نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 1، فروردین – اردیبهشت 1395، ص. 209-194

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 1, Mar.-Apr. 2016, p. 194-209

تأثیر EDTA و اسید سولفوریک بر استخراج سرب از خاک آلوده توسط گیاه تربچه

طاهره منصوری[1*]- احمد گلچین[2]- جیران فریدونی[3]

تاریخ دریافت: 1393/08/25
تاریخ پذیرش: 1394/05/28

چکیده

اصلاح زمین‌های آلوده به فلزات سنگین جهت جلوگیری از ورود آن‌ها به چرخه غذایی انسان ضروری به نظر می‌رسد. گیاه پالایی فناوریی مبتنی بر استفاده از گیاهان برای پالایش آلودگی از محیط‌زیست است که روشی موثر، ارزان قیمت و سازگار با محیط زیست می‌باشد. هدف این مطالعه بررسی پتانسیل گیاه تربچه برای پاکسازی فلز سنگین سرب از خاک آلوده و تأثیر سطوح مختلف سرب و تشدید کننده‌های جذب بر رشد و نمو و غلظت این فلز در گیاه تربچه می‌باشد. بدین منظور یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با 7 سطح عنصر سرب (0، 200، 400، 600، 800، 1000 و 1200 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، 3 سطح اسید سولفوریک (0، 750 و 1500 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و 3 سطح EDTA (0، 10 و 20 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) با 3 تکرار در گلخانه گروه خاکشناسی اجرا شد. نتایج نشان داد که تأثیر سطوح مختلف سرب و نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت سرب ، وزن خشک غده و غلظت سایر عناصر در گیاه تربچه معنی‌دار بود و با افزایش سطوح سرب در خاک، غلظت آن در بخش هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه افزایش ولی وزن خشک بخش هوایی و زیرزمینی گیاه کاهش یافت. کاربرد افزودنی‌های مختلف نیز منجر به افزایش غلظت سرب در بخش هوایی و زیرزمینی گیاه گردید. کاربرد اصلاح کننده‌ی EDTA غلظت سرب در بخش هوایی گیاه تربچه را بیش از اسید سولفوریک افزایش داد ولی توانایی سطح پایین افزودنی اسیدسولفوریک در جذب سرب بیش از EDTA بود. همچنین یک اثر آنتاگونیستی بین جذب فسفر و سرب توسط گیاه تربچه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح‌کننده، فلز سنگین، گیاه پالایی

مقدمه

آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی در بسیاری از نقاط جهان می‌باشد. فلزات سنگین به‌طور طبیعی در سنگ‌ها و خاک‌ها وجود دارند، اما در اثر فعالیت‌های انسان و طی فرایندهای صنعتی، و افزایش پسماندهای ناشی از این فرایندها، مقدار آن‌هادر محیط زیست افزایش یافته است. بطوریکه خاک‌ها و آب‌ها در مقیاس وسیعی به این فلزات آلوده شده‌اند که مشکلات عدیده‌ای برای سلامتی انسان و موجودات زنده دیگر در سطح جهان بوجود آورده‌اند (2). ازمیان فلزات سنگین، سرب به دلیل تجزیه نشدن و داشتن تاثیرمخرب بر موجودات زنده درغلظت‌های بسیارکم نیز حائزاهمیت می‌باشد (22). منابع آلاینده خاک‌ها به سرب را می‌توان به چندین گروه بزرگ دسته‌بندی نمود که می‌توان به فعالیت‌های صنعتی، معادن، فعالیت‌های کشاورزی و فعالیت‌های شهری اشاره کرد. مقدارکل سرب در خاک‌ها به‌طور متوسط حدود 15 میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش‌شده است در حالی‌که این مقدار در خاک‌های آلوده به مراتب بیشتر از 100 میلی‌گرم در کیلوگرم است (11). برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌توان از روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی که دارای هزینه بالا هستند (27) و روش‌های مختلف پالایش سبز که مبتنی بر استفاده از گیاهان جهت آلاینده‌ها می‌باشد استفاده نمود. گیاه پالایی روشی ساده، کم هزینه و سازگار با محیط زیست است که ترمیم خاک بدون حفاری محل آلوده انجام می‌شود (17). گیاه‌پالایی به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که در هر کدام از مکانیسم‌های متفاوتی برای پالایش مناطق آلوده استفاده می‌شود. از انواع روش‌های پالایش سبز می‌توان به تبخیر گیاهی، تثبیت گیاهی، فیلتراسیون گیاهی و استخراج گیاهی اشاره نمود (3) که استخراج گیاهی از سایر روش‌ها رایج‌تر است. به‌طور کلی جذب و انتقال آلاینده‌ها از خاک‌های آلوده به گیاه و سپس برداشت گیاه و خارج کردن اندام‌های آلوده استخراج گیاهی

1، 2 و 3- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*-نویسنده مسئول: Email: t.mansouri2010@gmail.com)

مشهور است. بیش‌اندوزها[1] گیاهانی هستند که می‌توانند فلزات سنگین را تا حد غیرطبیعی دربافت‌هایشان تجمع دهند (21). گیاهانی که برای گیاه پالایی انتخاب می‌شوند، باید زیست توده کافی تولید کنند و همچنین توانایی جذب مقدار زیادی از فلزات سنگین را نیز دارا باشند. یکی ازمشکلات عمده‌ای که بر سر راه استخراج گیاهی وجود دارد، عدم تحرک فلزات درخاک است (8). گیاه‌پالایی شیمیایی روشی است که در آن از کلات کننده‌ها و اسیدهای مختلف جهت افزایش تحرک فلزات سنگین در خاک و در نتیجه افزایش جذب آن‌ها توسط گیاه استفاده می‌شود. ازجمله‌ی این مواد می‌توان به اسید سیتریک، گوگرد، NTA (nitrilotri acetic acid)، EDTA (ethylene diamine tetra acetic acid)، HEDTA (hydroxyl ethylenediaminetri acetic acid) و DTPA (Diethylene triamine pentaacetic acid) اشاره نمود (6 و 10). با توجه به گسترش زمین‌های آلوده به فلزات سنگین در برخی از استان‌های کشور، این پژوهش با اهداف بررسی تأثیر سطوح مختلف EDTA و اسید سولفوریک بر جذب سرب و برخی عناصر غذایی توسط گیاه تربچه از خاک‌های آلوده صورت گرت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این تحقیق، یک نمونه خاک مرکب از عمق 20-5 سانتی‌متری تهیه شد. نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل و درهوای آزاد خشک گردید. پس ازعبور دادن خاک ازالک دو میلی‌متر، برخی از ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی آن توسط روشهای استاندارد تعیین شد (جدول 1). بافت خاک به روش هیدرومتری (7)، رطوبت ظرفیت مزرعه بااستفاده ازدستگاه صفحه فشاری (24) تعیین شدند. اندازه‌گیری درصدکربن آلی خاک به روش واکلی و بلک (19)، درصدکربنات کلسیم معادل با روش کلسیمتری (18)، نیتروژن کل خاک بااستفاده ازهضم کجلدال (4)، فسفر فراهم خاک به روش اولسن (15) و پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (9) صورت گرفت. غلظت سرب قابل استخراج توسط DTPA (20) نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. نمونه‌های خاک الک شده ابتدا در واحدهای 6 کیلوگرمی توزین گردیده و سپس با سطوح مختلف سرب آلوده شدند. سطوح مختلف آلودگی عبارت بودند از: 0، 200، 400، 600، 800، 1000 و 1200 میلی گرم سرب در کیلوگرم خاک که در متن به ترتیب با اسامی Pb_0، Pb_1، Pb_2، Pb_3، Pb_4، Pb_5 و Pb_6 نامگذاری شده‌اند. برای این منظور از محلول نمک نیترات سرب $Pb(NO_3)_2$ استفاده شد که به نمونه ها اسپری گردید. چون استفاده از مقادیر متفاوت نمک نیترات سرب برای آلوده سازی خاک‌ها منجر به ایجاد مقادیر متفاوتی از نیترات در خاک‌ها شد با بکار بردن نمک نیترات کلسیم، یکسان سازی در مقدار نیترات خاک‌ها صورت گرفت. سپس خاک‌های آلوده شده به گلدان‌های 6 کیلوگرمی منتقل و تعداد 50 عدد بذر تربچه رقم پاسارگاد در هر گلدان کشت شد. گلدان‌ها به مدت 70 روز در شرایط گلخانه‌ای و تحت رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری شدند. بعد از رسیدن گیاه به مرحله غده دهی سطوح مختلف اسید سولفوریک غلیظ (750و 1500 میلی گرم بر کیلوگرم) و EDTA (10 و 20 میلی گرم بر کیلوگرم) از طریق آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شدند. بعد از گذشت زمان مورد نظر، قسمت هوایی و ریشه تربچه برداشت و پس از شستشو با آب مقطر، به مدت 72 ساعت در آون در دمای 55 درجه سانتیگراد خشک و توزین گردیدند. نمونه‌های گیاهی پس از آسیاب شدن و گذراندن مرحله هضم تر توسط اسید نیتریک، اسید کلریدریک وآب اکسیژنه عصاره گیری شدند (26) و غلظت عناصر سرب، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در عصاره‌های بدست آمده اندازه‌گیری شد. تحلیل‌های آماری داده‌ها توسط نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول 1 آورده شده است.

تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر وزن خشک بخش‌های هوایی و زیرزمینی تربچه

اثر افزودنی‌های مختلف بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار نبود ولی بر وزن خشک بخش زیرزمینی تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و بیشترین وزن خشک بخش زیرزمینی مربوط به تیمار دارای 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم EDTA ($EDTA_1$) بود. تیمارهای دارای750 میلی‌گرم بر کیلوگرم H_2SO_4 (H_2SO_{41})، شاهد، 20 میلی گرم بر کیلوگرم EDTA ($EDTA_2$) و 1500میلی‌گرم بر کیلوگرم H_2SO_4 (H_2SO_{42}) بترتیب بعد از آن قرارگرفتند (شکل1).

همان‌طور که در شکل 2 مشاهده می‌شود کاربرد افزودنی‌های مختلف در خاک‌های آلوده به سرب، منجر به افزایش وزن خشک کل گیاه گردید. کاربرد EDTA و H_2SO_4 در سطوح پایین می‌تواند به دلیل افزایش قابلیت جذب عناصر کم مصرف و تأثیر بر جذب بهینهٔ عناصر ضروری، منجر به افزایش وزن خشک گیاه شود ولی کاربرد مقادیر زیاد آن‌ها علاوه بر افزایش قابلیت جذب عناصر ضروری، جذب فلزات سنگین ازجمله سرب را نیز افزایشمی‌دهد که می‌تواند موجبات مسمومیت گیاه را فراهم آورد. در آزمایشی که توسط آلباسل و کاتینیا (1) در خاک آلوده به سرب انجام شد با کاربرد یک گرم EDTA بر کیلوگرم خاک، رشد گیاه چاودار متوقف گردید و گیاه از بین رفت.

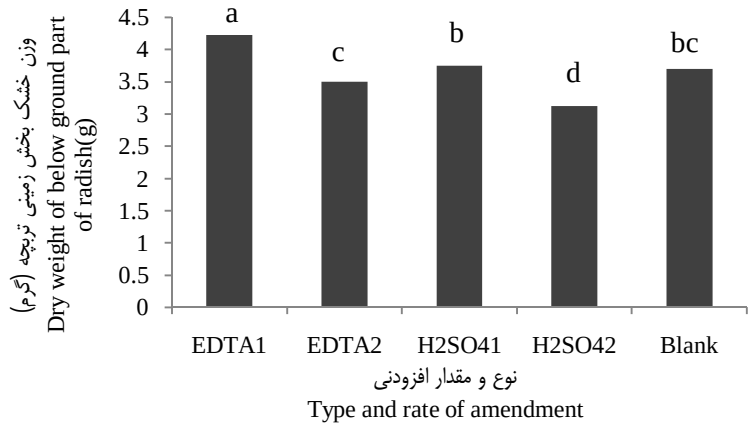
1-Hyperaccumulator

نتایج آزمایش حاضر با نتایج مطالعات لمبی و همکاران (16) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که استفاده از EDTA در سطح پایین تفاوتی در میزان ماده خشک بخش هوایی در مقایسه با تیمار شاهد ایجاد نکرد ولی با کاربرد آن در سطح بالا غلظت فلزات سنگین در بافت‌های گیاهی افزایش یافت و ایجاد مسمومیت نمود، به‌طوری‌که رشد گیاه و میزان ماده خشک آن کاهش یافت.

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1-Selected Physico-chemical properties of the soil used in the experiment

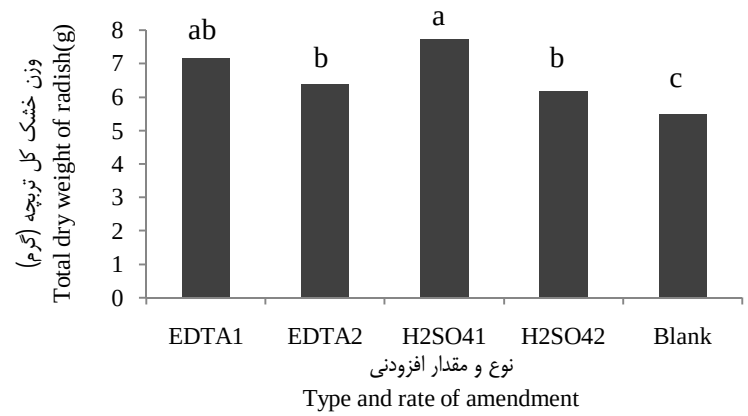
ویژگی Parameter	واحد Unit	مقدار Value
رطوبت اشباع Saturation moisture	درصد (%)	36.35
رس Clay	درصد (%)	32.36
شن Sand	درصد (%)	28
سیلت Silt	درصد (%)	39.64
pH	-	8.2
EC گل اشباع EC of saturation paste	دسی زیمنس بر متر (dS/m)	0.832
کربن آلی Organic Carbon	درصد (%)	0.8
نیتروژن کل Total Nitrogen	درصد (%)	0.06
کربنات کلسیم Calsium Carbonate	درصد (%)	14
غلظت فسفر قابل جذب concentration of available phosphorus	میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (mg/kg soil)	15
غلظت پتاسیم قابل جذب concentration of available potassium	میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (mg/kg soil)	320
سرب قابل جذب Pb	میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (mg/kg soil)	0.15
سرب کل	میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (mg/kg soil)	3.2



شکل1- تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر وزن خشک بخش زیرزمینی تربچه

Figure 1-The Effects of types and rates of amendments on dry weight of below ground part of radish

$EDTA_1$:10 mg/kg EDTA, $EDTA_2$:20 mg/kg EDTA, H_2SO_{41}: 750 mg/kg H_2SO_4, H_2SO_{42}: 1500 mg/kg H_2SO_4



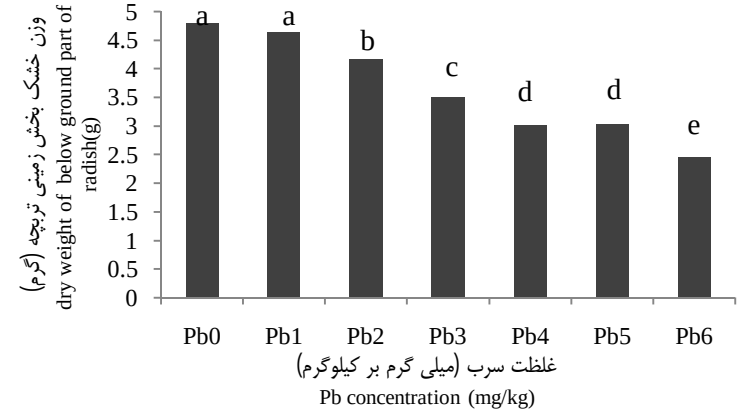
شکل 2- تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر وزن خشک کل گیاه تربچه

Figure 2- The Effects of types and rates of amendments on total dry weight of radish

$EDTA_1$:10 mg/kg EDTA, $EDTA_2$:20 mg/kg EDTA, H_2SO_{41}: 750 mg/kg H_2SO_4, H_2SO_{42}: 1500 mg/kg H_2SO_4

تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر وزن خشک بخش‌های هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه

تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر وزن خشک بخش هوایی گیاه تربچه معنی دار نبود ولی بر وزن خشک بخش زیرزمینی آن در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و با افزایش سطوح آلودگی وزن خشک بخش زیرزمینی گیاه به‌طور منظم کاهش یافت (شکل 3). به‌طوری‌که بیشترین مقدار وزن خشک بخش زیرزمینی از سطح Pb_0 و کمترین مقدار آن از سطح Pb_6 بدست آمد و 48/8 درصد کاهش مشاهده شد. کاهش وزن خشک گیاه با افزایش غلظت سرب می‌تواند به دلیل مسمومیت گیاه با سرب و رقابت سرب با عناصر ضروری از جمله فسفر باشد. خان و فرانکلند (13) نیز با بررسی تاثیر سرب بر رشد گیاه تربچه مشاهده نمودند که با افزایش سطح سرب از صفر به 1000 میکروگرم در گرم خاک، وزن خشک ریشه گیاه تربچه 31 درصد کاهش یافت. در وزن خشک بخش هوایی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. زیرا سرب دارای تحرک نسبتاً کمی در گیاه می‌باشد و در ریشه ایجاد کمپلکس‌های غیر متحرک نموده و به برگ گیاه منتقل نمی‌شود. با افزایش سطوح آلودگی خاک از صفر به 1200 میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک کل تربچه 47/3 درصد کاهش یافت (شکل 4).



شکل 3- تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر وزن خشک بخش زیرزمینی تربچه

Figure 3-The Effects of different levels of soil Pb on dry weight of below ground part of radish

$Pb_5$and Pb_6 respectively are: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg Pb/kg soil. ،Pb_4 ،Pb_3 ،Pb_2 ،Pb_1 ،Pb_0

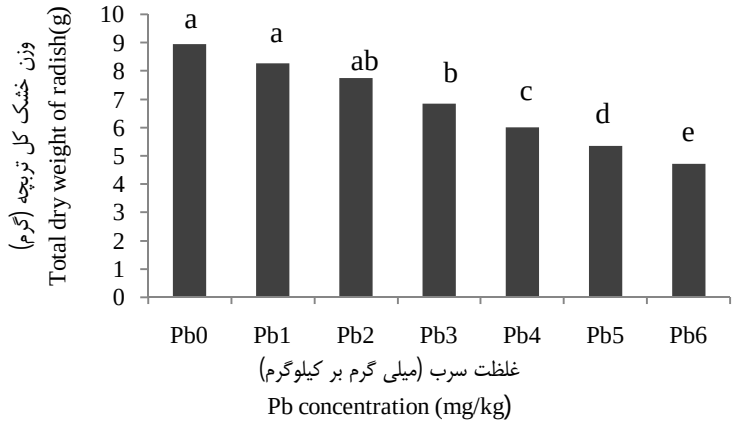
اثر متقابل افزودنی‌های مختلف و سطوح آلودگی سرب بر وزن خشک بخش هوایی تربچه معنی دار نبود (جدول 2) ولی بر وزن خشک بخش زیرزمینی آن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بیشترین وزن خشک بخش زیرزمینی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد Pb_0 ×و $EDTA_2$ ×Pb_0 بود (جدول 3).

تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت و جذب سرب در اندام‌های هوایی و زیرزمینی تربچه

اثر افزودنی‌های مختلف بر غلظت سرب بخش هوایی و زیرزمینی تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و در بخش هوایی بیشترین غلظت سرب مربوط به تیمار $EDTA_2$ بود و سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (شکل 5).

در بخش زیرزمینی نیز بیشترین غلظت سرب مربوط به تیمار $EDTA_2$ بود و تیمارهای $EDTA_1$،H_2SO_{41} و H_2SO_{42} بترتیب در مراحل بعدی قرار گرفتند (شکل 6). افزودن اسید سولفوریک غلظت سرب را در بخش زیرزمینی افزایش داد ولی تأثیر چندانی بر غلظت سرب در بخش هوایی گیاه نداشت. بطور کلی غلظت سرب در بخش زیرزمینی بیشتر از بخش هوایی گیاه بود. احتمالا انتقال سرب از بخش زیرزمینی به بخش هوایی به علت تشکیل ترکیبات غیرمحلول در غده، به‌طور کامل صورت نگرفته است. برخی از مواد کلاته کننده به علت تشکیل کلات‌های پایدار با سرب حلالیت آن‌را افزایش می‌دهند. از میان این کلاته کننده‌ها EDTA به دلیل دارا بودن ظرفیت بالا برای پیوند با سرب معمولا از بقیه موثرتر می‌باشد (28).

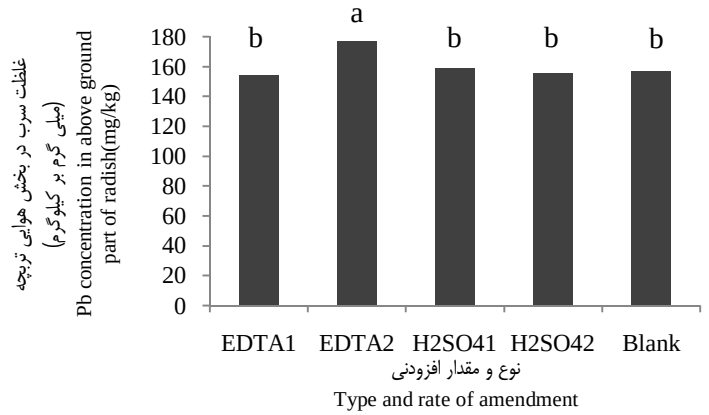
مقدار جذب سرب در گیاه تربچه در تیمارهای حاوی مواد افزودنی مختلف بیشتر از تیمار شاهد و به ترتیب ذیل بود (جدول 4): H_2SO_{41}> $EDTA_2$ > $EDTA_1$>H_2SO_{42}. اسید سولفوریک در سطح بالا تأثیر اندکی بر افزایش جذب سرب داشت که این امر ممکن است به دلیل افزایش جذب روی باشد که رقابت شدیدی با سرب دارد یا اینکه ممکن است بدلیل واکنش اسید سولفوریک با آهک و تولید یون کلسیم باشد که در جذب با سرب رقابت کرده و جذب آن‌را کاهش داده است (12). لمبی و همکاران (16) نیز اظهار کردند که با کاربرد 1000 میلی‌گرم EDTA در کیلوگرم خاک غلظت سرب در محلول خاک از 0/1 به 36 میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت.



شکل 4- تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر وزن خشک کل تربچه

Figure 4- The Effects of different levels of soil Pb on total dry weight of radish

Pb_5 and Pb_6 respectively are: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg Pb/kg soil. ،Pb_4 ،Pb_3 ،Pb_2 ،Pb_1 ،Pb_0



شکل 5- تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت سرب در بخش هوایی تربچه

Figure 5- The Effects of types and rates of amendments on Pb concentration in above ground part of radish

$EDTA_1$:10 mg/kg EDTA, $EDTA_2$:20 mg/kg EDTA, H_2SO_{41}: 750 mg/kg H_2SO_4, H_2SO_{42}: 1500 mg/kg H_2SO_4

جدول 2 – اثر متقابل سطوح مختلف آلودگی خاک به سرب و نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت عناصر و وزن خشک بخش هوایی گیاه تربچه

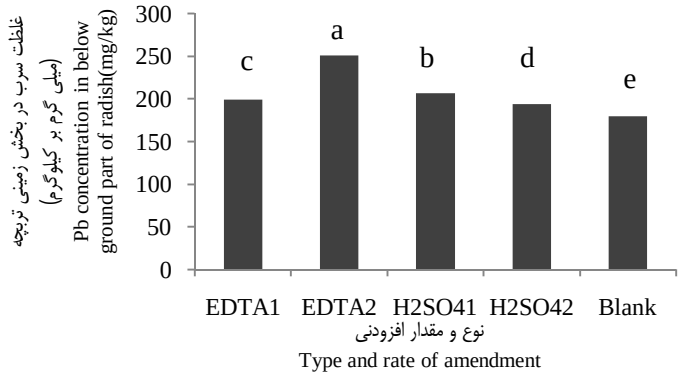
Table 2- The interactive effects of different levels of soil Pb and type and rate of amendments on dry weight and elemental composition of above ground part of radish

نوع و مقدار افزودنی Type and rate of amendment	سطوح سرب Pb levels	Pb (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	وزن خشک Dry weight (g)
	Pb_0	142.7 d-j	3.312 a	0.844 a	2.311 a-g	3.713 b
	Pb_1	168.8 c-i	3.234 a	0.7374 a-f	2.808 a-d	3.60 b
	Pb_2	193.3 b-d	3.219 a	0.5808 h-m	2.809 a-d	3.343 b
$EDTA_1$	Pb_3	146.1 d-j	3.374 a	0.7128 c-g	2.439 a-g	3.137 b
	Pb_4	135.5 f-j	3.405 a	0.7375 a-f	2.601 a-g	2.817 b
	Pb_5	124.9 h-j	3.1 a	0.7107 c-d	2.254 d-g	2.587 b
	Pb_6	171 c-h	3.359 a	0.5440 j-m	2.427 a-g	1.970 b
	Pb_0	164.9 c-i	3.343 a	0.7876 b-d	2.367 a-g	3.80 b
	Pb_1	174.9 b-h	2.985 a	0.7191 b-g	2.588 a-g	3.44 b
	Pb_2	194.4 b-d	3.405 a	0.6483 f-l	2.414 a-g	2.703 b
$EDTA_2$	Pb_3	247.7 a	3.374 a	0.601 g-l	2.428 a-g	2.943 b
	Pb_4	188.3 b-e	3.32 a	0.6727 e-i	2.734 a-e	2.767 b
	Pb_5	116.6 i-j	3.296 a	0.8304 a-c	2.542 a-g	2.65 b
	Pb_6	149.9 d-j	3.328 a	0.8406 a-b	2.353 a-g	2.02 b
	Pb_0	163.8 c-j	3.265 a	0.8522 a	2.899 a-c	4.717 b
	Pb_1	172.7 c-h	3.343 a	0.8358 a-b	2.603 a-g	4.753 b
	Pb_2	207.7 a-c	3.157 a	0.6022 g-l	2.483 a-g	4.460 b
H_2SO_{41}	Pb_3	164.4 c-j	3.390 a	0.6385 f-l	2.068 f-g	4.293 b
	Pb_4	139.9 e-j	2.954 a	0.6931 d-h	2.59 a-g	3.51 b
	Pb_5	132.7 f-j	3.405 a	0.7858 a-e	1.468 h	3.257 b
	Pb_6	128.8 g-j	3.1 a	0.8081 a-d	1.412 h	2.823 b
	Pb_0	137.2 e-j	3.250 a	0.7421 a-f	1.992 j	4.183 b
	Pb_1	184.9 b-f	3.328 a	0.661 f-j	2.585 a-g	3.347 b
	Pb_2	193.3 b-d	3.1 a	0.4760 m-n	2.275 b-g	3.51 b
H_2SO_{42}	Pb_3	178.8 b-g	3.296 a	0.5283 k-n	2.498 a-f	3.11 b
	Pb_4	137.2 e-j	3.421 a	0.5389 j-m	2.152 e-g	2.69 b
	Pb_5	133.3 f-j	3.188 a	0.5658 i-m	2.266 c-g	2.513 b
	Pb_6	123.8 h-j	3.22 a	0.6362 f-k	2.470 a-g	2.06 b
	Pb_0	112.2 j	3.281 a	0.8013 a-d	2.914 a-b	2.373 b
	Pb_1	224.9 a-b	3.343 a	0.4825 l-n	2.903 a	3.497 b
	Pb_2	179.4 b-g	3.94 a	0.4186 n	2.659 a-f	3.89 b
Blank	Pb_3	154.4 d-j	3.405 a	0.4729 mn	2.629 a-g	3.18 b
	Pb_4	143.8 d-j	3.1 a	0.5427 j-m	2.823 a-d	3.15 b
	Pb_5	122.7 h-j	3.359 a	0.5769 h-m	2.556 a-g	3.401 b
	Pb_6	162.2 c-g	3.32 a	0.6398 f-k	2.630 a-g	2.463 b

جدول 3 – اثر متقابل سطوح مختلف آلودگی خاک به سرب و نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت عناصر و وزن خشک بخش زیرزمینی گیاه تربچه

Table 3- The interactive effects of different levels of soil Pb and type and rate of amendments on dry weight and elemental composition of below ground part of radish

نوع و مقدار افزودنی Type and rate of amendment	سطوح سرب Pb levels	Pb (ppm)	N (%)	P (%)	K (%)	وزن خشک Dry weight (g)
	Pb_0	145.5 s-t	3.296 a-d	0.7194 c	2.067 h-i	3.560 i-l
	Pb_1	148.3 s-t	2.892 d	0.5860 e	2.542 a-g	4.663 b-f
	Pb_2	156 r-s	3.296 a-d	0.5268 f-g	2.484 b-h	4.307 e-h
$EDTA_1$	Pb_3	230.5 g-h	3.53 ab	0.4407 k-k	2.296 f-h	3.827 g-k
	Pb_4	174.9 n-p	3.001 b-d	0.4037 i-l	2.439 c-h	3.50 j-m
	Pb_5	250.5 e-f	3.359 a-c	0.3775 l-o	2.674 a-f	5.143 a-c
	Pb_6	291 c	3.374 a-c	0.3095 p	2.543 a-g	4.553 c-f
	Pb_0	163.3 p-r	3.374 a-c	0.5549 e-f	2.425 d-h	5.257 a-b
	Pb_1	188.3 l-n	3.141 a-d	0.4824 g-h	2.211 g-i	4.420 d-g
	Pb_2	216 i-j	3.343 a-c	0.4589 h-i	2.752 a-g	3.707 h-l
$EDTA_2$	Pb_3	248.2 e-f	3.359 a-c	0.1353 l-p	2.410 d-h	3.370 k-n
	Pb_4	257.4 d	3.265 a-d	0.3520 l-p	1.901 i	2.807 n-q
	Pb_5	354.3 a	3.421 a-b	0.3214 0-p	2.180 g-i	2.70 o-q
	Pb_6	313.8 b	3.219 a-d	0.3055 p	2.180 g-i	2.203 q-r
	Pb_0	142.2 t	3.265 a-d	0.5379 e-g	2.779 a-e	4.673 b-f
	Pb_1	179.4 m-o	3.374 a-c	0.5142 f-g	2.918 a	5.04 a-d
	Pb_2	188.8 l-m	3.265 a-d	0.4462 h-j	2.854 a-c	4.37 e-g
H_2SO_{41}	Pb_3	197.7 k-l	3.188 a-d	0.3877 k-n	2.571 a-g	4.140 f-i
	Pb_4	205.5 j-k	2.954 c-d	0.3789 l-o	2.556 a-g	3.387 k-n
	Pb_5	281.6 c-d	3.312 a-c	0.5394 e-g	2.381 d-h	2.870 m-p
	Pb_6	253.8 e	3.265 a-d	0.3606 l-p	2.469 c-h	1.773 r-s
	Pb_0	139.4 t	3.343 a-c	0.5226 f-g	2.778 a-e	4.920 a-e
	Pb_1	157.2 r-s	3.157 a-d	0.4089 i-l	2.793 a-d	4.403 d-g
	Pb_2	171.6 o-p	3.032 b-d	0.3966 j-m	2.954 a	4.11 f-j
H_2SO_{42}	Pb_3	168 l-n	3.343 a-c	0.3752 l-o	2.778 a-e	2.79 n-q
	Pb_4	221.6 h-i	3.405 a-b	0.3596 l-p	2.860 a-c	2.273 p-r
	Pb_5	227.7 g-i	3.343 a-c	0.3410 m-p	2.367 d-h	1.817 r-s
	Pb_6	256.6 e	3.219 a-d	0.3214 o-p	2.571 a-g	1.520 s
	Pb_0	105 u	3.343 a-c	0.9036 a	2.353 e-h	5.510 a
	Pb_1	139.4 t	3.250 a-d	0.8152 b	2.455 c-h	4.683 b-f
	Pb_2	158.8 q-s	3.001 b-d	0.7732 b	2.719 a-f	4.330 e-h
Blank	Pb_3	171.6 o-q	3.343 a-c	0.7166 d	2.719 a-f	3.380 k-n
	Pb_4	214.9 i-j	3.374 a-c	0.3865 k-n	2.855 a-c	3.130 l-o
	Pb_5	230.5 g-h	3.312 a-c	0.3641 l-p	2.719 a-f	2.643 o-q
	Pb_6	239.9 f-g	3.063 b-d	0.3304 n-p	2.904 a-b	2.197 q-r



شکل 6- تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت سرب در بخش زیرزمینی تربچه

Figure 6- The Effects of types and rates of amendments on Pb concentration in below ground part of radish

$EDTA_1$:10 mg/kg EDTA, $EDTA_2$:20 mg/kg EDTA, H_2SO_{41}: 750 mg/kg H_2SO_4, H_2SO_{42}: 1500 mg/kg H_2SO_4

جدول 4- تاثیر نوع و مقدار افزودنی های مختلف بر جذب سرب در بخش هوایی و زمینی گیاه تربچه

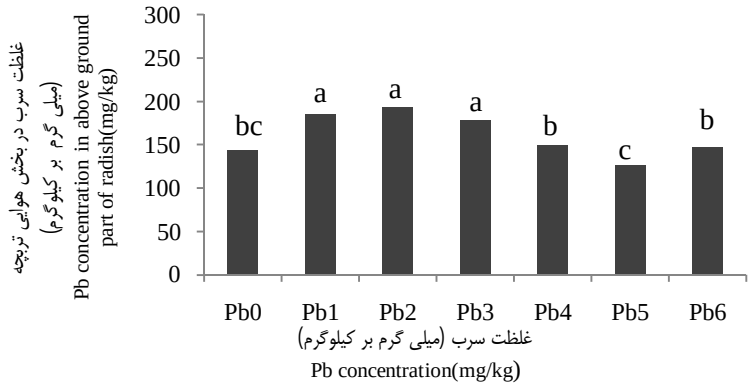
Table 4- The Effects of types and rates of amendments on Pb adsorption in above and below ground part radish

$EDTA_1$:10 mg/kg EDTA, $EDTA_2$:20 mg/kg EDTA, H_2SO_{41}: 750 mg/kg H_2SO_4, H_2SO_{42}: 1500 mg/kg H_2SO_4

افزودنی Amendment	سرب جذب شده (میلی‌گرم در گلدان) Absorbed Pb(mg/pot)
$EDTA_1$	1.279
$EDTA_2$	1.39
H_2SO_{41}	1.406
H_2SO_{42}	1.089
Blank	0.994

تأثیر سطوح مختلف سرب بر غلظت و جذب سرب اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه

اثر سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت سرب در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و در بخش هوایی بیشترین غلظت سرب مربوط به سطح Pb_2 بود. به عبارتی با افزایش سطح آلودگی تا 400 میلی‌گرم بر کیلوگرم غلظت سرب در بخش هوایی در مقایسه با تیمار شاهد 34/25 درصد افزایش یافت ولی در سطوح بالاتر از آن، غلظت سرب کاهش یافت و با تیمار شاهد برابر شد (شکل 7).



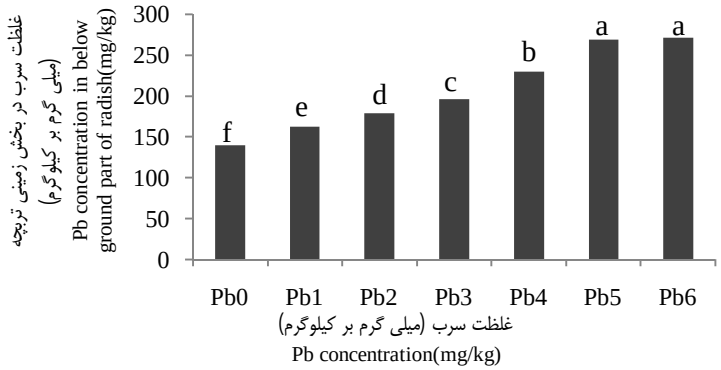
شکل 7- تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت سرب در بخش هوایی تربچه

Figure 7- The Effects of different levels of soil Pb on concentration of Pb in above ground part of radish

Pb_0

$Pb_5$and Pb_6 respectively are: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg Pb/kg soil. ،Pb_4 ،Pb_3 ،Pb_2 ،Pb_1

در بخش زیرزمینی بیشترین غلظت سرب در سطوح Pb_6 و Pb_5 و کمترین غلظت آن در Pb_0 مشاهده گردید (شکل 8). همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش سطح آلودگی به بیش از 400 میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت سرب در بخش هوایی کاهش ولی در بخش زیرزمینی افزایش یافته است، به احتمال زیاد با افزایش غلظت سرب در بخش زیرزمینی، کمپلکس‌های نامحلول سرب تشکیل و به بخش هوایی منتقل نشده است، بنابراین غلظت آن در بخش هوایی حتی از تیمار شاهد هم کمتر شده است. با افزایش غلظت سرب در خاک تا 600 میلی‌گرم بر کیلوگرم، جذب آن در گیاه تربچه نسبت به تیمار شاهد افزایش و پس از آن کاهش یافت (جدول 5). این امر نشان می‌دهد که گیاه‌پالایی برای اصلاح خاک‌های آلوده به غلظت‌های بالای فلز سرب روش مناسبی نیست.



شکل 8- تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت سرب در بخش زیرزمینی تربچه

Figure 8- The Effects of different levels of soil Pb on Pb concentration in below ground part of radish

Pb_5 and Pb_6 respectively are: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg Pb/kg soil. Pb_4 ،Pb_3 ،Pb_2 ،Pb_1 ،Pb_0

جدول 5- تاثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر جذب سرب در بخش هوایی و زیرزمینی تربچه

Table 5- The Effects of different levels of soil Pb on Pb adsorption in above and below ground part of radish

Pb_5 and Pb_6 respectively are: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg Pb/kg soil. Pb_4 ،Pb_3 ،Pb_2 ،Pb_1 ،Pb_0

غلظت سرب (میلی گرم بر کیلوگرم) Pb coneentration (mg/kg)	سرب جذب شده (میلی گرم در گلدان) Absorbed Pb(mg/pot)
Pb_0	1.264
Pb_1	1.424
Pb_2	1.435
Pb_3	1.279
Pb_4	1.137
Pb_5	1.106
Pb_6	0.996

اثر متقابل نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف و سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت سرب بخش هوایی و زیرزمینی تربچه معنی‌دار بود (جداول 2 و 3). بیشترین غلظت سرب بخش هوایی در تیمار $Pb_3 \times EDTA_2$ و در بخش زیرزمینی در تیمار $Pb_5 \times EDTA_2$ و $Pb_6 \times EDTA_2$ مشاهده گردید. اما بیشترین مقدار سرب جذب شده توسط گیاه مربوط به تیمار $Pb_2 \times H_2SO_{41}$ و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار $Pb_6 \times H_2SO_{42}$ بود (جدول 6). این نتیجه بیانگر این مطلب است که در غلظت‌های بالای فلز سرب در خاک، استفاده از غلظت بالای اسید سولفوریک در گیاه پالایی تاثیر منفی بر آن دارد.

تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت فسفر در اندام هوایی و زیرزمینی تربچه

اثر افزودنی‌های مختلف بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی به ترتیب مربوط به تیمارهای H_2SO_{41} و $EDTA_2$ بود و تیمارهای $EDTA_1$، H_2SO_{42} و شاهد به‌ترتیب بعد از آن قرار گرفتند (شکل 9).

جدول6 – اثر متقابل سطوح مختلف آلودگی خاک به سرب و نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر جذب سرب در بخش هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه

Table 6- The interactive effects of different levels of soil Pb and type and rate of amendments on Pb adsorption of above and below ground part of radish

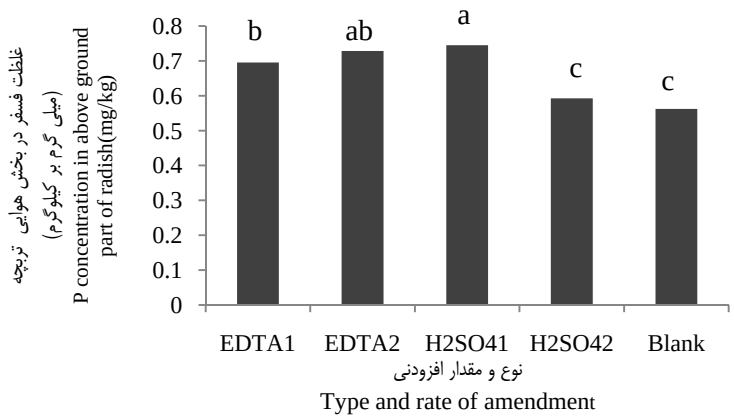
نوع و مقدار افزودنی Type and rate of amendment	سطوح سرب Pb levels	سرب جذب شده (میلی گرم در گلدان) Adsorbed Pb(mg/pot)
$EDTA_1$	Pb_0	1.047
	Pb_1	1.298
	Pb_2	1.318
	Pb_3	1.34
	Pb_4	0.993
	Pb_5	1.611
	Pb_6	1.416
$EDTA_2$	Pb_0	1.416
	Pb_1	1.433
	Pb_2	1.326
	Pb_3	1.565
	Pb_4	1.294
	Pb_5	1.265
	Pb_6	0.994
H_2SO_{41}	Pb_0	1.436
	Pb_1	1.725
	Pb_2	1.751
	Pb_3	1.523
	Pb_4	1.187
	Pb_5	1.24
	Pb_6	0.813
H_2SO_{42}	Pb_0	1.26
	Pb_1	1.311
	Pb_2	1.383
	Pb_3	1.075
	Pb_4	0.873
	Pb_5	0.749
	Pb_6	0.645
Blank	Pb_0	0.844
	Pb_1	1.339
	Pb_2	1.385
	Pb_3	1.071
	Pb_4	1.126
	Pb_5	0.926
	Pb_6	0.737

علت افزایش غلظت فسفر در اثر کاربرد 750 میلی‌گرم اسید سولفوریک در کیلوگرم خاک این است که محیط اسیدی ایجاد شده باعث افزایش حلالیت ترکیبات فسفر شده که اثر مثبتی بر جذب آن دارد. استفاده زیادتر از اسید، انحلال بیشتر ترکیبات کلسیم، روی، سرب، آهن و آلومینیوم را فراهم آورده که می‌توانند با فسفر تشکیل رسوب دهند و در نتیجه غلظت فسفر در بخش هوایی را بدلیل تشکیل رسوبات فسفات‌های کلسیم، روی، سرب، آهن و آلومینیوم در خاک و ریشه کاهش دهند (5).

دربخش زیرزمینی بیشترین غلظت فسفر مربوط به تیمار شاهد بود و تیمارهای $EDTA_1$، H_2SO_{41}، $EDTA_2$ و H_2SO_{42} به‌ترتیب بعد از آن قرار گرفتند (شکل 10). در این اندام همه‌ی افزودنی‌ها اثر منفی بر غلظت فسفر داشتند که احتمالا به علت انتقال این عنصر از غده به برگ‌ها می‌باشد.

تأثیر سطوح مختلف سرب بر غلظت فسفر اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه

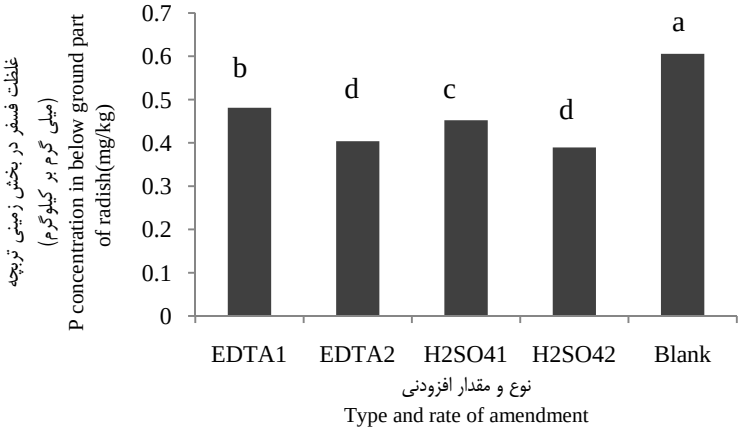
اثر سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت فسفر بخش هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بیشترین غلظت فسفر در هر دو بخش مربوط به تیمار شاهد بود (شکل 11 و 12). کاهش غلظت فسفر بخش زیرزمینی از نظم بیشتری نسبت به بخش هوایی برخوردار بود .



شکل ۹- تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه تربچه

Figure 9- The Effects of types and rates of amendments on P concentration in above ground part of radish

$EDTA_1$:10 mg/kg EDTA, $EDTA_2$:20 mg/kg EDTA, H_2SO_{41}: 750 mg/kg H_2SO_4, H_2SO_{42}: 1500 mg/kg H_2SO_4



شکل ۱۰- تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت فسفر در بخش زیرزمینی گیاه تربچه

Figure 10- The Effects of types and rates of amendments on P concentration in below ground part of radish

$EDTA_1$:10 mg/kg EDTA, $EDTA_2$:20 mg/kg EDTA, H_2SO_{41}: 750 mg/kg H_2SO_4 ,H_2SO_{42}: 1500 mg/kg H_2SO_4

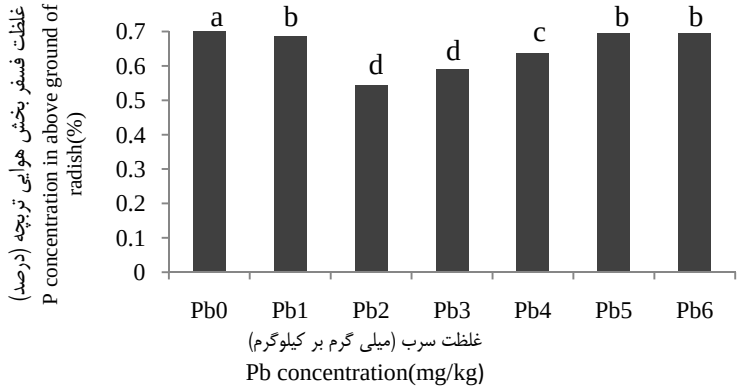
بطور کلی با افزایش آلودگی خاک به سرب از غلظت فسفر کاسته شد. احتمالا اثر متقابل شدیدی بین سرب و فسفر وجود دارد چون‌که افزودن سرب به خاک، جذب فسفر را کاهش داد. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت سرب در خاک تا سطح Pb_3 غلظت سرب در بخش هوایی نیز افزایش یافت اما در بیشتر از این سطح، غلظت آن در بخش هوایی کاهش یافت. اما در مورد غلظت فسفر این روند معکوس است یعنی تا Pb_4 غلظت فسفر کاهش و بعد از آن افزایش یافته است. در تحقیقی که توسط واکر و همکاران (۲۵) انجام گردید، کاهش ۶۴ درصدی غلظت فسفر در گیاه ذرت در تیمار حاوی ۲۵۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک مشاهده گردید که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.

اثر متقابل سطوح مختلف آلودگی سرب و افزودنی‌های مختلف بر غلظت فسفر بخش هوایی و زیرزمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جداول ۲ و ۳) و بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی به ترتیب مربوط به تیمارهای $Pb_0 \times H_2SO_{41}$ و $Pb_0 \times EDTA_1$ بود. در بخش زیرزمینی نیز بیشترین غلظت مربوط به تیمار شاهد $Pb_0 \times$ بود.

تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت پتاسیم اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه

اثرنوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت پتاسیم در بخش هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بیشترین غلظت پتاسیم در بخش هوایی به ترتیب در تیمارهای شاهد، $EDTA_1$، $EDTA_2$، H_2SO_{42} و H_2SO_{41} مشاهده شد (شکل ۱۳). در بخش زیرزمینی بیشترین غلظت پتاسیم در تیمارهای

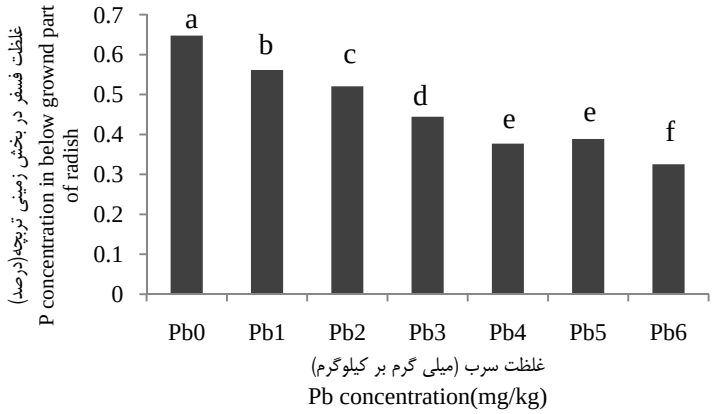
H_2SO_{42} وH_2SO_{41} و شاهد اندازه‌گیری گردید و این سه تیمار تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بعد از آنان بیشترین غلظت پتاسیم به ترتیب مربوط به تیمارهای $EDTA_1$ و $EDTA_2$ بود (شکل ۱۴).



شکل ۱۱- تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه تربچه

Figure 11- The Effects of different levels of soil Pb on P concentration in above ground part of radish

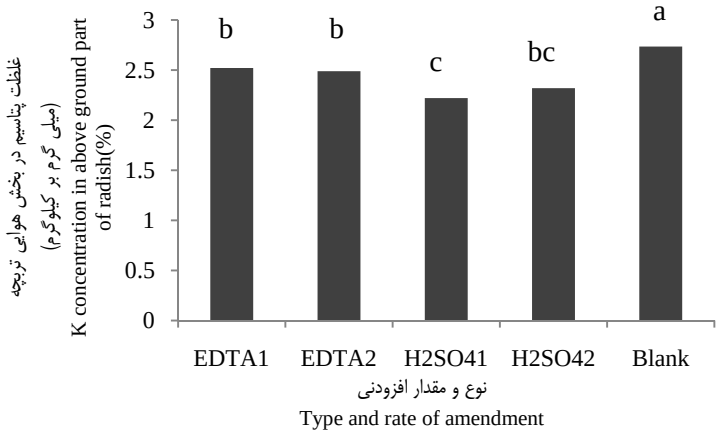
$Pb_5$and Pb_6 respectively are: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg Pb/kg soil. ،Pb_0 ،Pb_1 ،Pb_2 ،Pb_3 ،Pb_4



شکل ۱۲- تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت فسفر بخش زیرزمینی گیاه تربچه

Figure 12- The Effects of different levels of soil Pb on P concentration in below ground part of radish

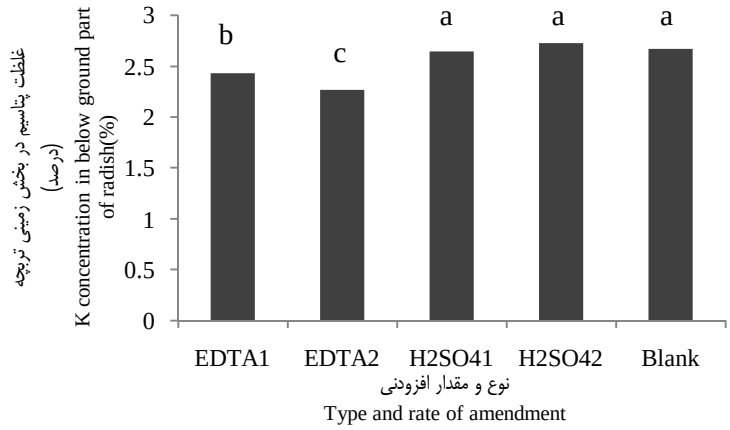
$Pb_5$and Pb_6 respectively are: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg Pb/kg soil. ،Pb_0 ،Pb_1 ،Pb_2 ،Pb_3 ،Pb_4



شکل ۱۳- تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه تربچه

Figure 13-The Effects of types and rates of amendments on K concentration in above ground part of radish

$EDTA_1$:10 mg/kg EDTA, $EDTA_2$:20 mg/kg EDTA, H_2SO_{41}: 750 mg/kg H_2SO_4, H_2SO_{42}: 1500 mg/kg H_2SO_4



شکل 14- تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌های مختلف بر غلظت پتاسیم اندام زیرزمینی گیاه تربچه

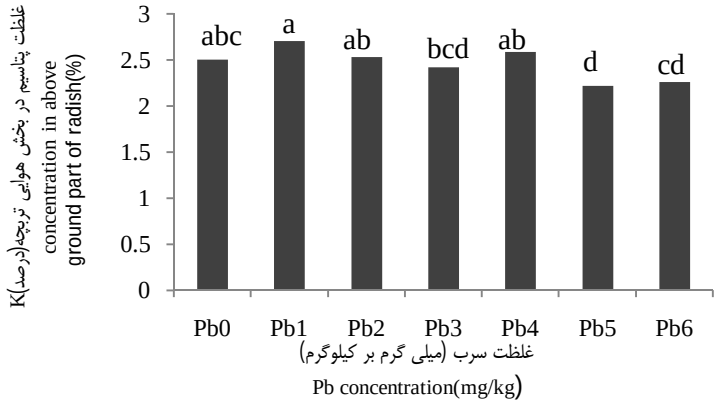
Figure 14- The Effects of types and rates of amendments on K concentration in below ground part of radish

$EDTA_1$:10 mg/kg EDTA, $EDTA_2$:20 mg/kg EDTA, H_2SO_{41}: 750 mg/kg H_2SO_4, H_2SO_{42}: 1500 mg/kg H_2SO_4

در بخش هوایی افزودنی‌ها تأثیر مثبتی بر غلظت پتاسیم نداشتند و تیمار شاهد دارای بیشترین غلظت پتاسیم بود. در بخش زیرزمینی کاربرد EDTA منجر به کاهش غلظت پتاسیم گردید ولی کاربرد اسید سولفوریک تفاوت معنی‌داری با شاهد ایجاد ننمود. احتمالاً کاربرد EDTA منجر به افزایش حلالیت فلزاتی شده است که در جذب با پتاسیم رقابت دارند، بنابراین جذب پتاسیم کاهش یافته است. تاندی و همکاران (23) گزارش نمودند که کلات کننده‌ها جذب سرب از خاک را افزایش دادند اما جذب مس، روی و عناصر ضروری را کاهش دادند.

تأثیر سطوح مختلف سرب بر غلظت پتاسیم اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه

اثر سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت پتاسیم بخش هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه معنی داربود و در بخش هوایی بیشترین غلظت پتاسیم مربوط به سطح Pb_1 بود و سطوح Pb_4، Pb_2، Pb_0، Pb_3، Pb_3، Pb_6 و Pb_5 به ترتیب بعد از آن قرار گرفتند (شکل 15).



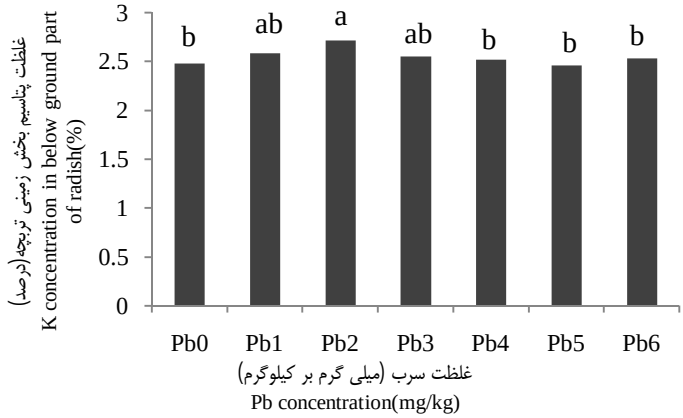
شکل 15- تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت پتاسیم در بخش هوایی تربچه

Figure 15- The Effects of different levels of soil Pb on K concentration in above ground part of radish

$Pb_5$and Pb_6 respectively are: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg Pb/kg soil. ،Pb_4 ،Pb_3 ،Pb_2 ،Pb_1 ،Pb_0

در بخش زیرزمینی بیشترین غلظت پتاسیم مربوط به سطح آلودگی Pb_2 بود و سطوح Pb_1،Pb_3، Pb_6، Pb_4، Pb_0 و Pb_5 بترتیب بعد از آن قرار گرفتند (شکل 16). افزودن 400 میلی گرم سرب درکیلوگرم خاک سبب افزایش 9/4 درصدی غلظت پتاسیم در بخش زمینی گیاه شد. واکر و همکاران (25) کاهش 37 درصدی غلظت پتاسیم در ذرت با افزایش سطوح سرب در خاک از صفر به 250 میلی‌گرم در کیلوگرم و خان و خان (14) افزایش 28/5 درصدی غلظت پتاسیم در گوجه فرنگی را با افزایش سطوح سرب در خاک از

صفر به 600 میلی‌گرم در کیلوگرم را گزارش نمودند.



شکل 16- تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر غلظت پتاسیم در بخش زمینی تربچه

Figure 16- The Effects of different levels of soil Pb on K concentration in below ground part of radish

$Pb_5$and Pb_6 respectively are: 0, 200, 400, 600, 800, 1000 and 1200 mg Pb/kg soil. ،Pb_4 ،Pb_3 ،Pb_2 ،Pb_1 ،Pb_0

اثر متقابل افزودنی‌های مختلف و سطوح آلودگی خاک به سرب، بر غلظت پتاسیم بخش هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بیشترین غلظت بخش هوایی به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد×Pb_0 و شاهد ×Pb_1 بود. در بخش زیرزمینی نیز بیشترین غلظت به ترتیب در تیمارهای Pb_2×H_2SO_{42} و Pb_1×H_2SO_{41} مشاهده گردید (جداول 2 و 3).

تأثیر نوع و مقدار افزودنی‌ها و همچنین تأثیر سطوح مختلف آلودگی سرب بر جذب نیتروژن در هیچکدام از بخش های هوایی و زیرزمینی گیاه تربچه معنی‌دار نبود (جداول 2 و 3).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که گیاه تربچه توانایی جذب و تجمع غلظت‌های بالای سرب را دارا می‌باشد و می‌توان از آن برای گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب استفاده نمود. تجمع سرب در ریشه تربچه بیشتر از قسمت هوایی آن بود. همچنین جذب فسفر دارای رقابت شدید با سرب بود. وزن خشک تربچه تحت تاثیر غلظت‌های مختلف سرب و همچنین نوع و مقدار افزودنی‌ها قرارگرفت، به‌طوری‌که وزن خشک گیاه، با کاربرد افزودنی‌های اسید سولفوریک وEDTA افزایش و با افزایش سطوح آلودگی خاک به سرب، کاهش یافت. اصلاح کننده‌ی EDTA از توانایی بیشتری در افزایش غلظت فلز سنگین سرب در بخش هوایی گیاه تربچه برخوردار بود ولی سطح 750 میلی‌گرم اصلاح کننده‌ی اسید سولفوریک در کیلوگرم خاک سبب بیشترین مقدار جذب سرب در گیاه شد. مقدار مصرف اصلاح کننده‌ها نیز تأثیر زیادی بر نحوه عملکرد آن‌ها داشت به‌طوری‌که مصرف زیاد آن‌ها می‌تواند اثرات منفی بر گیاه پالایی داشته باشد. لذا استفاده بهینه از اصلاح کننده‌ها توصیه می‌شود.

منابع

1- Albasel N., and Cottenieb A. 1985. Heavy metals uptake from contaminated soils a affected by peat, lime, and chelates. Soil Science Society of American journal, 94: 386-390.

2-Blaylock M.J. 1999. Field demonstrations of phytoremediation of lead contaminated soils. p. 1-12. In N, Terry,. and G. Banueloss (ed.) Phytoremediation of contaminated soils and water. CRC Press LLC.

3-Blaylock M.J., and Huang J.W. 2000. Phytoextraction of metals. p. 53-70. In B. Raskin and d. Ensley .(ed). Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment. John Wiley & Sons Inc, New York, NY.

4- Bremner J.M. 1996. Nitrogen – Total. P. 1085-1122. In D.L. Sparks et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.

5- Brown A.L., Krantz B.A., and Eddying G.L. 1970. Zinc- phosphorus interactions as measured by plant response and soil analysis. Soil Science, 110(6): 415-420.

6-Cooper E.M., Sims J.T., Cunningham S.D., Huang J.W., and Berti W.R. 1999. Chelate-Assisted Phytoextraction of lead from contaminated soils. Journal of Environmental Quality, 28: 1709-1719.

7- Day, R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. p. 545-566. In C. A. Black et al .(ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Ser. No. 9. ASA, Madison, WI.
8- Fazal H., Asghari B., and Fuller M.P. 2010. The improved phytoextraction of lead (Pb) and the growth of maize (Zea mays L.): the role of plant growth regulators (GA3 and IAA) and EDTA alone and in combinations. Chemosphere, 80: 457-462.
9-Helmke P.H., and Spark D.L. 1996. Potassium. P. 551-574. In D.L., Sparks et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
10- Huang J.W., Chen, J.J., Berti,W.R., and Cunningham.,S.D. 1997. Phytoremediation of lead- contaminated soils: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. Environmental Science and Technology, 31:800–805.
11-Hutzinger O. 1980. Antropogenic compounds . P. 59-107. The hand book of environmental chemistry".Vol. 3 part A, Berlin: Springer Verlag.
12-Kayser A., Wenger K., Keller A., Attinger W., Felix H.R., Gupta S.J., and Schulin R . 2000. Enhancment of phytoextraction of Zn, Cd and Cu from calcareous soil:The use of NTA and S ulphur amendments. Environmental Science and Technology, 34:1778- 1783.
13- Khan D.H., and Frankland B. 1983. Effect of cadmium and lead on radish plant with particular reference to movement- of metals through soil profile and plant. Plant and soil, 70: 335-345.
14-Khan S., and Khan N.N. 1983. Influence of lead and cadmium on growth and nutrient concentration of tomato and egg- plant. Plant and Soil, 74:387-344.
15-Kuo S. 1996. Phosphorus. p. 869-920. In D. L. Sparks et al. (ed.) Method of soil Analysis. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
16-Lambi E., Zhao F.J., Dunham J., and Mcgrath S.P. 2001. Phytoremediation of heavy metal contaminated soils: Natural hyperaccumulation versu chemically enhanced phytoextraction. Journal of Environmental Quality, 30 : 1919-1926.
17-Marchiol L., Fellet G., Perosa D., Zerbi G. 2007. Removal of trace metals by Sorghum bicolor and Helianthus annuus in a site polluted by industrial wastes: a field experience. Plant Physiology and Biochemistry; 45(5): 379-387.
18- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. P. 181-196. In A.L. Page .(ed.) Methods of soil analysis. Part 2.2nd ed. Chemical and microbiological properties. Agronomy monograph no.9. SSSA and ASA, Madison, WI.
19-Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical microbiological properties. American Society of Agronomy. Inc. Soil Science of America. Inc. Madison. Wisconsin USA.
20-Page A.L. 1985. Trace elements in wastewater: their effects on plant growth and composition and their behavior in soils. SSSA.
21-Shen Z.G., Zhao F.J., and McGrath S.P. 1997. Uptake and transport of zinc in the hyperaccumulator Thlaspi caerulescens and the nonhyperaccumulator Thlaspi ochroleucum. Plant Cell and Environment, 20:898–906.
22-Sparks D.L. 2003. Environmental Soil Chemistry. Second Edition, Academic Press.
23-Tandy S., Schulin, R., and Nowack B. 2005. Uptake of metals during chelant-assisted phytoxtraction related to the solubilized metal concentration. Environmental Science and Technology, 38: 937-944.
24-Topp G.C., Galynou B.C., Ball B.C., and Carter M.R. 1993. Soil water adsorption curve. p. 569-579. In M.R. Carter .(ed.) Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
25-Walker W.M., Miller J.E., and Hassett J. 1977. Effect of lead and cadmium upon the calcium, mangnesium, potassium and phosphorus concentrations in young corn plants. Soil Science, 124 (3): 145-151.
26-Westerma R. E. L. 1990. Soil testing and plant analysis. SSSA, Madison Wisconsin, USA.
27-Wood P.A. 1997. Remediation methods for contaminated sites. P. 47-72. In R.E. Hester and R.M. Harrisom. (ed.) Issues in environment science and technology. Contaminated land its remediation. The Royal Society of chemistry, Letchworth, U. K.
28-Wu J., Hsu F.C., and Cunninghuam S.D. 1999. Chelate-assisted Pb phytoextraction: Pb availability, uptake and translocation constraints. Environmental Science and Technology, 33: 1898- 1904.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 1, Mar.-Apr. 2016, p. 194-209

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 1، فروردین – اردیبهشت 1395، ص. 209-194

The Effects of EDTA and H2SO4 on Phyto-extraction of Pb from contaminated Soils by Radish

T. Mansouri[1*]- A. Golchin[2]- J. Fereidooni[3]

Received: 16-11-2014
Accepted: 19-08-2015

Introduction: Soil contamination by heavy metals is one of the most important environmental concerns in many parts of the world. The remediation of soil contaminated with heavy metals is necessary to prevent the entry of these metals into the human food chain. Phyto-extraction is an effective, cheap and environmental friendly method which uses plants for cleaning contaminated soils. The plants are used for phytoremediation should have high potential for heavy metals uptake and produce enormous amount of biomass. A major problem facing phyto-extraction method is the immobility of heavy metals in soils. Chemical phyto-extraction is a method in which different acids and chelating substances are used to enhance the mobility of heavy metals in soil and their uptake by plants. The aims of this study were: (a) to determine the potential of radish to extract Pb from contaminated soils and (b) to assess the effects of different soil amendment (EDTA and H_2SO_4) to enhance plant uptake of the heavy metal and (c) to study the effects of different levels of soil Pb on radish growth and Pb concentrations of above and below ground parts of this plant.

Materials and Methods: Soil samples were air dried and passed through a 2 mm sieve and analysed for some physico-chemical properties and then artificially contaminated with seven levels of lead (0, 200, 400, 600, 800 and 1000 mg/kg) using $Pb(NO_3)_2$ salt and then planted radish. During the growth period of radish and after the initiation of root growth, the plants were treated with three levels of sulfuric acid (0, 750 and 1500 mg/kg) or three levels of EDTA (0, 10 and 20 mg/kg) through irrigation water. At the end of growth period, the above and below ground parts of the plants were harvested, washed, dried and digested using a mixture of HNO_3, HCl, and H_2O_2. The concentrations of Pb, N, P and K in plant extracts were measured. Statistical analysis of data was performed using MSTATC software and comparison of means was carried out using duncan's multiple range test.

Results and Discussion: The results showed that the effects of the type and rate of soil amendment and Pb levels of polluted soils were significant on dry weight and Pb concentrations of above and below ground parts of radish ($p< 0.01$). The dry weights of above and below ground parts of radish decreased as the Pb levels of polluted soils increased. By increasing the soil pollution level (1200 mg Pb/kg soil), the total dry weight of plant decreased by %47.3 which was probably due to phytotoxicity of lead and deficiency of several essential nutrients such as phosphorus. When the Pb levels of the polluted soils increased up to 400 mg/kg soil, the concentrations of Pb in above and below ground parts of the plant increased. But when the Pb levels of the polluted soils were higher than 400 mg/kg soil, the Pb concentration in above ground part of the plant decreased but in below ground part of the plant significantly increased. The decrease in Pb concentration in above ground part of radish was probably due to formation of insoluble lead complexes in soil. the use of soil amendments increased the concentrations of Pb in above and below ground parts of radish. The Application of EDTA increased the concentration of Pb in aerial part of radish more than the application of H_2SO_4. Also, the application of EDTA and H_2SO_4at low concentrations increased dry weight of plant since, the availability of micro- and macro elements enhanced and plant uptake of nutrients increased. But at the high concentrations of these amendments the increased availability of lead caused the reduced plant growth due to phytotoxicity. But the ability of the low level of sulfuric acid to absorb lead was more than EDTA. An antagonistic effect between phosphorus and lead uptake was also observed.

Conclusion: The results of the experiment showed that the Radish plant had the ability to absorb and accumulate the high concentration of lead in its tissues and so can be used for the phytoremediation of lead-contaminated soils. The EDTA application had higher potential for enhancing lead mobility and phytoavailability than H_2SO_4, But the ability of the low level of sulfuric acid to absorb lead was more than EDTA. The rate of amendment also had a significant effect on phyto-extraction process and the process was adversely affected by high concentrations of the amendments.

Keywords: EDTA, H_2SO_4, Phytoremediation, Pb, Radish

1, 2, 3- PhD. Student, Professor and M.Sc. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Zanjan, Respectively
(*-Corresponding Author Email: t.mansouri2010@gmail.com)