

## بررسی شکل‌های مختلف شیمیایی سرب و روی در ریزوسفر برخی ارقام ذرت و کلزا

علیرضا گلستانی فرد<sup>۱\*</sup> - حسین میرسید حسینی<sup>۲</sup> - حسین بشارتی<sup>۳</sup> - غلامرضا ثواقبی<sup>۴</sup> - آمال آرین<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۱۶

### چکیده

در این تحقیق شکل‌های شیمیایی سرب و روی در خاک ریزوسفری و غیر ریزوسفری ارقام مختلف ذرت و کلزا با روش عصاره‌گیری دنباله‌ای<sup>۶</sup> و تک مرحله‌ای<sup>۷</sup> بررسی شد. همچنین برخی از عوامل موثر بر تغییر شکل‌های شیمیایی دو عنصر مانند pH، کربن آلی محلول (DOC)<sup>۸</sup>، جذب فلز توسط گیاه و ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک ریزوسفری و غیر ریزوسفری اندازه‌گیری گردید. خاک ریزوسفری با روش تکان ملایم گیاه و جدا کردن خاک اطراف ریشه‌ها تهیه شد. نتایج نشان داد جذب روی در ارقام هر دو گیاه بیشتر از سرب بود. همچنین غلظت روی و سرب در ریشه همه ارقام بالاتر از اندام هوایی بود. شاخص انتقال روی<sup>۹</sup> (نسبت غلظت عنصر در اندام هوایی به ریشه) در ارقام ذرت به طور معنی‌داری ( $p < 0.01$ ) بیشتر از ارقام کلزا بود در حالیکه در مورد سرب این نسبت در ارقام کلزا بالاتر بود. نسبت غلظت فلز در اندام هوایی به غلظت کل فلز در خاک (فاکتور تجمع) نیز روند مشابهی را مانند شاخص انتقال نشان داد. در مجموع توانایی ذرت در جذب و استخراج روی و سرب از خاک در مقایسه با کلزا بیشتر بود. پهاش خاک ریزوسفری در مقایسه با خاک غیر ریزوسفری تغییر معنی‌داری نداشت. میزان کربن آلی محلول ریشه در خاک ریزوسفری ارقام مختلف بیشتر از خاک غیر ریزوسفری و مقدار آن در ارقام کلزا به طور معنی‌داری بالاتر از ذرت بود. در بین ارقام هر گونه گیاهی با افزایش میزان ترشحات ریشه میزان جذب نیز افزایش یافت. نتایج عصاره‌گیری دنباله‌ای و تک مرحله‌ای نشان داد که روند کلی و تمایل سیستم به سمت افزایش فراهمی روی در ریزوسفر می‌باشد. مقدار سرب در ریزوسفر با هیچکدام از عصاره‌گیرهای تک مرحله‌ای تغییر معنی‌داری نسبت به خاک غیر ریزوسفری نشان نداد و با توجه به نتایج عصاره‌گیری دنباله‌ای تمایل سیستم در جهت کاهش فراهمی این عنصر در ریزوسفر ارقام مختلف دو گیاه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی محلول، شاخص انتقال، عصاره‌گیری دنباله‌ای، فاکتور تجمع، ریزوسفر

### مقدمه

با مواد آلی، اکسیدهای آهن، منگنز و رسوب با کربنات‌ها، هیدروکسیدها و فسفات‌ها وجود دارند (۲۸). فرم‌های محلول در آب و تبادل، متحرک و برای گیاهان قابل جذب می‌باشند. اشکال دیگر مثل رسوب یافته با کربنات‌ها و فسفات‌ها، کمپلکس شده با مواد آلی، اکسیدهای آهن، منگنز و رس‌های سیلیکاته می‌توانند بسته به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به صورت فعال یا غیرفعال باشند (۳۹).

جذب فلز توسط ریشه گیاهان به میزان فراهمی و در دسترس بودن آن در خاک بستگی دارد. زیست فراهمی فلز به عنوان بخشی از مقدار کل فلز در خاک که می‌تواند با یک هدف مشخص زیست شناختی برهم کنش داشته باشد، تعریف می‌شود (۲۱). وابستگی زیست فراهمی فلز به شکل شیمیایی آن به خوبی ثابت شده است (۴۸). شکل‌های شیمیایی مختلف فلزات خاک به طور قابل توجهی در واکنش‌گری شیمیایی و زیست فراهمی متفاوت هستند (۴۸ و ۴۹). از طرف دیگر پیچیدگی رابطه خاک-گیاه ممکن است تغییراتی را در خواص خاک ریزوسفری و متعاقباً شکل‌های شیمیایی فلز موجود در

فلزات سنگین در خاک، اشکال شیمیایی مختلفی دارند و به طور کلی در واکنش‌ها رفتار شیمیایی و فیزیکی متفاوتی نشان می‌دهند. علاوه بر آن تحرک، قابلیت جذب و مقدار سمیت آنها نیز متفاوت است. این فلزات در خاک به صورت محلول، تبادل، کمپلکس

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و استاد گروه مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(\* نویسنده مسئول: Email: a\_golestanifard@yahoo.com)

۳- استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب

۵- دانشجوی دکتری در دانشگاه بوکو اتریش

- 6- Fractionation
- 7- Sequential extraction
- 8- Single step extraction
- 9- Dissolved Organic Carbon
- 10- Translocation index
- 11- Accumulation factor

خاک‌های آلوده به فلزات سنگین با استفاده از گونه‌های گیاهی و ریزجانداران ظهور کرده‌اند. این تکنیک‌ها که مجموعاً به عنوان گیاه پالایی<sup>۲</sup> یا زیست پالایی<sup>۳</sup> شناخته می‌شوند، به طور معمول در مقایسه با روش‌های سنتی، اقتصادی‌تر و بدون اثرات تخریبی (با حفظ ساختمان و عملکردهای خاک) در نظر گرفته می‌شود. استفاده از گیاهان برای برداشت فلزات سمی از خاک‌ها<sup>۴</sup> و یا غیر متحرک کردن آنها<sup>۵</sup> در خاک به عنوان روش به صرفه و بی ضرر برای محیط زیست و اصلاح خاک‌های آلوده می‌باشد. با توجه به این که در تمام تکنیک‌های پالایش خاک‌های آلوده به فلز توسط گیاهان، زیست فراهمی فلز نقش اساسی دارد لذا بررسی زیست فراهمی که خود تابع شکل شیمیایی فلز در ریزوسفر است جهت ارزیابی کارایی این فرآیند و نیز بهبود و توسعه آن مهم خواهد بود (۵۱). زیست فراهمی فلزات سنگین برآیند بر هم کنش عوامل مرتبط با خصوصیات خاک، آلاینده‌ها و اثرات ریشه گیاهان است. لذا کارایی و نتیجه فرآیند گیاه پالایی کاملاً وابسته به نوع گیاه، خاک و آلاینده است (۵۱).

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر گونه و ارقام مختلف ذرت و کلزا بر تغییر شکل شیمیایی سرب و روی در خاک می‌باشد. برخی از عوامل موثر بر تغییر شکل‌های شیمیایی این دو عنصر مانند پهاش، ترکیبات آلی محلول (DOC)، جذب فلز توسط گیاه و ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک ریزوسفری و غیر ریزوسفری نیز بررسی می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### انتخاب نمونه خاک

یک خاک با آلودگی متوسط به روی (۱ و ۴۳) و آلودگی کم تا متوسط به سرب (۴۰ و ۴۳) از استان زنجان و نزدیک کارخانه روی سازان از عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه، هوا خشک و از الک ۲ میلی-متری عبور داده شد. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مانند: بافت (۳)، رطوبت ظرفیت مزرعه (۴۵)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۲)، ماده آلی (۴۶)، کربنات کلسیم معادل (۲۵)، عناصر میکرو قابل جذب (۲۴)، مقدار سرب قابل جذب (۲۴)، فسفر (۲۳) و پتاسیم قابل جذب (۱۴) اندازه‌گیری گردید. شکل‌های شیمیایی سرب و روی به روش عصاره-گیری دنباله‌ای (۴۴) (جدول ۱) و عصاره‌گیری تک مرحله‌ای (جدول ۲) مشخص گردید.

### آزمون گلخانه‌ای

به منظور انجام آزمون گلخانه‌ای تعداد سه رقم ذرت (ارقام ۳۰۱،

آن ایجاد کند (۴۱ و ۴۲).

ریزوسفر حجم خاک احاطه کننده ریشه‌های گیاه زنده است که در معرض مستقیم فعالیت‌های ریشه قرار دارد (۱۸). خصوصیات ریزوسفر به دلیل تغییراتی که فرآیندهایی همچون آزادسازی ترشحات ریشه‌ای، جذب و واجذب مواد شیمیایی، جذب آب و نیروهای فیزیکی که ریشه گیاهان در آن ایجاد می‌نمایند متفاوت از توده خاک است (۳۶). کنترل و اصلاح زیست فراهمی و تحرک فلز در ریزوسفر توسط گیاه به خوبی تأیید شده است (۵۱).

تغییر در شکل شیمیایی فلز و زیست فراهمی آن در ریزوسفر، نتیجه برآیند شیب‌های بیوژئوشیمیایی غلظت فلز، pH، pCO<sub>2</sub>، pO<sub>2</sub>، غلظت لیگاندهای آلی و زیست توده میکروبی می‌باشد (۱۷، ۱۹ و ۲۱). این اثر ریزوسفری با گونه‌های گیاهی مختلف (به دلیل تفاوت در طبیعت ترشحات آنها، استراتژی‌های جذب عناصر غذایی، ساختار سیستم ریشه‌ای) متفاوت است (۱۷). فلزات مرتبط با کربنات‌ها، اکسیدها و موادآلی با تغییر شرایط اسیدی، قلیائی و نیز اکسایش-کاهش می‌توانند آزاد شده و یا رسوب کنند (۱۷، ۴۲ و ۵۱). تغییرات مداوم در مقادیر مس قابل تبادل و محلول در طول دوره رشد ذرت در ریزوسفر، به وسیله تائو و همکاران (۴۱) نشان داده شد. تغییرات گونه‌های شیمیایی مس از شکل کمتر فراهم به گونه‌های شیمیایی بیشتر فراهم در ریزوسفر ذرت، با کاهش در پتانسیل ریداکس و افزایش در کربن آلی محلول مرتبط شد (۴۱ و ۴۲). پوشنرایتر و همکاران (۳۵) نشان دادند که مقدار روی لب‌ایل (قابل استخراج با نیترات آمونیم یک مولار) در ریزوسفر گیاه بیش اندوز از خانواده براسیکاسه به طور معنی داری کمتر از خاک غیر ریزوسفری بود و میزان این تخلیه در خاک ریزوسفری به مقدار قابل توجهی از مقدار کل جذب روی توسط گیاه کمتر بود که نشان می‌دهد گیاه مذکور به مقدار زیادی توانائی جذب روی را از منابع کمتر فراهم دارد. با استفاده از رایزوباکس محققین نشان دادند که مقدار مس محلول در ریزوسفر به طور معنی داری افزایش پیدا کرد در حالی که در تحقیق دیگر مقدار مس قابل استخراج توسط DTPA در ریزوسفر نسبت به خاک غیر ریزوسفری کاهش پیدا کرد (۴۱). مک گرات و همکاران (۲۹) نشان دادند که مقدار روی در ریزوسفر گیاه بیش اندوز از خانواده براسیکاسه نسبت به خاک غیر ریزوسفری کاهش معنی داری داشت ولی نتوانستند این کاهش را به افزایش pH و تغییرات کربن آلی محلول در ریزوسفر مرتبط کنند.

مقادیر کل فلز می‌تواند وسعت آلاینده‌گی را نشان دهد ولی معرف خوبی از میزان سمیت فلز برای گیاه نیست. بنابراین خیلی از مطالعات اخیر فراکشن‌های فلزات سنگین در خاک‌ها را بررسی می‌کنند (۴۷). در دو دهه اخیر تکنیک‌های ملایم (gentle) و اقتصادی پالایش

- 2- Phytoremediation
- 3- Bioremediation
- 4- phytoextraction
- 5- phytostabilisation



## Archive of SID

روش ۰/۲ گرم نمونه آسیاب شده گیاهی در داخل تیوب‌های شیشه‌ای بلند قرار داده شد و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۹٪ و ۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰٪ اضافه شد و یک تیوب شیشه‌ای دیگر تحت عنوان سرد کننده بر تیوب اول قرار داده شد. پس از یک شب ماندگاری تیوب‌ها روی یک گرم‌کننده در دمای بین ۶۵ تا ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳/۵ ساعت گرما داده شده، سرد شده، تکان (Vortex) داده شده، صاف شده و در نهایت با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافایت (Shimadzu AA-670) و (ICP-MS) Elan 9000 (DRCe, Perkin Elmer) غلظت سرب، روی و سایر عناصر پرمصرف و کم مصرف در آن اندازه‌گیری شد (۳۱). غلظت کل سرب و روی در خاک بدون کشت به روش هضم تر با اضافه کردن ۱/۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۹٪ و ۴/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲۷٪ به ۰/۵ گرم خاک نرم و یکنواخت شده اندازه‌گیری شد (۳۱). خاک‌های ریزوسفری و غیر ریزوسفری (بلافاصله بعد از جداسازی در حد رطوبت FC) به روش دنباله‌ای (۴۴) (جدول ۱) و تک مرحله‌ای با DTPA (۰/۰۰۵ مولار،  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  یک مولار و  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  ۵ میلی‌مولار به منظور اندازه‌گیری شکل‌های شیمیایی سرب و روی، عصاره‌گیری گردید (جدول ۲). همزمان درصد رطوبت وزنی خاک محاسبه گردید. همچنین پهاش، DOC (۴)، غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول (هر سه به نسبت ۱:۵ (v/w) با  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  ۵ میلی‌مولار) و ظرفیت تبادل کاتیونی با روش تک مرحله‌ای کلرید باریم در خاک ریزوسفری و غیر ریزوسفری اندازه‌گیری شد. کلیه تجزیه‌های شیمیایی با استفاده از مواد استاندارد و آب دو بار تقطیر<sup>۳</sup> انجام شد. نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی نیز با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2010 استفاده گردید.

## نتایج و بحث

جدول ۳ مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه را نشان می‌دهد. سهم شکل‌های مختلف شیمیایی روی و سرب در فاز جامد خاک مورد مطالعه در اشکال ۱ و ۲ نشان داده شده است. سهم روی و سرب تبدالی و محلول به ترتیب کمتر از ۱ و ۶ درصد کل مقدار روی و سرب در خاک می‌باشد.

## جذب و غلظت سرب و روی

میانگین غلظت و جذب سرب و روی در ریشه و اندام هوایی ارقام

۵۰۴ و ۷۰۴) و ۴ رقم کلزا (ارقام زرفام، اکاپی، hyola-401 و RGS003) از موسسه تحقیقات نهال و بذر ایران تهیه گردید. بذرها قبل از کشت ضد عفونی سطحی شدند. مقادیر ۰/۴ گرم در کیلوگرم فسفر و نیتروژن به صورت محلول  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  و  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  و همچنین ۰/۱۵ گرم در کیلوگرم آهن به صورت سکوسترین ۱۳۸ به خاک اضافه، به صورت یکنواخت درآورده و پس از خشک شدن خاک و عبور از الک ۲ میلی متری به مقدار ۱۸۰۰ گرم به گلدان‌های ۲ کیلوگرمی اضافه گردید. برای هر رقم تعداد ۴ گلدان در نظر گرفته شد و در هر گلدان تعداد ۶ بذر کشت و پس از ۱۰ روز به ۳ گیاه کاهش داده شد. همچنین تعدادی گلدان نیز بدون کشت در نظر گرفته شد. گلدان‌ها به مدت ۴۵ روز در گلخانه با دمای ۲۲-۱۸ و ۲۷-۲۳ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای ارقام کلزا و ذرت نگهداری شدند. مقدار نور گلخانه برای ارقام ذرت و کلزا به ترتیب ۱۴۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ لوکس و همچنین طول دوره روشنایی نیز به ترتیب ۱۶ و ۱۳ ساعت بود. رطوبت خاک در تمام دوران رشد در حد ظرفیت مزرعه بود. آزمایش به صورت طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد.

## تجزیه شیمیایی خاک و گیاه

پس از ۴۵ روز اندام هوایی برداشت، پس از شستشو با آب معمولی در حمام اولتراسونیک با آب مقطر شستشو و وزن تر و خشک (۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس) اندازه‌گیری شد. یک روش عمومی برای مطالعه ریزوسفر، خارج کردن گیاه به همراه ریشه‌های آن از خاک و تکان دادن ملایم ریشه با خاک اطراف آن است که بر این اساس، خاک چسبیده به ریشه به عنوان خاک ریزوسفر و خاک جدا شده به عنوان توده خاک<sup>۱</sup> در نظر گرفته می‌شود. این روش تفاوت‌هایی را در خصوصیات بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی این دو خاک نشان داده است (۵ و ۹). به منظور جداسازی خاک ریزوسفری ریشه‌ها از خاک خارج شد و بعد از چند تکان ملایم خاک چسبیده به اطراف ریشه به عنوان خاک ریزوسفری از ریشه جدا گردید و همچنین خاک باقیمانده در گلدان (دور از فعالیت ریشه) و خاک گلدان‌های کشت نشده به عنوان خاک غیر ریزوسفری (Bulk soil) در نظر گرفته شد. جهت خارج کردن ریشه‌های ریز، خاک ریزوسفری به آرامی الک شد. ریشه‌های ریزی که از الک عبور کرده بودند تا حد امکان توسط پنس جدا شدند. پس از جداسازی خاک کلیه ریشه‌ها (تا حد امکان) از درون گلدان جمع‌آوری، ابتدا با آب، سپس با  $\text{CaCl}_2$  ۰/۰۵ مولار در حمام التراسونیک و در نهایت با آب مقطر شستشو شده و وزن تر و خشک ریشه تعیین شد. غلظت عناصر سرب و روی در ریشه و اندام هوایی به روش هضم تر اندازه‌گیری شد. در این

2- Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

3- Deionized

1- Bulk Soil

روی و سرب بیشتر بود. همچنین غلظت این دو عنصر در ریشه هر دو گونه گیاه بیشتر از اندام هوایی بود که با نتایج سایر محققین همخوانی داشت (۱۱ و ۵۲). در این مطالعه غلظت سرب در مقایسه با روی در ریشه و اندام هوایی هر دو گونه گیاهی کمتر بود که با نتایج روییز و همکاران (۳۷) هماهنگ است.

مختلف کلزا و ذرت پس از ۴۵ روز کشت در جدول ۴ نشان داده شده است. رقم ذرت ۳۰۱ در بین ارقام ذرت و در بین ارقام کلزا رقم هیولا ۴۰۱ و RGS003 بیشترین جذب روی و سرب را در ریشه و اندام هوایی نشان می‌دهند. در مجموع مقدار جذب روی در دو گیاه بیشتر از سرب بود. روییز و همکاران (۳۷) نشان دادند که میزان جذب روی در مقایسه با سرب در ذرت و کلزا کشت شده در ۶ خاک آلوده به

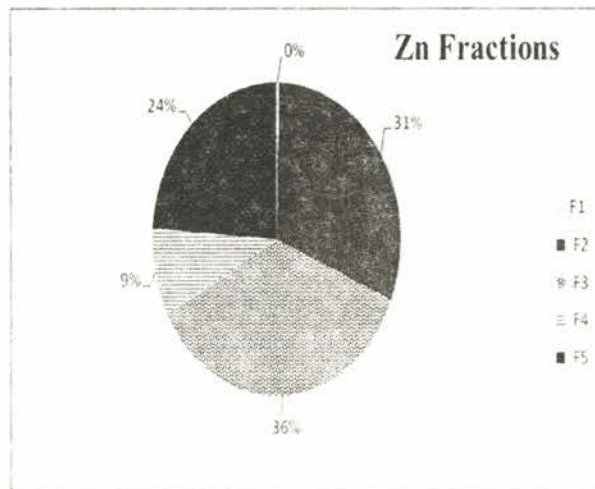
جدول ۱- عصاره‌گیری دنباله‌ای به روش Tessier و همکاران ۱۹۷۹

مرحله	جزء عصاره‌گیری شده	روش کار
F1	تبادلی و محلول	۸ میلی‌لیتر محلول کلرید منیزیم ۱ مولار با پ‌هاش ۷ در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت شیکر شد
F2	کربناتی	۸ میلی‌لیتر محلول استات سدیم ۱ مولار با پ‌هاش ۵ در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۵ ساعت شیکر شد
F3	بیوند شده با اکسیدهای آهن و منگنز	۲۰ میلی‌لیتر هیدروکسیل آمین هیدروکلراید ۰/۰۴ مولار تهیه شده در اسید استیک ۲۵ درصد (۷/۷) با پ‌هاش ۲ در دمای ۹۶ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت شیکر شد
F4	پیوسته با ماده آلی	الف- ۳ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۰/۰۲ مولار + ۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت شیکر شد ب- ۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت شیکر شد ج- ۵ میلی‌لیتر استات آمونیوم ۲/۲ مولار در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه شیکر شد.
F5	باقیمانده	۷/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۱۲ مولار + ۲/۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱۶ مولار در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۶ ساعت نگهداری، سپس به مدت ۲ ساعت تبخیر و تقطیر ملایم (gentle reflux) و در نهایت سرد و صاف شود (بدون سانتریفیوژ)

وزن نمونه خاک مرطوب ۱/۲ گرم کلبه سوسپانسیون‌ها پس از مرحله تکان دادن (Shaking) سانتریفیوژ و توسط سرنگ فیلتر شد (Wattman 0.45 μm)

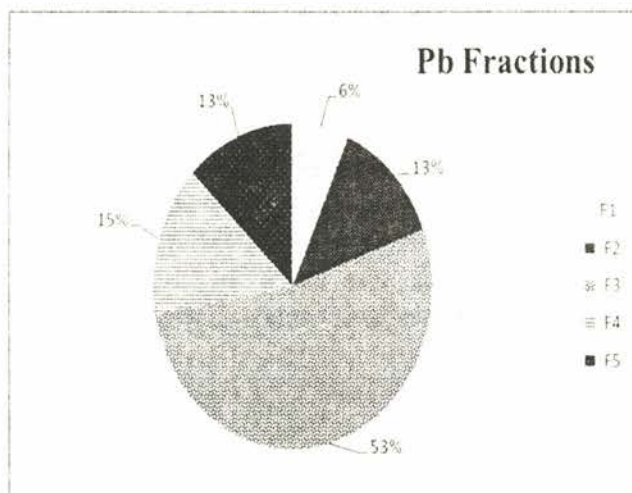
جدول ۲- عصاره‌گیری‌های تک مرحله‌ای به کار رفته در این مطالعه

عصاره‌گیر	نسبت خاک به محلول	عنصر استخراج شده	منبع
نیترات آمونیوم مولار	نسبت ۱: ۲/۵ (v/w)	سرب و روی	(۸)
نیترات کلسیم ۰/۰۰۵ مولار	نسبت ۱: ۵ (v/w)	سرب، روی، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم	(۳۱)
DTPA ۰/۰۰۵ مولار (پ‌هاش ۷/۳)	نسبت ۱: ۵ (v/w)	سرب و روی	(۳۳)
کلرید باریم ۰/۱ مولار	نسبت ۱: ۲۰ (v/w)	سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم	(۲)



شکل ۱- شکل‌های مختلف شیمیایی روی در فاز جامد خاک غیر ریزوسفری





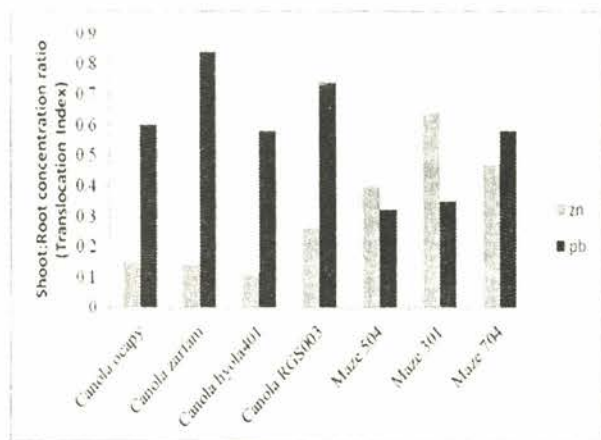
شکل ۲- شکل‌های مختلف شیمیایی سرب در فاز جامد غیر ریزوسفری

جدول ۳- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه

روى	سرب کل	سرب	منگنز	روى	مس	آهن	فسفر	پتاسيم	T.N.V	O.C	S.P	F.C	EC	pH	CEC	یافت
mg.Kg <sup>-1</sup>									%			dS.m <sup>-1</sup>	Cmol.Kg <sup>-1</sup>			
۱۷۴/۵	۳۲/۵	۷/۲	۶/۹	۲۸/۱	۷/۰	۲/۳	۸/۶	۳۳۳/۰	۱۳/۷	۰/۵	۲۲	۱۵/۵	۰/۷۲	۷/۷	۱۳	لوم

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، SP: درصد رطوبت اشباع، O.C: کربن آلی، T.N.V: آهک معادل، F.C: ظرفیت مزرعه و E.C: قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع مس، آهن، روی، منگنز و سرب با استفاده از روش DTPA عصاره‌گیری شد.

استخراج فلزات از خاک دارد (۲۲، ۷) و (۳۷).



شکل ۳- فاکتور انتقال سرب و روی در ارقام بررسی شده

### تغییرات pH خاک ریزوسفری در مقایسه با خاک غیر ریزوسفری

با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار غلظت سرب و روی و همچنین pH در خاک تهیه شده از فواصل دور از ریشه گیاه و نیز خاک گرفته شده از گلدان‌های بدون کشت (که تنها آبیاری شده و کود دریافت کرده بودند)، عملاً یک خاک به عنوان خاک غیر ریزوسفری انتخاب شد.

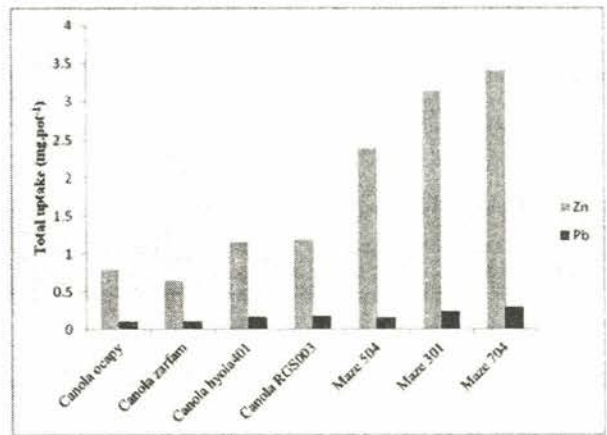
نسبت غلظت روی در اندام هوایی به ریشه (شاخص انتقال<sup>۱</sup>)، در ارقام ذرت به طور معنی‌داری ( $P < 1\%$ ) بالاتر از ارقام کلزا بود در حالیکه برای سرب این نسبت در گیاه کلزا به طور معنی‌دار بالاتر از گیاه ذرت بود (شکل ۳). فاکتور تجمع<sup>۲</sup> که بیانگر نسبت غلظت عنصر در اندام هوایی به غلظت کل عنصر در خاک می‌باشد، نیز روند مشابهی مانند شاخص انتقال نشان داد (شکل ۴). به طور کلی شاخص انتقال و فاکتور تجمع در گیاهان بیش اندوز<sup>۳</sup> بیشتر از ۱ می‌باشد (۲۹) و در گیاهان دفع‌کننده فلز<sup>۴</sup> این دو شاخص کوچکتر از ۱ می‌باشند (۳۵). هر چند که این دو شاخص از پارامترهای مهم در فرایند گیاه-پالایی می‌باشند، تولید زیست توده گیاهی نیز نقش کلیدی در انتخاب گیاه مناسب برای این فرایند دارد (۲۹). شاخص انتقال و فاکتور تجمع سرب در گیاه ذرت پایین‌تر از کلزا می‌باشد ولی به دلیل زیست توده بالاتر، در مجموع توانایی ذرت در جذب و استخراج روی و سرب از خاک در مقایسه با کلزا بالاتر بود (شکل ۳، ۴ و ۵). بررسی‌های گروهی از محققین نشان داده است که گیاه ذرت در مقایسه با دیگر گیاهان (از جمله کلزا، جو و آفتابگردان) به دلیل دارا بودن زیست توده بالاتر، تجمع و مقاومت بهتر نسبت به فلزات، توانایی بالاتری در

- 1- Translocation Index
- 2- Accumulation Factor
- 3- Hyperaccumulator plant
- 4- metal excluder

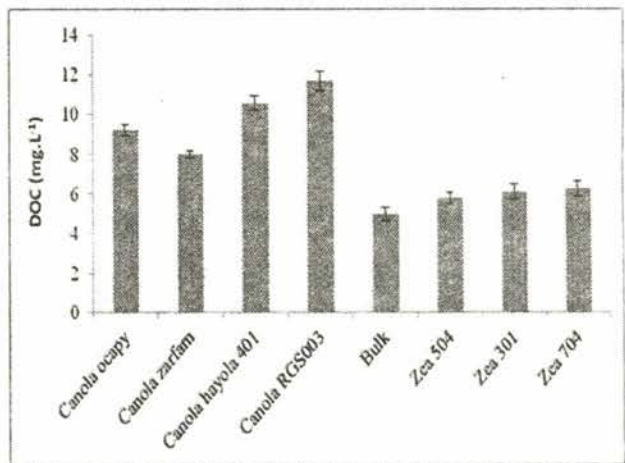




در این تحقیق غلظت سدیم محلول در ریزوسفر ارقام کلزا نسبت به خاک غیرریزوسفیری افزایش معنی‌داری پیدا کرد ولی ارقام مختلف ذرت نتوانستند تغییری در میزان سدیم محلول خاک ریزوسفیری ایجاد کنند. مقدار پتاسیم و فسفر محلول خاک ریزوسفیری، ارقام مختلف کلزا و ذرت نسبت به خاک غیرریزوسفیری کاهش معنی‌داری پیدا کرد. غلظت کلسیم محلول خاک ریزوسفر و غیر ریزوسفیری در ارقام مختلف در دو گیاه یکسان بود. هرچند که طبق منابع موجود می‌بایستی غلظت کلسیم در ریزوسفر نسبت به خاک غیرریزوسفیری افزایش پیدا کند (۱۶). به طور کلی مقدار فسفر و پتاسیم به دلیل غالب بودن فرایند پخشیدگی در ریزوسفر تخلیه در حالیکه کلسیم به دلیل غالب بودن جریان توده‌ای تجمع می‌یابد (۱۸ و ۲۶). احتمالاً به دلیل آهکی بودن خاک و تعادل بین کلسیم فاز جامد و کلسیم محلول، افزایش غلظت کلسیم محلول در ریزوسفر بلافاصله منجر به تشکیل رسوب کربنات کلسیم می‌شود (۱۶). همچنین محققین تشکیل کریستال‌های گچ و آهک را در ریزوسفر گیاهان گزارش کرده‌اند (۱۷).



شکل ۵- مقدار کل جذب روی و سرب در ارقام بررسی شده



شکل ۶- تغییرات مواد آلی محلول در ریزوسفر ارقام بررسی شده مقایسه با خاک غیر ریزوسفیری

جدول ۴- متوسط غلظت و جذب روی و سرب در اندام هوایی و ریشه ارقام مختلف کلزا و ذرت

ارقام	غلظت روی		وزن خشک		جذب روی		جذب سرب	
	میلی‌گرم در کیلوگرم		گرم		میلی‌گرم در گلدان		میلی‌گرم در گلدان	
اندام هوایی	کلزا رقم اکایی	۳۲/۱۷ ± ۱/۰۸ c	۹/۹۵ ± ۰/۳۷ b	۵/۷۰ ± ۰/۴۹ b	۰/۰۶۵ ± ۰/۰۰۲ b	۰/۱۸ ± ۰/۰۲ c	۰/۰۶۵ ± ۰/۰۰۲ b	
	کلزا رقم زرفام	۳۶/۱۰ ± ۱/۳۶ bc	۱۲/۷۲ ± ۰/۳۱ a	۵/۰۷ ± ۰/۲۲ b	۰/۰۲۷ ± ۰/۰۰۲ b	۰/۱۸ ± ۰/۰۱ c	۰/۰۲۷ ± ۰/۰۰۲ b	
	کلزا رقم هیولا ۴۰۱	۳۸/۸۰ ± ۰/۹۲ b	۱۲/۳۲ ± ۰/۵۰ a	۷/۷۴ ± ۰/۴۴ a	۰/۱۰۱ ± ۰/۰۰۵ a	۰/۳۸ ± ۰/۰۱ a	۰/۱۰۱ ± ۰/۰۰۵ a	
	کلزا رقم RGS003	۴۹/۹۷ ± ۱/۷۷ a	۱۲/۴۵ ± ۰/۶۷ a	۷/۶۸ ± ۰/۲۸ a	۰/۱۰۳ ± ۰/۰۰۹ a	۰/۳۰ ± ۰/۰۲ b	۰/۱۰۳ ± ۰/۰۰۹ a	
ریشه	ذرت رقم ۵۰۴	۱۰۴/۳۲ ± ۱/۰۳ b	۵/۸۲ ± ۰/۱۲ b	۱۲/۱۶ ± ۰/۴۴ a	۰/۰۷۰ ± ۰/۰۰۴ b	۱/۲۷ ± ۰/۰۴ b	۰/۰۷۰ ± ۰/۰۰۴ b	
	ذرت رقم ۳۰۱	۱۳۳/۲۵ ± ۱/۴۰ a	۸/۱۲ ± ۰/۴۲ a	۱۳/۴۵ ± ۰/۵۱ a	۰/۱۱۲ ± ۰/۰۰۷ a	۱/۷۹ ± ۰/۰۶ a	۰/۱۱۲ ± ۰/۰۰۷ a	
	ذرت رقم ۷۰۴	۱۰۰/۸۲ ± ۱/۳۱ b	۸/۴۵ ± ۰/۲۶ a	۱۳/۰۳ ± ۰/۷۷ a	۰/۱۱۳ ± ۰/۰۰۴ a	۱/۳۲ ± ۰/۰۹ b	۰/۱۱۳ ± ۰/۰۰۴ a	
	کلزا رقم اکایی	۲۱۴/۰ ± ۰/۹ c	۱۶/۵۵ ± ۰/۳۰ b	۲/۸۲ ± ۰/۰۹ b	۰/۰۵۰ ± ۰/۰۰۱ c	۰/۶۰ ± ۰/۰۲ b	۰/۰۵۰ ± ۰/۰۰۱ c	
ریشه	کلزا رقم زرفام	۲۵۷/۵ ± ۲۰/۲ b	۱۶/۴۵ ± ۰/۴۵ b	۱/۷۸ ± ۰/۰۷ d	۰/۰۳۰ ± ۰/۰۰۱ d	۰/۴۶ ± ۰/۰۴ c	۰/۰۳۰ ± ۰/۰۰۱ d	
	کلزا رقم هیولا ۴۰۱	۳۴۲/۰ ± ۱۴/۷ a	۲۳/۱۸ ± ۰/۴۳ a	۲/۴۹ ± ۰/۱۰ c	۰/۰۶۱ ± ۰/۰۰۲ b	۰/۸۵ ± ۰/۰۳ a	۰/۰۶۱ ± ۰/۰۰۲ b	
	کلزا رقم RGS003	۱۹۴/۲ ± ۱/۸ c	۱۷/۴۸ ± ۱/۱۱ b	۴/۱۰ ± ۰/۰۴ a	۰/۰۷۲ ± ۰/۰۰۴ a	۰/۸۰ ± ۰/۰۱ a	۰/۰۷۲ ± ۰/۰۰۴ a	
	ذرت رقم ۵۰۴	۲۶۱/۲ ± ۱۸/۷ a	۱۸/۱۷ ± ۰/۷۲ b	۴/۲۴ ± ۰/۱۹ c	۰/۰۸۳ ± ۰/۰۰۵ c	۱/۱۱ ± ۰/۰۸ b	۰/۰۸۳ ± ۰/۰۰۵ c	
ذرت رقم ۳۰۱	۲۰۹/۸ ± ۴/۲ b	۲۳/۲۰ ± ۱/۲۸ a	۷/۷۰ ± ۰/۱۴ b	۰/۱۸۱ ± ۰/۰۱۱ a	۱/۶۲ ± ۰/۰۱ a	۰/۱۸۱ ± ۰/۰۱۱ a		
ذرت رقم ۷۰۴	۲۱۴/۸ ± ۷/۳ b	۱۶/۶۷ ± ۰/۶۰ c	۸/۴۴ ± ۰/۳۲ a	۰/۱۲۴ ± ۰/۰۰۸ b	۱/۸۱ ± ۰/۰۸ a	۰/۱۲۴ ± ۰/۰۰۸ b		

برای هر گونه گیاهی، در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند (آزمون LSD).

جدول ۵- مقایسه شکل‌های شیمیایی مختلف سرب و روی در ریزوسفر ارقام مختلف با خاک غیر ریزوسفری (T-test)

۴F	۳F	۲F	۱F	ارقام
mg.Kg-1				
۱۴/۸ ± ۰/۶	۵۳/۶° ± ۲/۱	۵۰/۹ ± ۲/۶	۰/۸۹** ± ۰/۰۳	کلزا رقم اکایی
۱۵/۵ ± ۰/۷	۵۵/۶° ± ۲/۰	۵۱/۱ ± ۲/۲	۰/۹۷** ± ۰/۰۵	کلزا رقم زرفام
۱۶/۴ ± ۱/۵	۵۱/۹° ± ۱/۳	۴۸/۵ ± ۱/۶	۰/۷۹** ± ۰/۰۳	کلزا رقم هیولا ۴۰۱
۱۴/۹ ± ۰/۴	۵۶/۳° ± ۱/۱	۵۰/۳ ± ۲/۹	۰/۹۴** ± ۰/۰۵	کلزا رقم RGS003
۱۴/۳ ± ۰/۸	۵۸/۸ ± ۲/۳	۴۹/۵ ± ۲/۲	۰/۷۵** ± ۰/۰۳	ذرت رقم ۵۰۴
۱۴/۵ ± ۰/۸	۶۰/۵ ± ۲/۷	۵۰/۵ ± ۲/۹	۰/۷۳* ± ۰/۰۴	ذرت رقم ۳۰۱
۱۴/۶ ± ۰/۳	۵۶/۰ ± ۱/۵	۴۴/۶ ± ۱/۲	۰/۸۷** ± ۰/۰۱	ذرت رقم ۷۰۴
۱۵/۸ ± ۰/۵	۶۳/۴ ± ۲/۷	۵۲/۲ ± ۳/۸	۰/۵۸ ± ۰/۰۴	خاک غیر ریزوسفری
۵/۹۱° ± ۰/۳۹	۱۳/۰° ± ۰/۴	۳/۳۸ ± ۰/۲۶	۲/۰۰ ± ۰/۰۶	کلزا رقم اکایی
۶/۴۸** ± ۰/۳۴	۱۳/۱° ± ۰/۴	۳/۴۲ ± ۰/۱۱	۱/۹۹ ± ۰/۱۵	کلزا رقم زرفام
۷/۳۹** ± ۰/۴۵	۱۳/۸° ± ۰/۲	۳/۱۵ ± ۰/۳۲	۱/۸۰ ± ۰/۰۹	کلزا رقم هیولا ۴۰۱
۶/۸۴** ± ۰/۱۹	۱۳/۰° ± ۰/۳	۴/۶۸ ± ۰/۰۸	۱/۸۳ ± ۰/۰۴	کلزا رقم RGS003
۴/۷۹ ± ۰/۲۰	۱۳/۷ ± ۰/۴	۳/۶۳ ± ۰/۳۲	۱/۷۹ ± ۰/۱۴	ذرت رقم ۵۰۴
۴/۹۹ ± ۰/۱۰	۱۴/۵ ± ۰/۴	۴/۰۸ ± ۰/۲۵	۲/۰۰ ± ۰/۰۸	ذرت رقم ۳۰۱
۴/۸۲ ± ۰/۱۸	۱۳/۶ ± ۰/۳	۳/۸۱ ± ۰/۲۵	۱/۸۷ ± ۰/۰۹	ذرت رقم ۷۰۴
۴/۳۵ ± ۰/۲۶	۱۴/۸ ± ۰/۵	۳/۷۵ ± ۰/۱۶	۲/۰۳ ± ۰/۰۸	خاک غیر ریزوسفری

\*\* معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد، \* معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد

روی (مقدار خروج روی از هر کیلوگرم خاک) توسط این گیاهان نیز به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار روی تبادلی و محلول در خاک غیرریزوسفری است که نشان دهنده توانایی این گیاهان در افزایش فراهمی روی و متعاقباً جذب این عنصر می‌باشد. مطابق با جدول ۵ کاهش در میزان روی مرتبط با اکسیدهای آهن و تا حدی مرتبط با کربنات‌ها نشان دهنده نقش فرآیندهای ریزوسفری از جمله جذب فلز و ترشحات ریشه ای در افزایش شرایط کاهشی و افزایش اکتیویته پروتون (بدون کاهش معنی دار pH) می‌باشد (۱۷ و ۵۱). روند کلی تغییر شکل شیمیایی بیانگر تمایل سیستم به افزایش فراهمی روی در ریزوسفر می‌باشد یعنی کاهش از بخش مربوط به اکسیدهای آهن و منگنز و کربناتی با پتانسیل فراهمی کم تا متوسط و اضافه شدن به بخش تبادلی و محلول با پتانسیل فراهمی زیاد.

مقدار سرب در فاز تبادلی و محلول خاک ریزوسفری ارقام مختلف تغییر معنی‌داری نسبت به خاک غیر ریزوسفری نداشت هر چند در بعضی ارقام کاهش را نشان می‌دهد. سرب پیوسته با اکسیدهای آهن و منگنز در خاک ریزوسفری کلیه ارقام کاهش یافت و مقدار این عنصر در بخش مرتبط با مواد آلی و سولفیدها نسبت به خاک غیر ریزوسفری افزایش داشت که نشان دهنده نقش فرآیندهای ریزوسفری در کاهش فراهمی سرب دارد. با توجه به اینکه میزان جذب سرب از خاک توسط ارقام مختلف بسیار کمتر از مقدار سرب تبادلی و محلول خاک غیر ریزوسفری می‌باشد، تمایل سیستم خاک -

تغییر شکل‌های شیمیایی روی و سرب در ریزوسفر در روش عصاره‌گیری دنباله‌ای عصاره‌گیرهای شیمیایی مختلف به طور متوالی به خاک اضافه می‌شوند که با پیشرفت مراحل عصاره‌گیری، عصاره‌گیرها قوی‌تر می‌شوند. لذا فراهمی عناصر با پیشرفت مرحله عصاره‌گیری کاهش می‌یابد. بخش تبادلی و محلول بیشترین فراهمی و بخش باقیمانده کمترین فراهمی را دارد. اگر چه توزیع سرب و روی بین شکل‌های شیمیایی مختلف که با طراحی عصاره‌گیری دنباله‌ای تعیین می‌شود به لحاظ شیمیایی کاملاً مشخص و مجزا شده نیست به طوریکه عصاره‌گیرها کاملاً اختصاصی نیستند و همچنین توزیع مجدد عنصر بین بخش‌های مختلف خاک امکان پذیر است ولی به هر حال نتایج حاصل از عصاره‌گیری دنباله‌ای یک معیاری از پتانسیل نسبی زیست فراهمی و تحرک عنصر را به دست می‌دهد (۴۱).

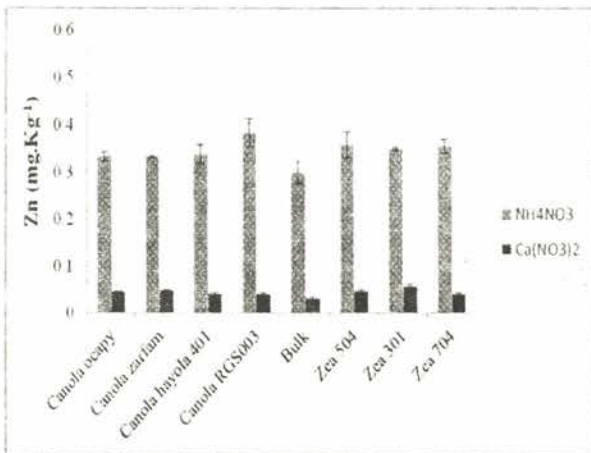
در این تحقیق مقدار سرب و روی باقیمانده مستقیماً به روش هضم تر اندازه‌گیری شد و نه از طریق تقاضل. مقدار بازیافت فلز (نسبت مجموع بخش‌های مختلف عنصر بر مقدار کل عنصر × ۱۰۰) برای روی ۹۶-۹۰ درصد و برای سرب ۹۴-۸۶ درصد بود.

همانطوریکه از جدول ۵ مشخص است میزان روی تبادلی و محلول به طور معنی‌داری در ریزوسفر ارقام مختلف در مقایسه با خاک غیر ریزوسفر افزایش پیدا کرده است که نشان دهنده نقش فرآیندهای ریزوسفری در افزایش فراهمی روی می‌باشد. میزان جذب



## Archive of SID

نیترا ت کلسیم به دلیل قدرت یونی پایین تر (مشابه محلول خاک) عمدتاً بخش محلول عنصر را استخراج می کند (۱۳). مقادیر استخراج شده توسط DTPA بسیار بالاتر از دو عصاره گیر قبلی می باشد. DTPA یک عامل کلات کننده ی قوی می باشد که می تواند فلزات را از فازهای مختلف ژئوشیمیایی شامل بخش های فلزی لبایل و غیر لبایل استخراج کند در صورتیکه دو عصاره گیر قبل تنها بخش لبایل را استخراج می کنند (۶). مفید بودن هر عصاره گیر خاک برای پیش بینی زیست فراهمی فلزات سنگین به توانایی آن عصاره گیر برای تخمین میزان فلز جذب شده و تجمع یافته در گیاهان بستگی دارد (۶). همبستگی بین غلظت و جذب سرب و روی در اندام هوایی، ریشه و مجموع این دو (کل گیاه) با میزان سرب و روی استخراج شده توسط عصاره گیرهای مختلف محاسبه گردید (داده ها ارائه نشده). مقدار روی استخراج شده با DTPA و همچنین مقدار سرب استخراج شده با نیترا ت کلسیم همبستگی بالایی را به ترتیب با روی ( $r=0/81^*$ ) و سرب ( $r=0/92^{**}$ ) جذب شده توسط مجموع اندام هوایی و ریشه نشان داد. در بقیه موارد همبستگی ها معنی دار نبوده و بیان گر اینست که در شرایط این آزمایش، رابطه مشخصی بین مقدار فلز عصاره گیری شده با جذب و غلظت آن در گیاه وجود نداشت. این روش های عصاره گیری شیمیایی اغلب پیش بینی کننده های مناسبی برای تخمین غلظت فلز در گیاه نیستند (۱۰). این روش ها براساس تعادل بوده و میزان تخلیه از حد فاصل خاک- ریشه (ریزوسفر) و همچنین میزان عرضه مجدد از سطح ذرات جامد بر اثر تحریک ناشی از این تخلیه را لحاظ نمی کند (۳۱).



شکل ۷- مقدار روی قابل استخراج توسط نیترا ت آمونیم و نیترا ت کلسیم

ریشه در جهت کاهش فراهمی سرب است. ترشحات ریشه ای می تواند منجر به افزایش مقدار سرب مرتبط با مواد آلی شده باشد. ممکن است توانایی خاک در بافر کردن سرب باعث ثابت ماندن مقدار سرب تبدیلی و محلول شده باشد. محققین گزارش کرده اند که مواد آلی محلول در یک پهاش مشخص سرب را بیشتر از روی کمپلکس می کنند (۵۰). در مجموع نتایج نشان دهنده کاهش فراهمی سرب در ریزوسفر می باشد (جدول ۵). کاهش درصد هر دو فلز در بخش مرتبط با اکسیدهای آهن و منگنز احتمالاً ناشی از افزایش شرایط کاهش ریزوسفر به دلیل افزایش ترشحات ریشه ای می باشد. فلزات و یا شبه فلزات حتی اگر حلالیتشان مستقیماً متأثر از تغییرات پتانسیل اکسایش-کاهش نگردد، می تواند در معرض حل شدن همزمان قرار گیرند مثلاً Zn همراه با اکسیدهای آهن و منگنز در اثر ایجاد شرایط کاهش و حل شدن آهن و منگنز، آزاد می شود (۲۷). تانو و همکاران (۴۲) نشان دادند که افزایش ترشحات ریشه ای در ریزوسفر ذرت با کاهش پتانسیل اکسایش-کاهش همراه بود. با در نظر گرفتن نقش ترشحات ریشه ای در کاهش pH ریزوسفر (۲۱)، عدم تغییر معنی دار بخش کربناتی سرب و روی را می توان به نقش قدرت بافری خاک مربوط دانست. عدم تغییرات معنی دار pH در ریزوسفر نسبت به توده خاک را می توان به طیف وسیعی از واکنش هایی که منجر به مصرف پروتون می شوند مانند انحلال آهک و تبادل کاتیونی نسبت داد (۱۵).

## زیست فراهمی سرب و روی

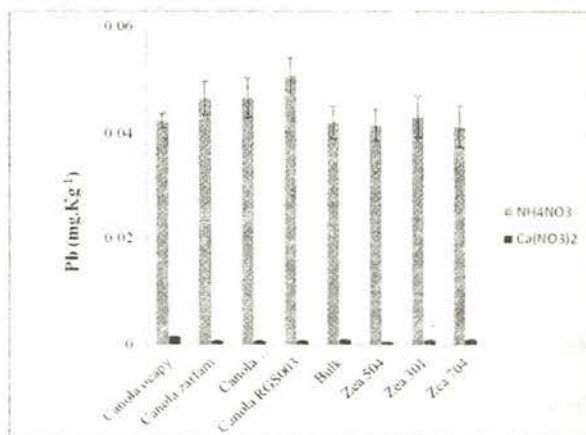
پتانسیل زیست فراهمی فلز در خاک به طور سنتی به وسیله عصاره گیرهای شیمیایی مثل نیترا ت آمونیم یک مولار، نیترا ت کلسیم ۵ میلی مولار، EDTA ۰/۰۵ مولار، DTPA ۰/۰۰۵ مولار و یا آب ارزیابی می شود (۳۱). شکل های (۷ تا ۹) تغییرات سرب و روی قابل استخراج با نیترا ت آمونیم یک مولار، نیترا ت کلسیم ۵ میلی مولار و DTPA ۵ میلی مولار را در ریزوسفر ارقام مختلف دو گیاه کلزا و ذرت در مقایسه با خاک غیر ریزوسفری نشان می دهد. مقدار روی قابل استخراج با هر سه عصاره گیر در خاک ریزوسفری ارقام مختلف کلزا و ذرت در مقایسه با خاک غیر ریزوسفری افزایش معنی داری نشان داد. سرب قابل استخراج با هر سه عصاره گیر در خاک ریزوسفری کلیه ارقام در مقایسه با خاک غیر ریزوسفری تغییرات معنی داری نداشت. نتایج حاصل از عصاره گیرهای تک مرحله ای بیانگر افزایش فراهمی روی در ریزوسفر ارقام مختلف می باشد در حالیکه این ارقام تأثیری در تغییر فراهمی سرب نداشتند. مقدار روی و سرب قابل استخراج با نیترا ت کلسیم بسیار کمتر از نیترا ت آمونیم است. علت این تفاوت قدرت یونی بالای محلول نیترا ت آمونیم در مقایسه با نیترا ت کلسیم می باشد. نیترا ت آمونیم یک مولار مناسب استخراج و عصاره گیری فلزات تبدیلی و محلول می باشد در صورتیکه

### نتیجه گیری

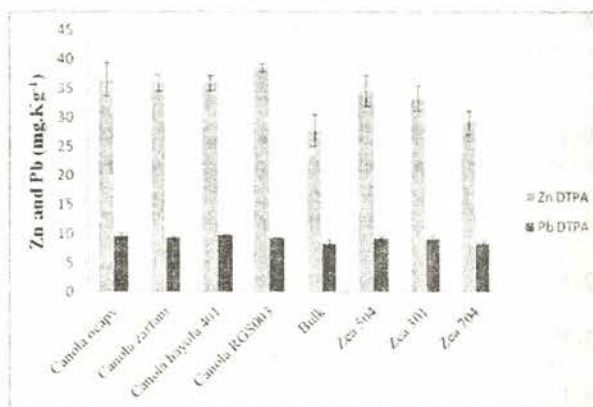
نتایج عصاره گیری دنباله های نشان داد که فراهمی روی در ریزوسفر ارقام مختلف ذرت و کلزا افزایش معنی داری داشت. این موضوع از نتایج عصاره گیری تک مرحله ای نیز حاصل شد. بنابراین کلزا و ذرت توانایی افزایش فراهمی روی را در ریزوسفر دارند. با توجه به اینکه شاخص های انتقال و تجمع برای فلز روی در ذرت بالاتر از کلزا می باشد و همچنین ذرت زیست توده بالاتری از کلزا دارد، این گیاه برای پالایش روی مناسب تر از کلزا می باشد. در مورد فلز سرب علی رغم اینکه مقدار سرب تبادل و محلول در ریزوسفر کاهش معنی داری نسبت به خاک غیر ریزوسفیری نداشت، نتایج عصاره گیری دنباله ای در مجموع بیانگر تمایل سیستم خاک-ریشه در جهت کاهش فراهمی سرب می باشد. این کاهش فراهمی توسط کلزا معنی دار تر است و علی رغم اینکه شاخص های انتقال و تجمع سرب در کلزا بالاتر از ذرت است ولی به علت زیست توده بالاتر ذرت در مجموع در این خاک پتانسیل ذرت برای پالایش سرب بالا تر از کلزا است.

### سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی قطب علمی بهبود کیفیت خاک برای تغذیه متعادل گیاه مستقر در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و همچنین همکاری صمیمانه جناب آقای پروفسور Walter Markus Puschenreiter و Wenzel Bodenkulture دانشگاه خاکشناسی در گروه ریزوسفر در جهت برخی آنالیزهای خاک و گیاه انجام شده که بدینوسیله از همکاری های علمی هردو موسسه تشکر و قدردانی به عمل می آید.



شکل ۸- مقدار سرب قابل استخراج توسط نیترات آمونیم و نیترات کلسیم



شکل ۹- مقدار روی و سرب قابل استخراج توسط DTPA

### منابع

- 1- Abdel-Sabour M.F., and Abdel-Basset N. 2002. The affect of industrial activities on zinc in alluvial Egyptian soil determined using neutron activation analysis. *J. Environ. Sci.* 14(3): 330-332.
- 2- Blum W.E.H., Spiegel H., and Wenzel W.W. 1996. *Bodenzustandsinventur, Konzeption, Durchführung, Bewertung.* 2nd ed., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, pp. 56-59.
- 3- Bouyoucos C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. *Agron. J.*, 54:464-465.
- 4- Brandstetter A., Sletten R.S., Mentler A., and Wenzel W. 1996. Estimating dissolved organic carbon in natural waters by UV absorbance (254 nm). *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 159: 605-607.
- 5- Butler J.L., Williams M.A., Bottomley P.J., and Myrold D.D. 2003. Microbial community dynamics associated with rhizosphere carbon flow. *Appl. Environ. Microbiol.* 69:6793-6800.
- 6- Chen S., Sun L., Chao L., Zhou Q., and Sun T. 2009. Estimation of Lead Bioavailability in Smelter-Contaminated Soils by Single and Sequential Extraction Procedure. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 82:43-47.
- 7- Chiu K.K., Ye Z.H., Wong M.H., and 2005. Enhanced uptake of As, Zn, and Cu by *Vetiveria zizanioides* and *Zea mays* using chelating agents. *Chemosphere.* 60:1365-1375.
- 8- DIN 19730. 1995. *Bodenbeschaffenheit, Extraktion von Spurenelementen mit Ammoniumnitratlösung.* Deutsches Institut für Normierung. Beuth Verlag, Berlin.
- 9- Feng M.H., Shan X.Q., Zhang S.Z., and Wen B. 2005b. Comparison of a rhizosphere-based method with other one-



## Archive of SID

- step extraction methods for assessing the bioavailability of soil metals to wheat. *Chemosphere* 59: 939-949.
- 10- Fitz W.J., Wenzel W.W., Zhang H., Nurmi J., Stipek K., Fischerova Z., Schweiger P., Kollemperger G., Ma L., and Stingeder G. 2003. Rhizosphere characteristics of the arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. and monitoring of phytoremoval efficiency. *Environ. Sci. Technol.* 37: 5008-5014.
  - 11- Gisbert C., Clemente R., Navarro-Avino J., Baixauli C., Giner A., Serrano R., Walker D.J., and Bernal M.P. 2006. Tolerance and accumulation of heavy metals by Brassicaceae species grown in contaminated soils from Mediterranean regions of Spain. *Environ. Exp. Bot.* 56: 19-27.
  - 12- Gottlein A., Heim A., and Matzner E. 1999. Mobilization of aluminium in the rhizosphere soil solution of growing tree roots in an acidic soil. *Plant Soil.* 211:41-49.
  - 13- Hammer D., and Keller C. 2002. Changes in the rhizosphere of metal accumulating plants evidenced by chemical extractants. *J. Environ. Qual.* 31: 1561-1569.
  - 14- Helmke P.H., and Spark D.L. 1996. Potassium. p: 551-574. In Sparks D.L., et al. *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
  - 15- Hinsinger P., and Gilkes R.J. 1996. Mobilization of phosphate from phosphate rock and alumina-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. *Eur. J. Soil Sci.* 47:533-544.
  - 16- Hinsinger P. 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Adv. Agron.* 64:225-265.
  - 17- Hinsinger P., Bengough A.G., Vetterlein D., and Young I.M. 2009. Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. *Plant Soil* 321:117-152.
  - 18- Hinsinger P., Gobran G.R., Gregory P.J., and Wenzel W.W. 2005. Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *New Phytol.* 168: 293- 303.
  - 19- Hinsinger P., Plassard C., and Jaillard B. 2006. Rhizosphere: A new frontier for soil biogeochemistry. *J. Geochem. Explor.* 88: 210- 213.
  - 20- Hinsinger P., Plassard C., Tang C., and Jaillard B. 2003. Origins of root-induced pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints, a review. *Plant Soil* 248: 43-59.
  - 21- Kidd P., Barcelo J., Bernal M.P., Navari-Izzo F., Poschenrieder C., Shilev S., Clemente R., and Monterroso C. 2009. Trace element behaviour at the root-soil interface: Implications in phytoremediation. *Environ. Exp. Bot.* 67: 243-259.
  - 22- Komarek M., Tlustos P., Szakova J., Chrastny V., and Ettler V. 2007. The use of maize and poplar in chelant-enhanced phytoextraction of lead from contaminated agricultural soils. *Chemosphere.* 67: 640-651.
  - 23- Kuo S. 1996. Phosphorus. p: 869-920. In Sparks D.L., et al. *Method of soil Analysis*. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
  - 24- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
  - 25- Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and Gypsum. p: 437-474. In Sparks D.L., et al. *Methods of Soil Analysis*. SSSA, Inc. ASA, Inc. Madison, WI.
  - 26- Lorenz S.E., Hamon R.E., McGrath S.P., Holm P.E., and Christensen T.H. 1994. Applications of fertilizer cations affect cadmium and zinc concentrations in soil solutions and uptake by plants. *Eur. J. Soil Sci.* 45: 159-165.
  - 27- McBride M.B. 1989. Surface chemistry of soil minerals. In: Dixon, J.B., Weed, S.B. (Eds.), *Minerals in Soil Environments*, 2nd Edn. SSSA, Madison, WI, pp. 35-88.
  - 28- McBride M.B. 1994. *Environmental chemistry of soils*. Oxford University Press, New York.
  - 29- McGrath S.P., and Zhao F.J. 2003. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Curr. Opin. Biotech.* 14:277-282.
  - 30- Mench M., and Martin E. 1991. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rustica* L. *Plant Soil* 132:187-196.
  - 31- Muhammad I., Puschenreiter M., and Wenzel W.W. 2011. Cadmium and Zn availability as affected by pH manipulation and its assessment by soil extraction, DGT and indicator plants. *Sci. Total Environ.* (In Press).
  - 32- Neubauer U., Furrer G., and Schulin R. 2002. Heavy metal sorption on soil minerals affected by the siderophore desferrioxamine B: the role of Fe(III) (hydr)oxides and dissolved Fe(III). *Eur. J. Soil Sci.* 53:45-55.
  - 33- Norvell W.A. 1984. Comparison of chelating agents as extractants for metals in diverse soil materials. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1285-1292.
  - 34- Nye P.H. 1981. Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. *Plant Soil* 61:7-26.
  - 35- Puschenreiter M., Wiczorek S., Horak O., and Wenzel W.W. 2003. Chemical changes in the rhizosphere of metal hyperaccumulator and excluder *Thlaspi* species. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166: 579-584.
  - 36- Raynaud X. 2010. Soil properties are key determinants for the development of exudate gradients in a rhizosphere simulation model. *Soil Biol. Biochem.* 42(2): 210-219.
  - 37- Ruiz E., Rodriguez L., Alonso-Azcarate J., and Rincon J. 2009. Phytoextraction of metal polluted soils around a pb-zn mine by crop plants. *Int. J. Phytorem.* 11:360-384.
  - 38- Shenker M., Fan T.W.M., and Crowley D.E. 2001. Phytosiderophores influence on cadmium mobilization and

- uptake by wheat and barley plants. *J. Environ. Qual.* 30:2091–2098.
- 39- Sposito G. 1989. *The chemistry of soils.* Oxford University Press, New York.
- 40- Stilwell D.E., Rathier T.M., Musante C.L., and Ranciato J.F. 2008. Lead and other heavy metals in community garden soils in Connecticut. *The Connecticut Agricultural Experiment Station, New Haven. Bulletin 1019.* 1-7
- 41- Tao S., Chen Y.J., Xu F.L., Cao J., and Li B.G. 2003. Changes in copper speciation in maize rhizosphere soil. *Environ. Pollut.* 122: 447–454.
- 42- Tao S., Liu W.X., Chen Y.J., Xu F.L., Dawson R., Li B.G., Cao J., Wang X.J., Hu J.Y., and Fang J.Y. 2004. Evaluation of factors influencing root-induced changes of copper fractionation in rhizosphere of a calcareous soil. *Environ. Pollut.* 129: 15-12.
- 43- Temmerman L.O., Hoenig M., and Scokart P.O. 1984. Determination of “normal” levels and upper limit values of trace elements in soils. *Z Pflanzen Bodenkd.* 147: 687-694.
- 44- Tessier A., Campbell P.G.C., and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51:844–851.
- 45- Topp G.C., Galynou B.C., Ball B.C., and Carter M.R. 1993. Soil water adsorption curve. p: 569-579. In Carter (ed) M.R. *Soil sampling and methods of analysis.* Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- 46- Walkly A., and Black I.A. 1934. Examination of the degtjareff method determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 34: 29-38
- 47- Wang J., and Chen C. 2009. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotech. Adv.* 27: 195- 226.
- 48- Wang W.S., Shan X.Q., Wen B., and Zhang S.Z. 2003. Relationship between the extractable metals from soils and metals taken up by maize roots and shoots. *Chemosphere* 53: 523–530.
- 49- Wang Z., Shan X.Q., and Zhang S. 2002. Comparison between fractionation and bioavailability of trace elements in rhizosphere and bulk soils. *Chemosphere* 46: 1163–1171.
- 50- Weng L., Temminghoff E.M., Lofts S., Tipping E., and Riemsdijk W.V. 2002. Complexation with dissolved organic matter and solubility control of heavy metals in a sandy soil. *Environ. Sci. Technol.* 36: 4804-4810.
- 51- Wenzel W.W. 2009. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. *Plant Soil* 321:385–408.
- 52- Yoon J., Cao X., Zhou Q., and Ma L.Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Sci. Total Environ.* 368: 456–464.