



## بررسی تغییرات مقادیر سرب قابل استخراج با عصاره گیرهای مختلف در ریزوسفر و توده خاک ذرت و کلزا و مقادیر سرب در این دو گیاه

\* ماهان ضیایی<sup>۱</sup> و حسین میرسیدحسینی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران، استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران  
تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۲۵

### چکیده

خصوصیات بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی محیط ریزوسفر از جمله اشکال شیمیایی عناصر در آن با توده خاک متفاوت است. این آزمایش به منظور مقایسه تفاوت اشکال شیمیایی عنصر سرب و فراهمی آن‌ها در ریزوسفر و توده خاک در حضور دو گیاه ذرت و کلزا در دو زمان ۳ و ۶ هفته پس از کشت با استفاده از جعبه‌های کشت جداسازی شده به ۳ بخش  $S_1$  (منطقه موسوم به ریزوسفر)،  $S_2$  (منطقه متأثر از ریزوسفر) و  $S_3$  (توده خاک) در شرایط گل‌خانه‌ای انجام شد. برای بررسی تغییرات اجزای فلزات و زیست‌فراهمی آن‌ها از روش‌های مختلف عصاره‌گیری (آب مقطر،  $Ca(NO_3)_2$ ، DTPA و  $HNO_3$ ) و از روش‌های تعریف شده استفاده شد. نتایج نشان دادند که اشکال محلول در آب سرب، ۳ هفته پس از کشت در خاک تحت کشت ذرت و کلزا بیش‌تر از شاهد بود. اثرات ریزوسفری تأثیر معنی‌داری بر مقادیر سرب قابل استخراج با نیترات کلسیم در خاک نداشتند. مقادیر سرب قابل استخراج با DTPA در ریزوسفر ذرت و کلزا ۳ هفته پس از کشت بیش‌تر از توده خاک بود. و در خاک تحت کشت کلزا بر خلاف ذرت در هر دو زمان مقادیر سرب قابل جذب در ریزوسفر بیش‌تر از منطقه میانی بود. سرب قابل استخراج با اسید نیتریک در ریزوسفر ذرت، ۶ هفته پس از کشت بیش‌تر از ۲ منطقه دیگر و در همین زمان در خاک تحت کشت کلزا کم‌تر از توده خاک بود. میزان جذب سرب در گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری در ریشه بیش‌تر از اندام هوایی است. تغییر در اشکال سرب در ریزوسفر می‌تواند به‌دلیل تفاوت در خصوصیات خاک و گونه‌های گیاهی باشد. تحرک سرب در ریزوسفر نشان‌دهنده افزایش بخش تبدیلی فلز به‌دلیل تفاوت در تحریک حلالیت این عنصر در ریزوسفر در مقایسه با توده خاک بوده است.

واژه‌های کلیدی: توده خاک، ریزوسفر، سرب، عصاره‌گیری، فراهمی

\* مسئول مکاتبه: [mahanziyaae@ut.ac.ir](mailto:mahanziyaae@ut.ac.ir)

مقدمه

در بسیاری از جوامع صنعتی آلودگی فلزات سنگین در خاک از طریق فعالیت‌های بشر (احتراق سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، تصفیه سنگ‌های شامل فلز، فاضلاب‌های شهری، سموم و آفت‌کش‌ها، مواد رنگی و باتری‌ها) و فرسایش طبیعی وارد بیوسفر شده و در طولانی مدت محیط زیست و سلامت انسان را به خطر می‌اندازند.

فراهمی عناصر فلزی سنگین برای گیاهان در خاک به مقدار طبیعی آن عناصر در محلول خاک و ارتباط آن‌ها با عناصر موجود در فاز جامد خاک بستگی دارد. واکنش عناصر غذایی با سطوح فاز جامد خاک به طبیعت فیزیکی و شیمیایی آن سطح و ترکیبات آلی و غیرآلی سازنده ذرات آن سطح بستگی دارد (باربر، ۱۹۹۵). پژوهشگران تلاش زیادی برای پیش‌گویی زیست‌فراهمی فلزات از طریق ایجاد همبستگی بین داده‌های تجمع فلزات در گیاهان و مقدار فلزات در ذخایر مختلف خاک مانند محلول، قابل تبادل، پیوندیافته با مواد آلی و اکسیدها، توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری (پی در پی یا انفرادی) انجام داده‌اند (فانگ و همکاران، ۲۰۰۷). عوامل شناخته شده مؤثر بر حلالیت و فراهمی فلزات برای گیاهان شامل خصوصیات شیمیایی، pH، CEC، پتانسیل اکسایش-کاهش، بافت خاک، مقدار رس و ماده آلی می‌باشند (ویولانت و همکاران، ۲۰۱۰).

اجزای مؤثر در جذب فلزات سنگین شامل: اکسیدهای Fe و Mn و به مقدار کم تر Al و Si، مواد آلی، کربنات‌ها، فسفات‌ها، سولفیدها و نمک‌های بازی و رس‌ها می‌باشند (کاباتاپندیاس و پندیاس، ۱۹۸۰). pH، درصد مواد آلی و بافت خاک در تعیین غلظت قابل جذب فلزات سنگین توسط گیاهان دخالت دارند (آلووی، ۲۰۰۴؛ آشوروت و آلووی، ۲۰۰۴).

در میان فلزات سنگین، سرب از اهمیت زیادی برخوردار بوده و در بین فلزات خطرناک دومین رتبه را دارد و دارای اثرات بسیار سمی بر زندگی موجودات زنده است. بنابراین تعیین اشکال سرب در ارزیابی تحرک و زیست‌فراهمی آن در خاک‌های آلوده بسیار ضروری است (ساوونینا و همکاران، ۲۰۰۵). قابلیت جذب سرب تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد. سرب در خاک به صورت  $Pb^{+2}$  جذب رس، مواد آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌شود. جذب سطحی آن بیش‌تر تحت تأثیر ویژگی‌هایی مانند فراوانی رس، مواد آلی، pH، یون‌های آهن، آلومینیوم و کلسیم می‌باشد (لاگاشتی و همکاران، ۲۰۱۰).

فعالیت میکروبی در خاک، شرایط اکسایش و کاهش، زه‌کشی خاک، شرایط آب و هوایی و تغییرات فصلی از جمله عواملی هستند که تأثیر قابل توجهی بر زیست‌فراهمی عناصر سنگین در خاک دارند. تأثیر هم‌زمان این عوامل بر فراهمی فلزات سنگین مطالعه آن‌ها به صورت مجزا را با مشکلاتی رو به رو می‌سازد. فعالیت میکروبی علاوه بر عوامل گفته شده به ترکیب شیمیایی خاک، pH و میزان مواد آلی وابسته است (هوگبرگ و همکاران، ۲۰۰۷).

برای به دست آوردن اطلاعات جزئی از توزیع اشکال فلزات در خاک و رسوبات از روش‌های مختلف عصاره‌گیری استفاده می‌شود. تعیین اشکال شیمیایی مختلف در بخش‌های مختلف خاک، برای ارزیابی تغییرات تحرک فلزات مختلف تحت خصوصیات متغیر شیمیایی خاک، از اهمیت زیادی برخوردار است (ساوونینا و همکاران، ۲۰۰۵). روش‌های عصاره‌گیری بر تعیین اشکال شیمیایی فلزات همراه با فازهای ژئوشیمیایی خاک تمرکز دارند که در آن‌ها از برهم‌کنش‌های زیستی درون خاک، به‌ویژه برهم‌کنش خاک- گیاه چشم‌پوشی می‌شود و بیش‌تر در این واکنش‌ها اشکال فلزات، تغییر شکل، جذب و تجمع توسط گیاهان تحت تأثیر قرار می‌گیرد (فنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

زیست‌فراهمی فلزات مختلف برای گیاه با توجه به نوع فلز، خصوصیات گیاه و نوع گیاه تغییر می‌کند و این امر برای ارزیابی کشت گیاهان در خاک‌های آلوده اهمیت دارد. قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک برای گیاه توسط اشکال موجود در محلول خاک و اشکال فلزات همراه با فاز جامد خاک تعیین می‌شود، اگرچه تحرک و قابلیت دسترسی فلزات برای گیاهان به‌طور عمده در فاز محلول تعیین می‌شود ولی فلزات در فاز محلول مقدار کمی از کل فلزات را تشکیل می‌دهند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۰). بر پایه مطالعات انجام شده مقداری از عنصر لابلیل که در محلول خاک ناحیه ریزوسفر وجود دارد در پیش‌گویی زیست‌فراهمی مهم است (فنگ و همکاران، ۲۰۰۵).

ریزوسفر حجمی از خاک است که اطراف ریشه‌های زنده را فرا گرفته و از فعالیت‌های ریشه‌ای تأثیر می‌پذیرد (داراه، ۱۹۹۳؛ هینسینگر، ۱۹۹۸). فعالیت ریشه‌ها تمام محدوده ریزوسفر را به یک محیط واحد تبدیل کرده است. خصوصیات خاک اطراف ریشه تحت تأثیر تغییرات بیوشیمیایی، شیمیایی و فیزیکی قرار دارد که فرآیندهای ریشه یا فعالیت میکروارگانیسم‌های تحریک شده در مجاورت ریشه‌ها در نتیجه رهاسازی ترشحات ریشه‌ای مسئول آن هستند و در مقایسه با توده خاک متفاوت است (جونز و همکاران، ۲۰۰۴). گسترش ناحیه ریزوسفر تحت تأثیر نوع و گونه گیاه، سن گیاه و بافت خاک می‌باشد. ترشحات ریشه‌ای هم از طریق نشت مواد و هم از طریق ترشح فعال آزاد می‌شوند. اختلاف

در تحرک عناصر کم‌مصرف در ریزوسفر و توده خاک به نوع گونه گیاهی، فراهمی عناصر غذایی، شرایط تغذیه‌ای خاک، خصوصیات خاک و فاصله از ریشه بستگی دارد. در بین فرآیندهای بسیاری که در ریزوسفر رخ می‌دهند، ترشحات ریشه‌ای بیش‌تر مورد توجه‌اند و اثر مهمی بر میکروارگانیسم‌های خاک و نیز سرنوشت عناصر در خاک دارند (نگوین، ۲۰۰۳؛ جونز و همکاران، ۲۰۰۴).

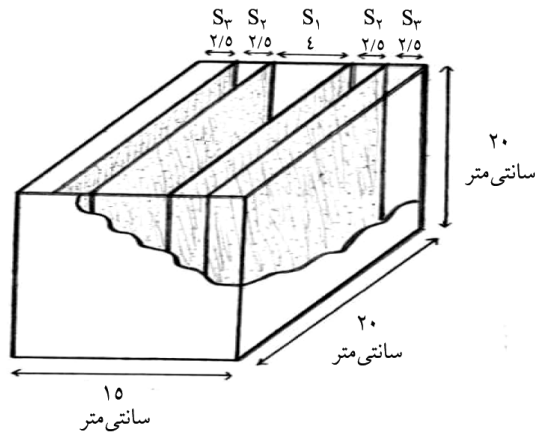
محدود کردن رشد ریشه‌ها با حجم معینی از خاک سبب افزایش تراکم ریشه‌ها شده و نمونه‌برداری از خاک ریزوسفیری را آسان می‌کند. عمل محدود کردن ریشه‌ها معمولاً با استفاده از صفحاتی از جنس استیل ضدزنگ، نایلون یا مواد مصنوعی دیگر انجام می‌شود. این صفحات اجازه عبور آب، گاز و پخشیدگی مواد غذایی را می‌دهند به نحوی که زندگی گیاه تحت‌تأثیر قرار نگیرد (مشیری، ۲۰۱۰). یکی از وسایلی که به‌طور گسترده برای مطالعه تغییرات در ریزوسفر استفاده می‌شود ریشه‌دان (rhizobox) است (گریگوری و هینسینگر، ۱۹۹۹؛ جیلارد و همکاران، ۲۰۰۲) که در آن خاک با استفاده از یک مش ریز جداسازی می‌شود و اجازه می‌دهد که خاک را در فاصله‌های معین تعریف شده از سطح ریشه با برش‌های مساوی جمع‌آوری کرد (کوچنباخ و جونک، ۱۹۸۲؛ ونزل و همکاران، ۲۰۰۱).

تفاوت در خصوصیات خاک و گونه‌های گیاهان به تشریح تفاوت‌ها در تغییرات اشکال فلزات در ریزوسفر کمک می‌کند (تائو و همکاران، ۲۰۰۳). در این راستا انجام بررسی‌های مشتمل بر جداسازی مکانی خاک اطراف ریشه به‌عنوان روش مناسب پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. ارایه روش‌های مختلف و نحوه انجام بررسی در طراحی و جداسازی مکانی محیط رشد ریشه از چالش‌های پیش‌رو می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در محیط کشت گیاهان ذرت و کلزا در جعبه‌های پلاستیکی با ابعاد ۲۰×۱۵×۲۰ سانتی‌متر در قالب طرح آشیانه‌ای بر پایه کاملاً تصادفی انجام شد. برای هر گیاه ۴ جعبه کشت و ۱ جعبه کشت نشده و بدون گیاه به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد (خاک جعبه شاهد تحت‌تأثیر ریشه قرار نداشت). جعبه‌های کشت با نمونه خاک مورد آزمایش پر شدند. در هر جعبه براساس پژوهش‌های قبلی انجام شده در این زمینه توسط وانگ و همکاران (۲۰۰۲) ۵ ناحیه با استفاده از توری نایلونی ۳۵ مش (برای جلوگیری از نفوذ مستقیم ریشه) جداسازی شد و در نهایت نمونه‌های خاک از ۳ ناحیه تفکیک شده  $S_1$  (ناحیه موسوم به ریزوسفر)،  $S_2$  (ناحیه متأثر از ریزوسفر) و  $S_3$  (توده خاک) به‌منظور اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی تهیه شد (شکل ۱).

خاک مورد نیاز به صورت نمونه مرکب از لایه سطحی (از عمق ۳۰-۰ سانتی متر) از مزرعه تحت کشت گندم در مجاورت شرکت صنعت روی زنگان، واقع در جاده بیجار- زنجان با مشخصات جغرافیایی ارتفاع از سطح دریا: ۱۶۳۳ متر و طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰/۵ دقیقه و ۶۶ ثانیه شمالی و عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰/۷ دقیقه و ۰۰ ثانیه شرقی، تهیه شد. بذر گیاهان ذرت و کلزا ابتدا جوانه دار شده و سپس در محوطه وسط جعبه‌ها کاشته شده و پس از ۶ هفته گیاهان برداشت شدند. نمونه برداری از خاک در ۲ زمان ۳ و ۶ هفته پس از آغاز کشت از هر ناحیه انجام شد. سپس خاک‌ها به طور جداگانه خشک و الک شده و برای تجزیه شیمیایی مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۱- نمایی از جعبه کشت ذرت و کلزا و مناطق تفکیک شده براساس فاصله از ریشه (وانگ و همکاران، ۲۰۰۲).

برای اندازه‌گیری مقدار سرب قابل دسترس گیاه، ۱۰ گرم خاک به همراه ۲۰ میلی لیتر محلول DTPA به مدت ۲ ساعت به هم زده شد و سپس محلول با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸). برای اندازه‌گیری مقادیر قابل استخراج با نیترات کلسیم، ۱۰ گرم خاک به همراه ۵۰ میلی لیتر نیترات کلسیم ۰/۱ نرمال به مدت ۲ ساعت به هم زده شد و سپس محلول با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد (منج و همکاران، ۱۹۹۴). برای اندازه‌گیری مقادیر قابل استخراج با آب مقطر عصاره با نسبت محلول: خاک ۱:۱/۵ تهیه شد به این ترتیب که ۲۰ گرم خاک به همراه ۳۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۲ ساعت به هم زده شد و سپس محلول با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد (آبرئو و همکاران،

۲۰۰۶). برای استخراج سرب با اسید نیتریک، ۲ گرم خاک به همراه ۱۵ میلی لیتر اسید ۴ نرمال به مدت ۱۲ ساعت در حمام آبی هضم شد و پس از صاف شدن با کاغذ صافی واتمن ۴۲، به حجم ۵۰ میلی لیتر رسید (چانگ و همکاران، ۱۹۸۴). به منظور تجزیه شیمیایی گیاه برای اندازه گیری عناصر کم مصرف از روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک استفاده شد. به این ترتیب که ۱ گرم نمونه خشک و پودر شده گیاه را درون بوته چینی ریخته شد و به مدت ۶ ساعت درون کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. پس از این که نمونه ها خنک شدند مقدار ۲۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۱ نرمال روی آن ریخته و نمونه ها را روی اجاق برقی قرار داده و حرارت داده تا جایی که اولین بخارات سفید خارج شد. سپس نمونه محلول به بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتر منتقل شد و به حجم رسید. محتویات بالن ها با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد. غلظت عناصر در نمونه های صاف شده اندازه گیری شد (والینگ و همکاران، ۱۹۸۹). مقادیر سرب با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Schimadzo AA-6۷۰ قرائت شده و به صورت میلی گرم در کیلوگرم خاک خشک گزارش شد. تجزیه آماری داده ها توسط نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین ها توسط آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم افزار SigmaPlot 11.0 رسم شد.

## نتایج

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم خاک و مقادیر اولیه اشکال مختلف سرب (قبل از کاشت گیاه) در جدول ۱ آورده شده است. محیط خاک شامل عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که می توانند بر رشد گیاه مؤثر باشند. با توجه به نتایج تجزیه خاک، شرایط عمومی خاک انتخاب شده برای کشت بیش تر گیاهان زراعی مناسب است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش.

Pb(HNO <sub>3</sub> )	Pb(DTPA)	Pb(Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	Pb(D.W)	O.M	EC <sub>1:5</sub> (دسی زیمنس بر متر)	pH <sub>1:5</sub>	بافت خاک
(میلی گرم بر کیلوگرم)				(درصد)			
۵۰۰	۱۷۲/۹	۰/۸۵	۰/۶۸	۱/۱۴۷	۰/۵۸	۸/۳	لوم رسی

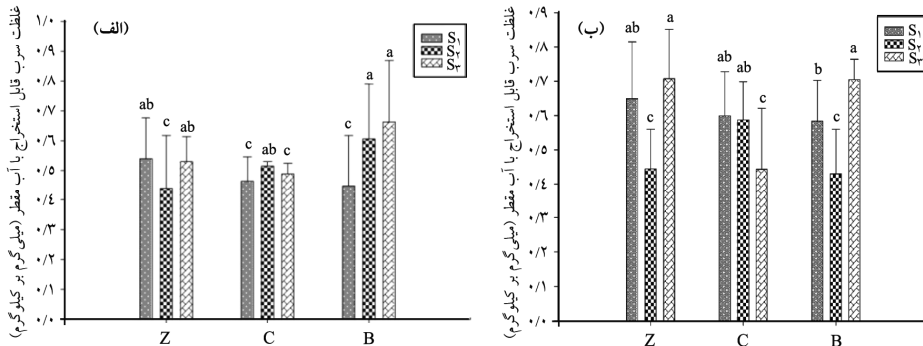
سرب قابل استخراج با آب مقطر: مقایسه غلظت سرب قابل استخراج با آب مقطر (میلی گرم بر کیلوگرم) (شکل ۲- الف) در مناطق مختلف جداسازی شده در محیط کشت گیاهان ذرت، کلزا و خاک شاهد، ۳ هفته پس از کشت نشان می‌دهد که این مقادیر در خاک تحت کشت ذرت به صورت  $S_1 < S_2 < S_3$ ، در مورد کلزا به صورت  $S_1 < S_2 < S_3$  بوده و در خاک شاهد از روند  $S_1 < S_2 < S_3$  پیروی می‌کند. در دو گیاه ذرت و کلزا بین ریزوسفر و منطقه میانی و نیز منطقه میانی و توده خاک تفاوت وجود دارد. با بررسی منطقه ریزوسفر و منطقه میانی مشاهده می‌شود که در این دو منطقه بین ذرت و کلزا و همچنین ذرت و خاک شاهد تفاوت وجود دارد. در توده خاک نیز بین ذرت و کلزا و همچنین کلزا و خاک شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد.

غلظت سرب قابل استخراج با آب مقطر در منطقه ریزوسفری دو گیاه از شاهد بیش‌تر است ولی این روند در دو منطقه دیگر دیده نمی‌شود.

همان‌طور که قبلاً گفته شد در جعبه شاهد گیاهی کشت نشد ولی خاک این جعبه نیز همانند جعبه‌های کشت شده مرتباً آبیاری شده و تحت تأثیر فرآیندهای بیولوژیکی ریزجانداران درون خاک قرار داشته است که این عامل می‌تواند دلیل وجود تفاوت‌های معنی‌دار در غلظت سرب قابل استخراج با این عصاره‌گیر در قسمت‌های مختلف جداسازی شده در این گلدان باشد.

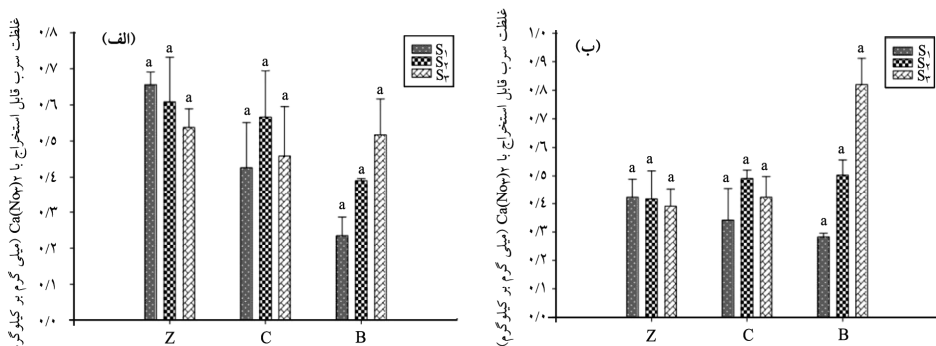
۶ هفته پس از کشت نیز در خاک تحت کشت ذرت، کلزا و خاک شاهد این مقادیر به ترتیب به صورت  $S_2 < S_1 < S_3$ ،  $S_2 < S_1 < S_3$  و  $S_2 < S_1 < S_3$  بود (شکل ۲- ب). در این زمان در خاک تحت کشت ذرت بین ریزوسفر و منطقه میانی و نیز منطقه میانی و توده خاک تفاوت وجود دارد. در منطقه میانی بین ذرت و کلزا و نیز کلزا و خاک شاهد تفاوت وجود دارد. در زمان ۶ هفته نیز همانند ۳ هفته غلظت سرب قابل استخراج با آب مقطر در منطقه ریزوسفری دو گیاه از شاهد بیش‌تر است.

سرب قابل استخراج با نیترات کلسیم: در مقایسه غلظت سرب قابل استخراج با نیترات کلسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (شکل ۳- الف و ب) در بخش‌های مختلف جداسازی شده (خاک ریزوسفر، منطقه میانی و توده خاک) در خاک تحت کشت ذرت و کلزا و همچنین خاک شاهد، در هر دو زمان ۳ و ۶ هفته پس از کشت تفاوت معنی‌داری یافت نشد.



مناطق مختلف خاک در محیط کشت ذرت، کلزا و خاک شاهد سه هفته پس از کشت

شکل ۲- مقایسه غلظت سرب قابل استخراج با آب مقطر (میلی گرم بر کیلوگرم) در مناطق مختلف جداسازی شده خاک (S<sub>۱</sub> و S<sub>۲</sub> و S<sub>۳</sub>) در محیط کشت گیاهان ذرت (Z)، کلزا (C) و خاک شاهد (B)، ۳ (الف) و ۶ (ب) هفته پس از کشت.



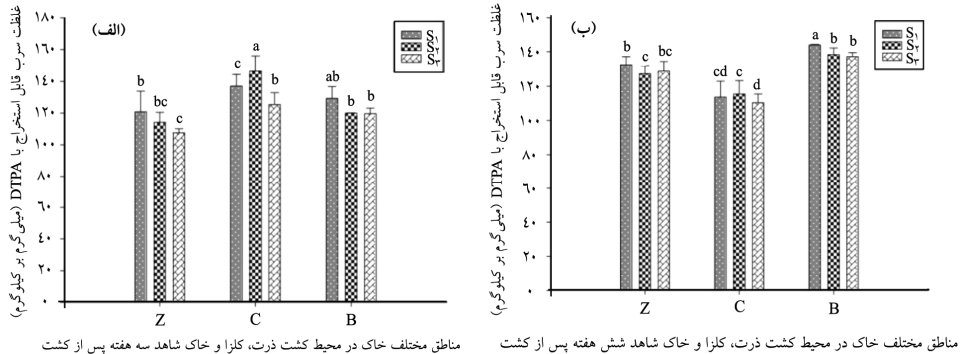
مناطق مختلف خاک در محیط کشت ذرت، کلزا و خاک شاهد سه هفته پس از کشت

شکل ۳- مقایسه غلظت سرب قابل استخراج با نترات کلسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) در مناطق مختلف جداسازی شده خاک (S<sub>۱</sub> و S<sub>۲</sub> و S<sub>۳</sub>) در محیط کشت گیاهان ذرت (Z)، کلزا (C) و خاک شاهد (B)، ۳ (الف) و ۶ (ب) هفته پس از کشت.

سرب قابل استخراج با DTPA: مقایسه غلظت سرب قابل استخراج با DTPA (میلی گرم بر کیلوگرم) (شکل ۴- الف) در مناطق مختلف جداسازی شده در محیط کشت گیاهان ذرت، کلزا و خاک شاهد، ۳ هفته پس از کشت نشان می‌دهد که این مقادیر در خاک تحت کشت گیاه ذرت به صورت S<sub>۱</sub> < S<sub>۲</sub> < S<sub>۳</sub>، در مورد گیاه کلزا به صورت S<sub>۳</sub> < S<sub>۱</sub> < S<sub>۲</sub> بوده و در خاک شاهد هم از روند S<sub>۳</sub> < S<sub>۲</sub> < S<sub>۱</sub> پیروی می‌کرد. مقادیر سرب اندازه‌گیری شده در خاک تحت کشت ذرت نشان می‌دهند



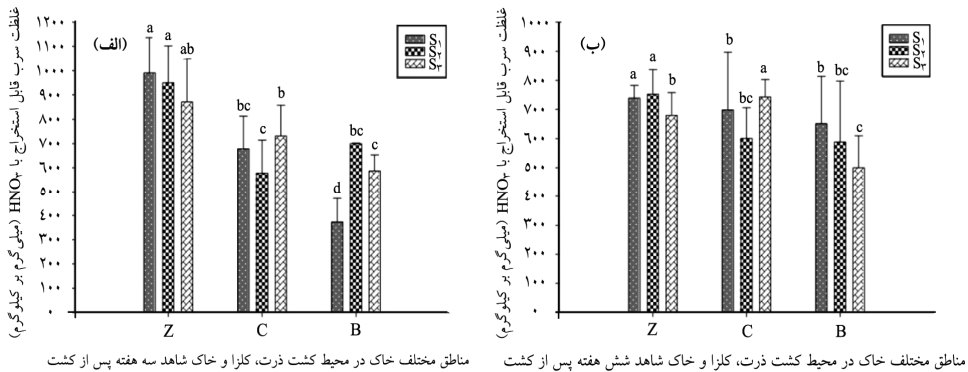
که بین منطقه ریزوسفر و توده خاک اختلاف معنی داری ( $P < 0/01$ ) وجود دارد. در مورد گیاه کلزا نیز بین ریزوسفر و دو منطقه دیگر تفاوت وجود دارد. چنانچه از شکل ۴- الف برمی آید در منطقه ریزوسفری و منطقه میانی ذرت و کلزا و نیز کلزا و خاک شاهد تفاوت وجود دارد و در توده خاک این تفاوتها بین ذرت و کلزا و نیز ذرت و خاک شاهد مشاهده می شود. در این زمان در هر ۳ منطقه خاک مقادیر سرب قابل جذب گیاه در ذرت کمتر از شاهد و در کلزا بیش تر از شاهد بوده است.



شکل ۴- مقایسه غلظت سرب قابل استخراج با DTPA (میلی گرم بر کیلوگرم) در مناطق مختلف جداسازی شده خاک (S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub> و S<sub>3</sub>) در محیط کشت گیاهان ذرت (Z)، کلزا (C) و خاک شاهد (B)، ۳ (الف) و ۶ (ب) هفته پس از کشت.

۶ هفته پس از کشت نیز روند تغییرات مقادیر سرب قابل استخراج با DTPA در محیط کشت ذرت، کلزا و خاک شاهد به ترتیب به صورت  $S_3 < S_2 < S_1$  و  $S_3 < S_2 < S_1$  بود (شکل ۴- ب). در این زمان در خاک تحت کشت ذرت بین ریزوسفر و منطقه میانی و در مورد کلزا بین منطقه میانی و توده خاک تفاوت معنی دار وجود دارد. با مطالعه منطقه ریزوسفر مشاهده می شود که ذرت و کلزا، ذرت و شاهد و نیز کلزا و شاهد با هم دارای اختلاف معنی دار هستند. در منطقه میانی هر دو گیاه با خاک شاهد دارای تفاوت هستند. در توده خاک ذرت و کلزا و همچنین کلزا و شاهد نیز مقادیر سرب اختلاف محسوسی داشته اند. همچنین در منطقه S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub> مقادیر سرب قابل جذب در ذرت و کلزا کم تر از شاهد بود. افزایش مقادیر بخش های پیوند شده با مواد آلی ممکن است به اثرات کمپلکس کنندگی مواد آلی بستگی داشته باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹).

سرب قابل استخراج با اسید نیتریک: مقایسه غلظت سرب قابل استخراج با اسید نیتریک (میلی گرم بر کیلوگرم) (شکل ۵- الف) در مناطق مختلف جداسازی شده در محیط کشت گیاهان ذرت، کلزا و خاک شاهد، ۳ هفته پس از کشت نشان می‌دهد که این مقادیر در خاک تحت کشت گیاه ذرت به صورت  $S_2 < S_1 < S_3$  و در خاک شاهد نیز از روند  $S_2 < S_3 < S_1$  پیروی می‌کند. چنانچه ملاحظه می‌شود در کلزا خاک منطقه میانی با توده خاک اختلاف داشتند. از مقایسه مناطق ریزوسفری ذرت، کلزا و شاهد دریافت می‌شود که ذرت و کلزا با یکدیگر و ذرت و کلزا هر دو با خاک شاهد دارای تفاوت معنی‌دار هستند. در منطقه میانی این اختلاف در مورد ذرت و کلزا و همچنین ذرت و خاک شاهد مشاهده شد. غلظت سرب قابل استخراج با اسید نیتریک در هر دو گیاه با خاک شاهد در توده خاک متفاوت هستند. در این زمان مقادیر سرب اندازه‌گیری شده در محیط کشت گیاه ذرت در منطقه ریزوسفر بیش از دو منطقه دیگر بوده است. در هر ۳ منطقه نیز خاک تحت کشت ذرت نسبت به خاک تحت کشت کلزا و خاک شاهد دارای بیشترین مقدار از این شکل سرب است.

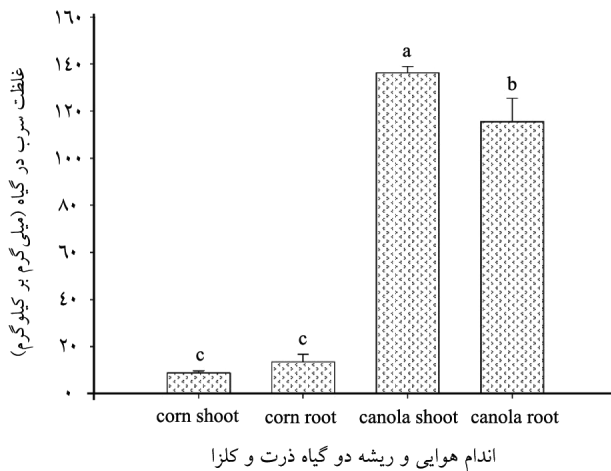


شکل ۵- مقایسه غلظت سرب قابل استخراج با اسید نیتریک (میلی گرم بر کیلوگرم) در مناطق مختلف جداسازی شده خاک (S<sub>۱</sub> و S<sub>۲</sub>) در محیط کشت گیاهان ذرت (Z)، کلزا (C) و خاک شاهد (B)، ۳ (الف) و ۶ (ب) هفته پس از کشت.

۶ هفته پس از کشت نیز روند تغییرات مقادیر سرب قابل استخراج با اسید نیتریک در محیط کشت ذرت، کلزا و خاک شاهد به ترتیب به صورت  $S_2 < S_1 < S_3$ ،  $S_3 < S_1 < S_2$  و  $S_2 < S_1 < S_3$  بوده است (شکل ۵- ب). در هر دو گیاه ذرت و کلزا خاک ریزوسفری و منطقه میانی با توده خاک دارای اختلاف معنی‌داری هستند. مقایسه مناطق ریزوسفری نشان می‌دهد که خاک ریزوسفری تحت کشت ذرت با

کلزا و خاک شاهد متفاوت است، در منطقه میانی نیز همین روند مشاهده می‌شود. در توده خاک ذرت با کلزا و خاک شاهد و نیز کلزا با خاک شاهد اختلاف معنی‌دار دارند. در این زمان در منطقه ریزوسفر و منطقه میانی مقادیر سرب در خاک تحت کشت ذرت بیش‌تر از شاهد و در مورد کلزا کم‌تر از شاهد بوده است. مقادیر حداکثر سرب در بخش غیرآلی و باقی‌مانده وجود دارد. فلزات موجود در بخش باقی‌مانده معمولاً در طول دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و تحت وضعیت طبیعی موجود در خاک رها نمی‌شوند (گوپتا و سینه‌ها، ۲۰۰۶).

**غلظت سرب در گیاه:** همان‌طورکه در شکل ۶ دیده می‌شود غلظت سرب در اندام هوایی کلزا از بیش‌ترین مقدار برخوردار است. بین ریشه و اندام هوایی در ذرت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و در مورد کلزا برعکس ذرت بیش‌ترین غلظت سرب در اندام هوایی وجود دارد و بین ریشه و اندام هوایی تفاوت معنی‌دار دیده می‌شود. در مقایسه دو گیاه نیز دیده می‌شود که بین غلظت سرب در اندام هوایی ذرت و کلزا تفاوت زیادی وجود دارد و این اختلاف در ریشه‌ها هم دیده می‌شود.

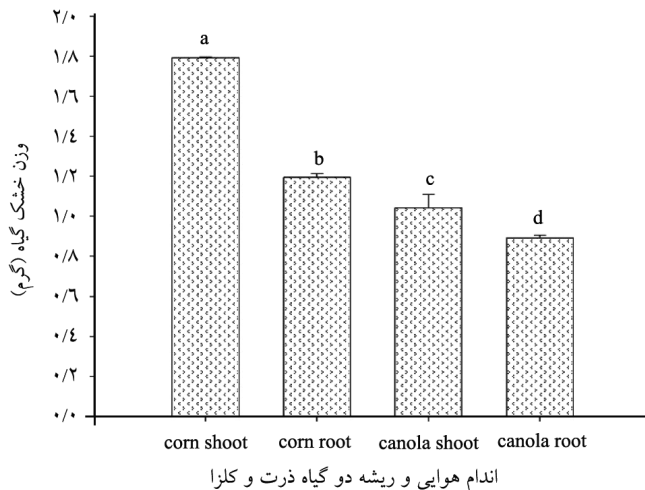


شکل ۶- مقایسه غلظت سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در اندام هوایی و ریشه دو گیاه ذرت و کلزا.

البته فلزات موجود در اندام هوایی شاخص خوبی برای زیست‌فراهمی فلزات نیستند و برای فهم این منظور بهتر است از رابطه بین فلزات در ریشه‌ها و ذخیره موجود در توده خاک استفاده شود (چایگنون و همکاران، ۲۰۰۲؛ فنگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ فانگ و همکاران، ۲۰۰۷).

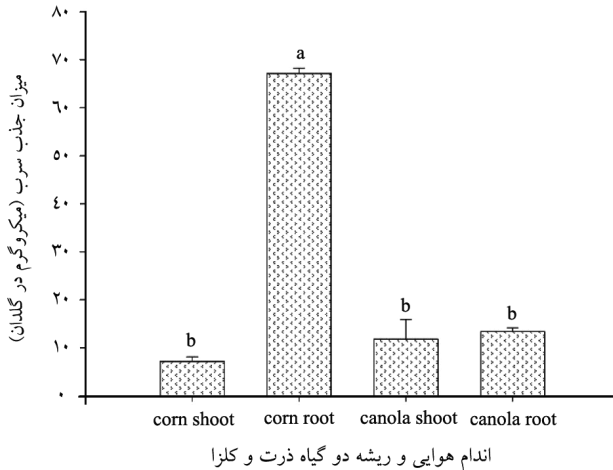
تجمع اندک عناصری مانند منگنز، روی، مس، کروم، سرب و نیکل در گیاهان ممکن است به دلایلی تمایل زیاد آنها به اجزای با پایداری زیاد در خاک باشد (بخش‌های اکسید آهن و منگنز، ماده آلی و باقی‌مانده) (گوپتا و سینها، ۲۰۰۶). مک‌گراث و همکاران (۱۹۹۷) غلظت هر دو عنصر سرب و مس را در اندام هوایی *Thlaspi caerulescens* کم‌تر از ریشه‌های آن گزارش کردند. تجمع سرب در ریشه‌ها یک رفتار عادی در گیاهان غیرسوپرجاذب است که جذب و انتقال فلزات بین ریشه و اندام هوایی را محدود می‌کند و مقدار فلزات در اندام هوایی را در سطوح پایین نگه می‌دارد. این مسأله با آنچه در شکل ۶ در مورد ریشه و اندام هوایی ذرت دیده می‌شود مطابقت دارد.

وزن خشک اندام هوایی و ریشه: بیش‌ترین مقدار وزن خشک در اندام هوایی ذرت و کم‌ترین مقدار آن در ریشه کلزا مشاهده شده است (شکل ۷). کوچک ماندن اندازه گیاهان ممکن است به دلیل رشد آنها تحت شرایط تنش و فراهم نبودن عناصر غذایی برای گیاهان باشد (گاریسا و همکاران، ۱۹۷۹).



شکل ۷- مقایسه وزن خشک اندام هوایی و ریشه دو گیاه ذرت و کلزا.

میزان جذب سرب در گیاه: همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است میزان جذب سرب در گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.01$ ) در ریشه بیش‌تر از اندام هوایی است. از مقایسه دو گیاه می‌توان نتیجه گرفت که ذرت و کلزا سرب را در ریشه‌های خود داشته کم‌تر به اندام هوایی انتقال می‌دهد و میزان این انباشت در ریشه‌های ذرت بیش‌تر از کلزا است.



شکل ۸- مقایسه میزان جذب سرب (میکروگرم در گلدان) در اندام هوایی و ریشه دو گیاه ذرت و کلزا.

قابلیت گیاهان برای جذب و تجمع عناصر سنگین یکسان نیست. گیاهان مختلف غلظت‌های متفاوتی از عناصر سنگین را در خود جمع می‌کنند. علاوه بر رفتار متفاوت عناصر مختلف در گیاهان گوناگون، حتی گیاهان یک گونه نیز در برابر عناصر سنگین رفتار متفاوتی نشان می‌دهند. با توجه به غلظت بالای سرب موجود در خاک انتظار می‌رود که غلظت آن در ریشه و اندام هوایی گیاهان بومی هم بالا باشد. فانگ و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که غلظت سرب در ریشه گیاهان تک‌لپه‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از اندام هوایی آنها است. در این آزمایش هم این مسأله در مورد ذرت صادق است. سرب به‌عنوان یکی از آلاینده‌های اصلی خاک، با وجود تحرک کم در خاک و به‌طور عمده به‌صورت فسفات‌های نامحلول، کربنات‌ها و هیدروکسیدها رسوب می‌کند، بنابراین افزایش حلالیت فلز در خاک عامل اساسی در ایجاد پتانسیل گیاه جذبی سرب در خاک است.

### بحث

اشکال محلول در آب سرب در زمان ۳ هفته پس از کشت در خاک تحت کشت ذرت بیش‌تر از شاهد بوده که نشان‌دهنده اثرات ریشه این گیاه بر این شکل از عنصر نسبت به خاک بدون ریشه است. ۳ هفته پس از کشت در کلزا این مقادیر در  $S_1$  کم‌تر از  $S_2$  بوده که نشان‌دهنده مصرف این شکل از

عنصر در ابتدای دوره رشد در کلزا است. اثرات ریزوسفری تأثیر معنی‌داری بر مقادیر سرب قابل استخراج با نیترات کلسیم (اشکال پیوند شده به صورت ضعیف) در خاک تحت کشت هر دو گیاه نداشته‌اند. مقادیر سرب قابل استخراج با DTPA در ریزوسفر ذرت و کلزا در زمان ۳ هفته پس از کشت بیش‌تر از توده خاک بود. در خاک تحت کشت کلزا بر خلاف ذرت در هر دو زمان مقادیر سرب قابل جذب در ریزوسفر بیش‌تر از منطقه میانی بوده و بیانگر الگوی متفاوت جذب سرب قابل دسترس بین دو گیاه است. سرب قابل استخراج با اسید نیتریک در ریزوسفر ذرت در هر دو زمان بیش‌تر از دو منطقه دیگر است و در خاک تحت کشت کلزا کم‌تر از توده خاک است که نشان‌دهنده مصرف اشکال آزاد شده از ساختار کانی‌های ثانویه توسط ترشحات ریشه‌ای کلزا بوده و در خاک تحت کشت هر دو گیاه این مقادیر بیش‌تر از خاک شاهد است. علاوه بر ترشحات مختلف ریشه‌ای میکرو ارگانسیم‌های خاک نیز با تأثیر بر تغییر عناصر پیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز و پیوند شده با مواد آلی به این تغییر شکل کمک می‌کنند. در ذرت غلظت سرب در ریشه بیش‌تر از اندام هوایی و در مورد کلزا بیش‌ترین مقدار سرب در اندام هوایی تجمع یافته است. براساس مقادیر جذب سرب، ذرت و کلزا سرب را در ریشه‌های خود نگه داشته کم‌تر به اندام هوایی انتقال می‌دهند و میزان این انباشت در ریشه‌های ذرت بیش‌تر از کلزا است. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان روش مناسبی در ارزیابی فراهمی عناصر فلزی و یا مطالعات آلودگی و تجمع فلزات سنگین در خاک‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

1. Abreu, C.A., Angela, A.M., Furlani, C., Furlani, P.R., Abreu, M.F., and Bataglia, O.C. 2006. Quest of Water Extract Analysis of Micronutrients in Soilless Organic Substrates. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37: 2327-2338.
2. Alloway, B.J. 2004. Zinc in soils and crop nutrition. International zinc association, Brussels, 130p. available at [www.zinc-crops.org](http://www.zinc-crops.org).
3. Ashworth, D.J., and Alloway, B.J. 2004. Soil mobility of sewage sludge-dried dissolved organic matter, copper, nickel and zinc. *Environmental Pollution*, 127: 137-144.
4. Barber, S.A. 1995. Soil nutrient Bioavailability. John Wiley and sons. Inc. New York, USA, 384p.
5. Chaignon, V., Lartiges, B.S., El Samrani, A., and Mustin, C. 2002. Evolution of size distribution and transfer of mineral particles between flocs in activated sludges: an insight into floc exchange dynamics. *Water Research*, 36: 676-684.

- 6.Chang, A.C., Warneke, J.E., Page, A.L., and Lund, L.J. 1984. Accumulation of heavy metals in sewage sludge-treated soils. Environ. Qual. J. 13: 87-91.
- 7.Darrah, P.R. 1993. The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach. Plant and Soil, 155-156: 1. 1-20.
- 8.Fang, J., Wen, B., Shan, X., Lin, J., and Owens, G. 2007. Is an adjusted rhizosphere-based method valid for field assessment of metal phytoavailability? Application to non-contaminated soils. Environmental Pollution, 150: 209-217.
- 9.Feng, M.H., Shan, X.Sh., Zhang, Sh., and Wen, B. 2005. A comparison of the rhizosphere based method with DTPA, EDTA, CaCl<sub>2</sub>, and NaNO<sub>3</sub> extraction methods for prediction of bioavailability of metals in soil to barley. Environmental Pollution, 137: 231-240.
- 10.Garcia, W.J., Blessin, Ch.W., Sanford, H.W., and Inglett, G.E. 1979. Translocation and accumulation of seven heavy metals in tissues of corn plants grown on sludge-treated strip-mined soil. J. Agric. Food Chem. 27: 1088-1094.
- 11.Gregory, P.J., and Hinsinger, P. 1999. New approaches to studying chemical and physical changes in the rhizosphere: an overview. Plant and Soil, 211: 1-9.
- 12.Gupta, A.K., and Sinha, S. 2006. Chemical fractionation and Heavy metal accumulation in the plant of *Sesamum indicum* (L.) var. T55 grown on soil amended with tannery sludge: Selection of single extractants. Chemosphere, 64: 161-173.
- 13.Hinsinger, P. 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. Advanced Agronomy, 64: 225-265.
- 14.Hogberg, M.N., Hogberg, P., and Myrold, D.D. 2007. Is microbial community composition in boreal forest soils determined by pH, C-to N ratio, the trees, or all three? Oecologia, 150: 590-601.
- 15.Jaillard, B., Plassard, C., and Hinsinger, P. 2002. Measurements of H<sup>+</sup> fluxes and concentrations in the rhizosphere. In: Rengel, Z. ed. Handbook of Soil Acidity. New York, USA: Marcel Dekker, Pp: 231-266.
- 16.Jones, D.L., Hodge, A., and Kuzyakov, Y. 2004. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. New Phytol. 163: 459-480.
- 17.Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 1984. Trace element in soils and plants. Book. Boca Raton, Florida, CRC Press, Inc. 315p.
- 18.Kuchenbuch, R., and Jungk, A. 1982. A method for determining concentration profiles at the soil-root interface by thin slicing rhizospheric soil. Plant Soil, 68: 391-394.
- 19.Lagashetty, A., Vijayanand, H., Basavaraja, S., MallikarJuna, N.N., and Venkataraman, A. 2010. Lead adsorption study on combustion derived  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> surface. B. Mater. Sci. 33: 1. 1-6.
- 20.Lindsay, W.L., and Norvel, W.A. 1978. Development of a DTPA soil tests for zinc, iron, manganese and copper. Am. J. Soil Sci. Soc. 42: 421-428.

21. Mc Grath, S.P., Shen, Z.G., and Zhao, F.J. 1997. Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of *Traspi caerulescens* and *Traspi ochroleucum* grown in contaminated soils. *Plant Soil*. 188: 153-159.
22. Mench, M., Vangronsveld, J., Didier, V., and Clijsters, H. 1994. Evaluation of metal mobility, plant availability and immobilization by chemical agents in a limed-silty soil. *Environ. Pollut.* 86: 279-286.
23. Moshiri, F. 2010. Chemical behavior of zinc in rhizosphere of two Zn-efficient and Zn-in efficient wheat cultivar. Ph.D. Thesis. Soil Science Department. University of Tehran. (In Persian)
24. Nguyen, C. 2003. Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. *Agronomie*. 23: 375-396.
25. Savonina, E.Y., Chernova, R.K., Kozlova, L.M., and Fedotov, P.S. 2005. Fractionation and determination of different lead species in contaminated soils. *J. Anal. Chem.* 60: 9. 874-879.
26. Tao, S., Chen, Y.J., Xu, F.L., Cao, J., and Li, B.G. 2003. Changes of copper speciation in maize rhizosphere soil. *Environ. Pollut.* 122: 447-454.
27. Violante, A., Cozzolino, V., Perelomov, L., Caporale, A.G., and Pigna, M. 2010. Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 10: 3. 268-292.
28. Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G., and Der lee, J.J. 1989. Soil and plant analysis. A series of sillabi. Part 7. Plant analysis procedures. Wageningen Agricultural University.
29. Wang, Z.h., Shan, X., and Zhang, Sh. 2002. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils. *Chemosphere*, 46: 1163-1171.
30. Wenzel, W.W., Kirchbaumer, N., Prohaska, T., Stinger, G., Lombi, E., and Adriano, D.C. 2001. Arsenic fractionation in soils using an improved sequential extraction procedure. *Anal. Chim. Acta.* 436: 309-323.
31. Yang, J., Hu, Sh., Chen, X., Yu, M., Liu, J., Li, H., Shen, Ch., Shi, J., and Chen, Y. 2010. Transformation of lead solid fraction in the rhizosphere of *Elsholtzia splendens*: The importance of organic matter. *Water Air Soil Pollut.* 205: 333-342.





## Assessment of lead extractable changes with different extractants in rhizosphere and bulk soil of corn (*Zea mays*) and canola (*Brassica napus*) and lead amounts in these two plants

\*M. Ziyaee<sup>1</sup> and H. Mir Seyed Hosseini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Tehran University,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Tehran University

Received: 02/01/2012; Accepted: 12/15/2012

### Abstract

Biological, physical and chemical characteristics of rhizosphere, especially chemical forms of elements are different in bulk soil. This experiment was conducted to compare different chemical forms of lead and their availability in rhizosphere and bulk soil, in two plants (corn and canola) at two times, (three and six weeks after planting) using planting boxes separated into three zones S<sub>1</sub> (rhizosphere), S<sub>2</sub> (rhizosphere affected area) and S<sub>3</sub> (bulk soil) in green house condition. For assessment of metal fraction changes and their bioavailability, various methods of extraction (distilled water, Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, DTPA and HNO<sub>3</sub>) were used. Results showed that water soluble forms of lead in cultivated corn and canola soil were greater than control three weeks after planting. Rhizosphere had no significant effect on Pb extractable with Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. DTPA extractable Pb in corn and canola rhizosphere, was greater than bulk soil three weeks after planting. Extractable Pb with HNO<sub>3</sub> in corn rhizosphere, was greater than other zones and for canola was less than bulk soil six weeks after planting. Amounts of Pb uptake in corn shoot were significantly higher than roots. Changes in lead forms in rhizosphere could be as a result of soil properties and plant species. Lead movement in the rhizosphere showed that increase in exchangeable fraction of metal was due to induced solubility of this element in the rhizosphere compared with bulk soil.

**Keywords:** Availability, Bulk soil, Extraction, Lead, Rhizosphere

---

\* Corresponding Authors; Email: [mahanziyaae@ut.ac.ir](mailto:mahanziyaae@ut.ac.ir)