غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک عملکرد هر سه گیاه یکسان بود. در غلظت‌های بالاتر از۲۵۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم افزایش عملکرد در خاک شور- سدیمی (S_1) به صورت سالیکورنیا > سلمه‌تره> آتریپلکس و در خاک آهکی (S_2) به صورت آتریپلکس> سلمه‌تره > سالیکورنیا بود. در خاک S_2 عملکرد آتریپلکس حتی در غلظت‌های بالای سرب کاهش نیافت، این نتیجه بیانگر بردباری بالای آتریپلکس به غلظت‌های بالای سرب است. بنابراین می‌توان از این گیاه برای پالایش آلودگی سربی از خاک‌های آهکی استفاده کرد. نتایجی مشابه در مورد تأثیر شوری بر جذب سرب توسط مانوسکی و کالوجراکیس (۲۰) گزارش شده است.

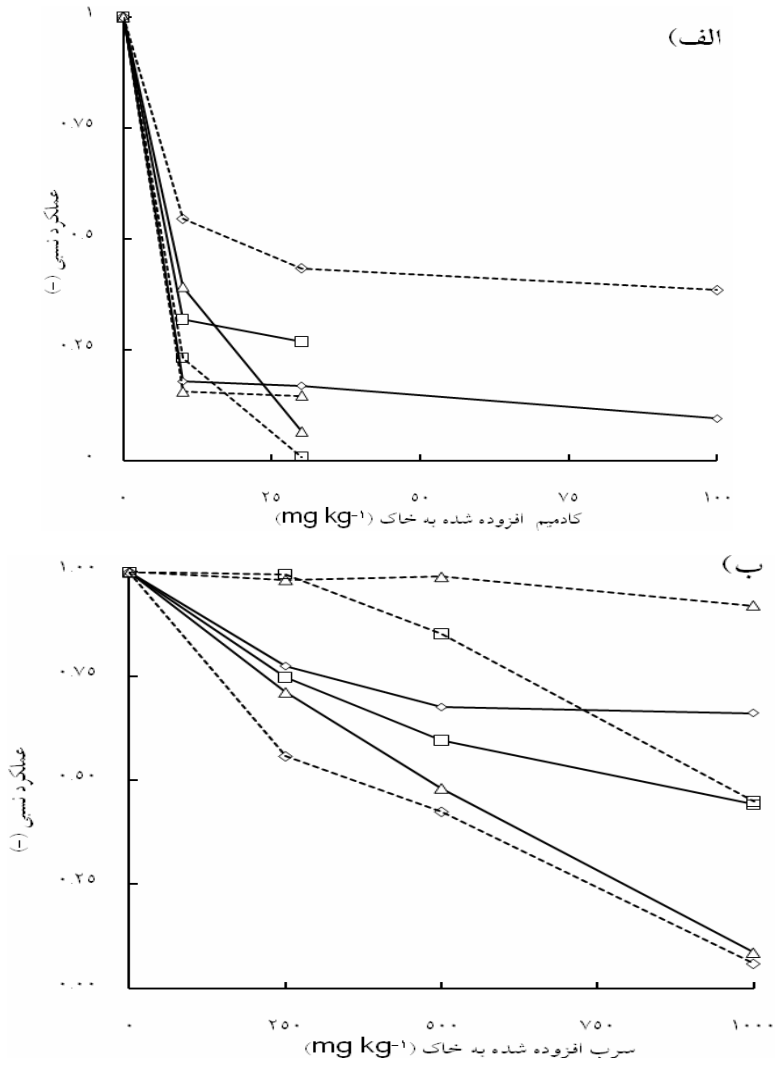
سای‌کاچوت و همکاران (۲۸) در پژوهشی دریافتند که آتریپلکس بردباری بالایی به شوری دارد و در شرایط شوری بالا (شوری ۵ تا ۱۰ گرم بر لیتر کلرید سدیم) رشد بهینه دارد. در خاک شور- سدیمی عملکرد آتریپلکس با افزایش آلودگی سربی به شدت کاهش یافت. در مورد گیاه سلمه‌تره عملکرد با افزایش غلظت سرب و کادمیم در هر دو خاک کاهش یافت در حالی که تفاوت معنی‌داری بین دو خاک مشاهده نشد (شکل ۱- ب). یاو و همکاران (۳۰) گزارش کردند که سلمه‌تره گیاهی بردبار به نمک است که عمدتاً در مناطق نیمه‌خشک با شوری کم رشد می‌کند. بنابراین زیست‌توده کم این گیاه در خاک S_1 می‌تواند به دلیل تأثیر شوری بالای خاک روی رشد گیاه باشد.

جدول۱. رده‌بندی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

خاک S_2	خاک S_1	
Typic Endoaquepts Fine loamy, mixed, mesic	Typic Halaquepts Fine loamy, mixed, mesic	رده‌بندی خاک
۳۲/۳	۳۷/۶	شن (%)
۴۰/۳	۳۰	سیلت (%)
۲۷/۴	۳۲/۴	رس (%)
لوم	لوم رسی	کلاس بافتی خاک
۲/۷	۱/۹	مواد آلی(%)
۲۲/۱	۲۰/۸	CEC ($cmol_c kg^{-1}$)
۲/۵	۱۸/۱	ECe (dSm^{-1})
۳	۴۲/۹	ESP (%)
۰/۳	۷/۶	سدیم محلول ($mg\ l^{-1}$)
۳۰/۵	۳۷	CCE (%)
۸/۱	۷/۶	pH
۲۱/۴	۱۰/۱	سرب کل ($mg\ kg^{-1}$)
۱/۵	۱/۵	کادمیم کل ($mg\ kg^{-1}$)

EC: هدایت الکتریکی؛ CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی؛ OM: مواد آلی؛ CCE: کربنات کلسیم معادل و ESP: درصد سدیم قابل تبادل

جدول ۲ غلظت کادمیم و سرب در مادهٔ خشک شاخساره گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره را در سطوح مختلف آلودگی کادمیمی و سربی در دو خاک S_1 و S_2 نشان می‌دهد. با توجه به (جدول۲- الف) در غلظت ۱۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، غلظت کادمیم در شاخساره آتریپلکس در خاک آهکی نسبت به دو گیاه دیگر بیشتر بود. در آزمایشی که توسط ندجیمیا و داود (۲۳) انجام گرفت، آتریپلکس بیشترین اندوزش کادمیم را در اندام‌های خود داشت که بیانگر توانایی آن در پالایش خاک‌های آلوده به کادمیم است، با این حال رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه آتریپلکس با افزایش غلظت کادمیم در خاک کاهش معنی‌داری نشان داد. هم‌چنین انباشت کادمیم در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی بود. در شرایط شور- سدیمی و در غلظت کم (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) سلمه‌تره بیشترین انباشت کادمیم را داشت. در غلظت‌های بالاتر (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) سالیکورنیا بیشترین انباشت کادمیم را در خاک شور- سدیمی داشت. اوزاوا و همکاران (۲۶) بیان داشتند که سالیکورنیا توانایی اندوزش مقادیر بالایی از کادمیم نسبت به سایر بیش‌اندوزهای کادمیم دارد و سالیکورنیا را به عنوان گیاهی مناسب برای پالایش‌سبز خاک‌های شور آلوده به کادمیم معرفی کردند. غنایا و همکاران (۸) گزارش کردند که *Salicornia europaea* و *Atriplex halimus* به ترتیب توانایی اندوزش۲/۷-۱/۸ و ۷/۱ میکرومول کادمیم در هر گرم ماده خشک را در غلظت ۱۰۰ میکرومول کادمیم دارند. در مورد سلمه‌تره انباشت کادمیم در غلظت‌های مختلف کادمیم متفاوت



شکل ۱. عملکرد نسبی گیاهان آتریپلکس (△)، سالیکورنیا (◇) و سلمه‌تره (□) در سطوح مختلف آلودگی کادمیمی (الف) و سربی (ب) در دو خاک شور- سدیمی (S_1) (خطوط ممتد) و آهکی (S_2) (خطوط نقطه‌چین) (آتریپلکس و سلمه‌تره در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک به دلیل سمیت کادمیم از بین رفتند).

بود. بیشترین انباشت کادمیم در غلظت کم (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک S_1 و در غلظت متوسط (۳۰) در خاک S_2 بود. گیاهان آتریپلکس و سلمه‌تره در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک از بین رفتند. گوپتا و ساینها (۱۰) نشان دادند که سلمه‌تره توانایی انباشت و پالایش مقادیر بالایی از فلزات (Ni، Cr، Pb و Cd) را در بخش‌های هوایی خود دارد. در سطوح کم آلودگی کادمیمی سلمه‌تره و آتریپلکس بالاترین انباشتگی کادمیم را به ترتیب در خاک S_1 و خاکS_2 داشتند. این نتایج بیانگر آن است که حداکثر پتانسیل گیاه برای انباشت کادمیم به سطوح آلودگی خاک و هم‌چنین نوع خاک بستگی دارد.

با توجه به (جدول۲- ب) آتریپلکس در خاک آهکی سرب بالایی را اندوخت درحالی‌که در شرایط شور- سدیمی سالیکورنیا و سلمه‌تره بیشترین انباشت سرب را در

جدول ۲. غلظت کادمیم و سرب در مادهٔ خشک گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در سطوح مختلف آلودگی کادمیمی (الف) و سربی (ب) در دو خاک شور- سدیمی (S_1) و خاک آهکی (S_2)

الف) کادمیم

غلظت کادمیم کل افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	غلظت کادمیم در مادهٔ خشک شاخسارهای گیاهان ($mg\ kg^{-1}$)					
	آتریپلکس		سالیکورنیا		سلمه‌تره	
	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2
۱۰	۰/۵ ± ۰/۱ [a]	۳۹/۴ ± ۱۰/۷ [a]	۱۰/۲ ± ۱/۲ [a]	۸/۰ ± ۰/۱ [a]	۱۸/۹ ± ۰/۴ [a]	۸/۹ ± ۰/۲ [a]
۳۰	۱۸/۹ ± ۱/۲ [b]	۴۶/۴ ± ۵/۸ [a]	۳۰/۳ ± ۷/۸ [b]	۸/۴ ± ۲/۰ [a]	۳۲/۷ ± ۰ [b]	۵۹/۵ ± ۱/۹ [b]
۱۰۰	n.g. [#]	n.g.	۱۰۲/۸ ± ۳/۹ [c]	۵۴/۰ ± ۰ [b]	n.g.	n.g.

ب) سرب

غلظت سرب کل افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	غلظت سرب در مادهٔ خشک شاخسارهای گیاهان ($mg\ kg^{-1}$)					
	آتریپلکس		سالیکورنیا		سلمه‌تره	
	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2
۲۵۰	۱۳/۸ ± ۱/۱ [a]	۳۸/۰ ± ۸/۷ [a]	۲۱/۷ ± ۲/۸ [a]	۲۹/۹ ± ۴/۱ [a]	۲۹/۱ ± ۲۹/۹ [a]	۴/۹ ± ۲/۸ [a]
۵۰۰	۴۵/۰ ± ۲۴/۱ [b]	۵۴/۵ ± ۰/۶ [b]	۶۱/۹ ± ۲/۳ [b]	۳۲/۰ ± ۲/۳ [b]	۶۷/۵ ± ۳۰/۳ [b]	۳۴/۶ ± ۳/۵ [b]
۱۰۰۰	۶۸/۱ ± ۷/۲ [c]	۸۵/۹ ± ۵/۷ [c]	۷۹/۰ ± ۱/۷ [c]	۵۴/۲ ± ۵/۶ [c]	۸۵/۸ ± ۱۲/۱ [c]	۷۳/۷ ± ۲/۶ [c]

شاخسارهای خود داشتند. ترتیب انباشت سرب در گیاهانی که در خاک آهکی (خاک S_2) رشد کرده بودند به صورت آتریپلکس > سلمه‌تره ≈ سالیکورنیا و در خاک شور- سدیمی (خاک S_1) به صورت سالیکورنیا ≈ سلمه‌تره > آتریپلکس بود. این نتایج بیانگر آن است که سالیکورنیا توانایی اندوزش بالای سرب را در شرایط شوری و سدیمی خاک و آتریپلکس در شرایط آهکی دارد. گیاهان سرب را در ریشه خود می‌اندوزند و مقادیر اندکی از آن را به شاخسارها و قسمت‌های هوایی خود انتقال می‌دهند (۱۷ و ۳۱). با توجه به (جدول۲- ب) با افزایش سطوح آلودگی سربی، انباشت سرب در گیاهان افزایش یافت و هر سه گیاه بالاترین اندوزش سرب را در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک داشتند. نتایجی مشابه توسط مانوسکی و کالوجراکیس (۱۹) گزارش شد و در پژوهشی بیان داشتند که در گیاه *T. smyrnensis*، شوری کم تأثیر معنی‌داری بر جذب سرب توسط ریشه‌ها نگذاشت و در شوری‌های بالا، تجمع سرب کاهش یافت درحالی‌که در برگ‌ها تأثیر شوری برعکس بود.

گیاهان سرب بیشتری را در غلظت‌های بالای شوری نسبت به غلظت‌های کم آن اندوختند و علایم سمیت سرب تنها در تیمار شاهد غیر شور دیده شد (۱۸). هم‌چنین مانوسکی و کالوجراکیس (۱۸) گزارش کردند که افزایش شوری باعث افزایش جذب کادمیم توسط آتریپلکس گردید. شوری تأثیر مثبتی بر جذب کادمیم توسط گیاه داشت و این امر احتمالاً به دلیل زیست فراهمی فلزات در خاک ناشی از کاهش جذب کادمیم توسط ذرات خاک است. درحالی‌که در مورد سرب تأثیر آشکاری از حضور نمک بر انباشت سرب در بافت‌های گیاهی مشاهده نشد. زیرا سرب بر خلاف کادمیم که در خاک و در گیاه متحرک است، در pH های نرمال در خاک نامحلول بوده و هم‌چنین انتقال سرب از ریشه به اندام‌های هوایی به دلیل پیوند آن به سطح ریشه و دیواره سلولی محدود است (۱۸). هم‌چنین دلیل این امر را می‌توان به انتقال کم سرب از ریشه به شاخصاره نسبت داد. گیاهان سرب را در ریشه خود می‌اندوزند و مقادیر اندکی از آن را به شاخسارها و قسمت‌های هوایی خود انتقال می‌دهند (۱۷). جدول ۳ تعداد دور کشت لازم را برای پالایش آلودگی کادمیمی و سربی خاک توسط گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در سطوح مختلف آلودگی کادمیمی و سربی در دو خاک S_1 و S_2 نشان می‌دهد. نتایج (جدول۳- الف) نشان می‌دهد که گیاه سلمه‌تره، در زدودن آلودگی‌های کم کادمیمی (سلمه‌تره در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک از بین رفت) از خاک (به ویژه خاک S_1) از آتریپلکس و سالیکورنیا تواناتر است. درحالی‌که سالیکورنیا بردبارترین گیاه نسبت به دو گیاه دیگر نسبت به آلودگی کادمیمی بود (جدول۳). هم‌چنین، نتایج جدول (۳- ب) نشان می‌دهد که گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره برخلاف توانایی‌شان در تحمل آلودگی‌های بالای سرب، در زدودن آلودگی‌های بالای سرب و کادمیم از خاک چندان توانا نیستند. با وجود این، نمی‌توان آلودگی‌های حاد کادمیم و سرب در خاک را با استفاده از گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره پالود. لیکن از آنها برای کاهش آلودگی کادمیمی و سربی در غلظت‌های کم می‌توان استفاده نمود. ناتوانی این گیاهان در زدودن آلودگی‌های کادمیم از خاک را می‌توان به زیست‌فراهم نبودن کادمیم در خاک، رسوب کردن و فراهم نبودن کادمیم به دلیل قلیایی بودن واکنش خاک مورد آزمایش (به ترتیب ۷/۶ و ۸/۱ برای خاک‌های S_1 و S_2) و احتمالاً ناتوانی گیاه در انتقال کادمیم از ریشه به بخش‌های هوایی گیاه به دلیل وجود رقابت یونی ارتباط داد. اوزاوا و همکاران (۲۶) در مطالعه‌ای که انجام دادند اظهار داشتند که کادمیم برای ورود به سلول‌های گیاهان با کلسیم و سایر کاتیون‌ها رقابت می‌کند.

بنابراین، پژوهش‌های بیشتری دربارهٔ افزایش زیست‌فراهمی کادمیم در خاک با افزودن کلات‌های مصنوعی و یا کاهش pH خاک پیشنهاد می‌شود. (جدول۴) مقادیر ضریب کارآیی گیاه در اصلاح ESP خاک (RE) را برای گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در سطوح مختلف آلودگی کادمیمی و سربی در دو خاک S_1 نشان می‌دهد. هرچه مقدار RE به یک نزدیک‌تر باشد،

جدول ۳. تعداد دور کشت لازم برای پالایش آلودگی کادمیمی و سربی تا رسیدن به غلظت مجاز آنها در خاک توسط گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در سطوح مختلف آلودگی کادمیمی (الف) و سربی (ب) در دو خاک شور- سدیمی (S_1) و خاک آهکی(S_2)

الف) کادمیم

غلظت کادمیم کل افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	تعداد دور کشت لازم برای پاک‌سازی خاک					
	آتریپلکس		سالیکورنیا		سلمه‌تره	
	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2
۱۰	>۱۰۰۰۰	۱۰۰۳	۲۵۱	۲۶	۲۱	۴۸
۳۰	>۱۰۰۰۰	۸۸۴۰	۱۰۶۹	۹۳۸	۸۶	۱۵۶
۱۰۰	n.g.[#]	n.g.	۱۶۲۸	۱۱۲۱	n.g.	n.g.

ب) سرب

غلظت سرب کل افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	تعداد دور کشت لازم برای پاکسازی خاک					
	آتریپلکس		سالیکورنیا		سلمه‌تره	
	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2
۲۵۰	>۱۰۰۰۰	>۱۰۰۰۰	۱۴۷۳	۱۲۸۷	۲۰۵	۱۰۵۶
۵۰۰	>۱۰۰۰۰	>۱۰۰۰۰	۱۷۰۱	۳۴۵۳	۲۸۲	۵۰۰
۱۰۰۰	>۱۰۰۰۰	>۱۰۰۰۰	۲۷۱۰	۱۰۰۰۰>	۵۵۷	۶۲۹

[$]: غلظت مجاز کادمیم $5\ mg\ kg^{-1}$ و سرب $150\ mg\ kg^{-1}$ در خاک در نظر گرفته شده است (Cariny، ۱۹۹۵).

[#]: عدم رشد گیاه به دلیل سمیت کادمیم

جدول ۴. مقادیر میانگین ضریب کارآیی گیاه در اصلاح درصد سدیم تبادلی (ESP) خاک (RE) برای گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در سطوح مختلف آلودگی کادمیمی (الف) و سربی (ب) در خاک شور- سدیمی (خاک S_1)

الف) کادمیم

غلظت کل کادمیم افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	RE (-)		
	آتریپلکس	سالیکورنیا	سلمه‌تره
۰	۰/۵ ± ۰/۲ [a]	۰/۷ ± ۰/۱ [a]	۰/۵ ± ۰/۱ [a]
۱۰	۰/۲ ± ۰/۰ [b]	۰/۳ ± ۰/۱ [a]	۰/۲ ± ۰/۱ [b]
۳۰	۰/۶ ± ۰/۲ [b]	۰/۲ ± ۰/۰ [a]	۰/۳ ± ۰/۲ [b]
۱۰۰	n.g. [#]	۰/۴ ± ۰/۱ [b]	n.g.

ب) سرب

غلظت کل سرب افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	RE (-)		
	آتریپلکس	سالیکورنیا	سلمه‌تره
۰	۰/۵ ± ۰/۲ [a]	۰/۷ ± ۰/۱ [a]	۰/۵ ± ۰/۱ [a]
۲۵۰	۰/۷ ± ۰/۱ [b]	۰/۶ ± ۰/۱ [b]	۰/۳ ± ۰/۲ [b]
۵۰۰	۰/۸ ± ۰/۱ [b]	۰/۷ ± ۰/۱ [b]	۰/۲ ± ۰/۲ [b]
۱۰۰۰	۰/۷ ± ۰/۱ [c]	۰/۵ ± ۰/۳ [c]	۰/۳ ± ۰/۱ [c]

[#]:عدم رشد گیاه به دلیل سمیت کادمیم

[*]: در هر ستون، اعداد با حروف نامشابه، تفاوتی معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد دارند.

جدول ۵. مقادیر ESP نهایی (ESP_f) خاک را پس از یک دوره کشت گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در سطوح مختلف آلودگی کادمیمی (الف) و سربی (ب) برای خاک شور- سدیمی (S_1)

الف) کادمیم

غلظت کادمیم کل افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	ESP_f[$]		
	آتریپلکس	سالیکورنیا	سلمه‌تره
۰	۲۲/۳ ± ۶/۷ [a]	۱۴/۷ ± ۳/۹ [a]	۲۲/۸ ± ۳/۲ [a]
۱۰	۳۴/۱ ± ۱/۵ [b]	۳۰/۶ ± ۳/۲ [a]	۳۴/۹ ± ۳/۵ [b]
۳۰	۱۶/۲ ± ۷/۰ [b]	۳۶/۷ ± ۰/۳ [a]	۲۹/۹ ± ۷/۹ [b]
۱۰۰	n.g. [#]	۲۷/۵ ± ۴/۸ [b]	n.g.

ب) سرب

غلظت سرب کل افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	ESP_f[$]		
	آتریپلکس	سالیکورنیا	سلمه‌تره
۰	۲۲/۳ ± ۶/۷ [a]	۱۴/۷ ± ۳/۸ [a]	۲۲/۸ ± ۳/۲ [a]
۲۵۰	۱۲/۷ ± ۰/۲ [b]	۱۸/۶ ± ۶/۴ [b]	۲۸/۴ ± ۱۰/۶ [b]
۵۰۰	۷/۵ ± ۱/۹ [b]	۱۳/۴ ± ۶/۶ [b]	۳۲/۲ ± ۹/۶ [b]
۱۰۰۰	۱۳/۳ ± ۳/۱ [c]	۱۹/۷ ± ۲/۱ [c]	۲۹/۶ ± ۵/۹ [c]

[$]: ESP اولیه خاک S_1، ۴۲/۸۸ درصد می‌باشد.

[#]: عدم رشد گیاه به دلیل سمیت کادمیم

[*]: در هر ستون، اعداد با حروف متفاوت تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد دارند.

کارآیی گیاه در اصلاح ESP خاک بیشتر است. با توجه به جدول ۴ در خاک S_1 در غلظت ۳۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، آتریپلکس بالاترین و سالیکورنیا کمترین مقدار RE را داشت. با این حال مقادیر RE در آلودگی سربی و کادمیمی برای هر سه گیاه روند افزایشی و کاهشی منظمی نداشت. دلیل احتمالی این امر را می‌توان به کاهش توسعه سیستم ریشه‌ای و کاهش دسترسی گیاه به خاک به دلیل افزایش سمیت کادمیم نسبت داد. در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب، آتریپلکس بیشترین و سلمه‌تره کمترین مقدار RE را داشت. احتمالاً جذب سرب توسط خاک، نامتحرک بودن سرب در خاک‌های آهکی و عدم دسترسی ریشه به سرب، به کاهش مقدار RE منجر شده است. در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک نیز، آتریپلکس بالاترین و سلمه‌تره کمترین مقدار RE را داشت. این نتایج نشان داد که در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک، سالیکورنیا کارآیی بالایی در اصلاح ESP خاک در شرایط تنش آلودگی سربی دارد. عوامل گیاهی مانند سطح ویژه ریشه، ترشحات ریشه، فعالیت میکوریزایی و نسبت تعرق، بر قابلیت دسترسی سرب در خاک و جذب آن توسط گیاه تأثیر می‌گذارند (۴). چیسیک و همکاران (۳) در آزمایش مزرعه‌ای کاربرد آتریپلکس را برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی رس در ایتالیا اثبات کردند. هم‌چنین براون و همکاران (۲) نشان دادند که آتریپلکس می‌تواند به عنوان یک صافی زیستی (Biofilter) برای برداشت عناصر غذایی از خاک‌های شور استفاده شود.

جدول ۵ مقادیر ESP نهایی (ESP_f) خاک را پس از یک دوره کشت گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در سطوح مختلف آلودگی کادمیمی (الف) و سربی (ب) برای خاک شور- سدیمی (S_1) را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۵ در

غلظت صفر (بدون آلودگی سربی و کادمیمی) توانایی سالیکورنیا در کاهش ESP خاک بیشتر از آتریپلکس و سلمه‌تره بود. به بیان دیگر، گیاه سالیکورنیا در زدودن سدیم خاک در آلودگی کادمیمی و سربی از آتریپلکس و سالیکورنیا تواناتر است. بنابراین، می‌توان سدیم بالای خاک را با استفاده از گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا پالود. توانایی گیاه آتریپلکس در کاهش ESP خاک در تمامی سطوح آلودگی سربی بالاتر از سالیکورنیا و سلمه‌تره بود. درحالی‌که در آلودگی کادمیمی در غلظت ۱۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک سالیکورنیا و در غلظت ۳۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک آتریپلکس در کاهش ESP خاک تواناتر بودند. کریشناپیلای و سری‌رانجان (۱۳) در آزمایشی نشان دادند که آتریپلکس پتانسیل برداشت ۰/۲۵ کیلوگرم کلرید بر مترمربع خاک و ۰/۰۶ کیلوگرم سدیم بر مترمربع از خاک‌های آلوده طی دوره ۱۵۰ روزه دارد. همیدو و همکاران (۱۱) در آزمایشی بیان کردند که سلمه‌تره بالاترین زیست‌توده را در خاک شور- سدیمی داشته است و اظهار نمودند که این گیاه توانایی حذف نمک از خاک‌های متأثر از نمک را دارد. لیکن از سلمه‌تره نیز می‌توان برای کاهش سدیم خاک استفاده کرد.

اندوخت درحالی‌که دو گیاه دیگر در غلظت بالای کادمیم از بین رفتند. این نتایج بیانگر این است که این گیاهان توانایی اصلاح خاک‌هایی با آلودگی کم سرب و کادمیم را دارند. گیاه سالیکورنیا، بیشترین انباشت کادمیم و سالیکورنیا و سلمه تره بیشترین انباشت سرب را در خاک شور- سدیمی داشتند. در غلظت صفر (بدون آلودگی سربی و کادمیمی) توانایی سالیکورنیا در کاهش ESP خاک بیشتر از آتریپلکس و سلمه‌تره بود. توانایی گیاه آتریپلکس در کاهش ESP خاک در تمامی سطوح آلودگی سربی بالاتر از سالیکورنیا و سلمه‌تره بود. بنابراین، می‌توان سدیم بالای خاک را با استفاده از گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا پالود. در این پژوهش سالیکورنیا با کمترین کاهش عملکرد نسبی، بردبارترین گیاه نسبت به تنش همزمان شوری و آلودگی سربی و کادمیمی شناخته شد. هم‌چنین، در شرایط غیرشور، آتریپلکس و سلمه‌تره توانایی بالایی در تحمل آلودگی سربی خاک داشتند. بررسی مکانیسم تحمل و جذب سدیم و یا سرب و کادمیم خاک توسط این گیاهان می‌تواند در مطالعات گوناگون از جمله ایجاد گیاهان تراریخته برای پیشبرد اهداف گیاه‌پالایی سودمند باشد.

نتیجه‌گیری

سالیکورنیا حتی در غلظت‌های بالای کادمیم رشد کرد و حدود ۱۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم را در شاخسارهای خود

منابع مورد استفاده

1. Brooks, R.R. 1999. Phytochemistry of hyperaccumulators. In: Plants that hyperaccumulate heavy metals. University Press, Cambridge, pp: 261-289.
2. Brown, J.J., E.P. Glen, K.M. Fitzsimmons and S. Smith. 1999. Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. Aquaculture 175: 255-268.
3. Chisci, G.C., P. Bazzoffi, M. Pagliai, R. Papini, S. Pellegrini and N. Vignozzi. 2001. Association of Sulla and Aatriplex shrub for the physical improvement of clay soils and environmental protection in central Italy. Agric. Ecosys. Environ. 84: 45-53.
4. Davies, B.E and B.J. Alloway. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic, London, pp: 206-223.
5. Gadapati, W.R. and S.M. Macfie. 2006. Phytochelatinsareonly partially correlated with Cd-stress in two species of Brassica. Plant Sci.170: 471–480.
6. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. PP: 383-411. *In:* A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, SSSA.
7. Ghallab, A. and A.R.A. Usman. 2007. Effect of Sodium Chloride-induced Salinity on Phyto-availability and Speciation of Cd in Soil Solution. Water Air Soil Pollut. 185: 43–51.

8. Ghnaya T., I. Nouairi, I. Slama, D. Messedi, C. Grignon, C. Abdelly and M.H. Ghorbel. 2005. Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum*. J. Plant Physiol. 162: 1133-1140.
9. Gupta R.K. and I.P. Abrol. 1990 Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. Adv. Soil Sci. 11: 223–288.
10. Gupta, A.K. and S. Sinha. 2006. Phytoextraction capacity of the *Chenopodium album* L. grown on soil amended with tannery sludge. Bioresource Technol. 98: 442–446.
11. Hamidov, A., J. Beltrao, A. Neves, V. Khaydarova and M. Khamidov. 2007. Apocynum Lancifolium and Chenopodium Album – Potential Species to Remediate Saline Soils. Wseas Trans. on Environ. and Develop. 7(3): 123-128.
12. Khodaverdiloo, H. and M. Homaee. 2008. Modeling of cadmium and lead phytoextraction from contaminated soils. Polish J. Soil Sci. 41(2): 149-162.
13. Krishnapillai M. and R. Sri Ranjan. 2005. Evaluation the phytoremediation potential of *Atriplex Patula* on salt contaminated soil. The Canadin Society Engineering Agriculture Food, and Biological Systems, pp: 05-052.
14. Knasmuller, S., E. Gottmann, H. Steinkellner, A. Fomin, C. Pickl, A. Paschke, R. God and M. Kundi. 1998. Detection of genotoxic effects of heavy metal contaminated soils with plant bioassay. Mutat Res. 420: 37-48.
15. Kudo N., T. Sugino, M. Oka and H. Fujiyama. 2010. Sodium tolerance of plants in relation to ionic balance and the absorption ability of microelements. Soil Sci. Plant Nutr. 56: 225–233.
16. Lavkulich, L.M. 1981. Methods Manual, Pedology Laboratory. Department of Soil Science, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada.
17. Malone, C., D.E. Koeppe and R. J. Miller. 1974. Localization of lead accumulated by corn plants. Plant Physiol. 53: 388–394.
18. Manousaki, E. and N. Kalogerakis. 2009 Phytoextraction of Pb and Cd by the Mediterranean saltbush (*Atriplex halimus* L.): metal uptake in relation to salinity. Environ. Sci. Pollut. Res. 16: 844–854.
19. Manousaki, E. and N. Kalogerakis. 2011. Halophytes Present New Opportunities in Phytoremediation of Heavy Metals and Saline Soils. Ind. Eng. Chem. Res. 50(2):656-660.
20. Manousaki, E., J. Kadukova, N. Papadantonakis and N. Kalogerakis. 2008. Phytoextraction and phytoexcretion of Cd by the leaves of *Tamarix smyrnensis* growing on contaminated non-saline and saline soils. Environ. Res. 106: 326–332.
21. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. PP: 199-224. *In:* Page, A. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Madison, Wisconsin, USA.
22. McLean, J.E. and B.E. Bledsoe. 1992. Behaviour of metals in soils. Ground Water. Issue. EPA. 25: 92-018.
23. Nedjimia B. and Y. Daoud. 2008. Cadmium accumulationin *Atriplex halimus subsp*. Schweinfurthii and it sinfluence on growth, proline, roothy draulic conductivity and nutrient uptake. Flora 204: 316–324.
24. Nelson, R.E. and L.E. Sommers. 1982. Total carbon. Organic carbon and organic matter. PP: 539-579. *In:* A. L. Page *et al*. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part2, 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
25. Ortíz-Dorda J., C. Martínez-Mora, E. Correal, B. Simón and J.L. Cenis. 2005. Genetic structure of Atriplex halimus populations in the Mediterranean Basin. Ann Bot-London. 95: 827–834.
26. Ozawa T., M. Miura, M. Fukuda and S. Kakuta. 2010. Cadmium Tolerance and Accumulation in a Halophyte *Salicornia europaea* as a New Candidate for Phytoremediation of Saline Soils. Science Rep Graduated School Life & Environ. Sci. 60: 1-8.
27. Rhoados, J.D. 1982. Cation exchange capacity. PP: 149-158. *In:* A. L. Page *et al*. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
28. Sai Kachout S., J.C. Leclerc, A.M. Ben Mansoura, N. Rejeb and Z. Ouerghi. 2009. Effects of Heavy Metals on Growth and Bioaccumulation of the Annual Halophytes *Atriplex Hortensis* and *Atriplex Rosea*. J. Appl. Sci. Res. 5(7): 746-756.
29. Tiller, K.G. 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. Adv. Soil Sci. 9: 113- 142.
30. Yao S., H. Lan and F. Zhang. 2010. Variation of seed heteromorphism in *Chenopodium album* and the effect of salinity stress on the descendants. Ann. of Bot. 105 (6): 1015-1025.
31. Zimdahl, R.L. and D.E. Koeppe. 1977. Lead in the Environmental National Science Foundation. Washington DC.

Evaluating of Efficiency of Three Halophyte Plants for Reduction of Soil Exchangeable Sodium (ESP) and Cadmium (Cd) and Lead (Pb) Contamination

R. Hamzenejad Taghlidabad, H. Khodaverdiloo*, S. Rezapour and SH. Manafi[1]

(Received : Nov. 27-2010 ; Accepted : Feb. 5-2012)

Abstract

Soil contamination with heavy metals, including Cd and Pb, is of serious concern. The aim of this study was to investigate the efficiency of *Atriplex verucifera*, *Salicornia europaea* and *Chenopodium album* for simultaneous remediation of soil exchangeable sodium percentage and Cd and Pb contamination in two soils with different properties. Two soils, including a saline-sodic-calcareous (S_1) and calcareous (S_2) soil, were selected. Different concentrations of Pb and Cd were then added to the soils. The contaminated soils were incubated under a wetting-drying cycle for nearly seven months. The plants, seeds were grown in pots containing different treatments of polluted soils and in control treatment (no Cd and Pb contaminations). The plant yields and concentrations of Pb, Cd and Na in the soil and plant samples were measured. A considerable accumulation of soil Cd by *Salicornia* and Pb accumulation by *Atriplex* and *Salicornia* was observed under unsuitable conditions of the saline-sodic soil, whereas *Atriplex* and *Chenopodium* had high capability for Cd in the soil S_2. Also these plants caused the reduction of ESP in soil S_1. The results revealed that these plants could be used for remediation of Pb and Cd contaminated soils. In this study, *Salicornia* with lower rate of yield reduction had the highest tolerance to Cd-stress. Understanding the complex plant and soil (salinity-sodicity and soil metal concentration) factors controlling the metals concentrations in the plants will help to design phytoextraction technology for arid, salt-affected regions.

Keywords: Atriplex, Salicornia, Lead (Pb), Chenopodium Album, Cadmium (Cd), halophyte plants.

1. Former MSc. Student and Assis. Prof.s of Soli Sci., Respectively, College of Agric., Urmia Univ., Urmia, Iran.
*: Corresponding Author, Email: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir