

## افزایش زیست‌فراهمی سرب به منظور پالایش گیاهی آن از خاک‌های آلوده

\*زهرا عربی<sup>۱</sup>، مهدی همایی<sup>۲</sup>، محمداسماعیل اسدی<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته دکترای خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲. استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

### چکیده

در این پژوهش تأثیر کی‌لیت مصنوعی HEDTA در محلول کردن سرب در خاک‌هایی که به طور مصنوعی آلوده شده‌اند و نیز توانایی آنها در استخراج سرب توسط گیاه تربیچه با نام علمی *Raphanus sativus* L. متعلق به تیره کلمیان (Brassicaceae) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. این آزمایش با استفاده از یک طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای غلظت برای سرب با استفاده از نمک کلرید سرب دارای غلظت ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بودند. پس از رشد نهایی گیاهان، کی‌لیت HEDTA با غلظت‌های  $1/5 \text{ mMkg}^{-1}$  به هر گلدان اضافه شد. یک تیمار شاهد بدون کی‌لیت نیز در نظر گرفته شد. ۱۰ روز پس از افزودن کی‌لیت، برای به دست آوردن شدت جذب آلاینده‌ها در پایان فصل رشد، از گیاهان و خاک گلدان‌ها نمونه‌برداری و غلظت سرب در آنها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تمام تیمارها، سرب محلول خاک در مقایسه با تیمار شاهد که کی‌لیت به آن اضافه نشده، بیشتر بوده است. در تمام تیمارهایی که HEDTA به آنها اضافه شده تجمع سرب در ساقه و ریشه‌های تربیچه بیشتر از تیمار شاهد است. همچنین مقدار جذب سرب توسط ریشه‌های تربیچه بیشتر از ساقه‌های آن بوده است.

**کلمات کلیدی:** آلودگی خاک، استخراج گیاهی، تربیچه، سرب، کی‌لیت مصنوعی

### مقدمه

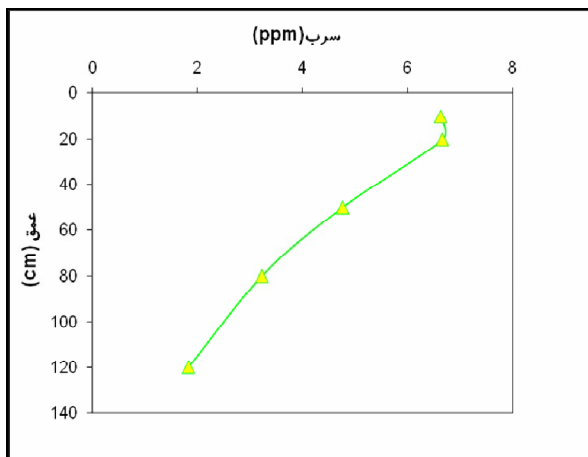
طریق به اراضی کشاورزی جنوب تهران انتقال می‌یابد، حاوی حجم زیادی از پساب‌های شهری و صنعتی باشد. این فاضلاب‌ها، آلوده به عناصر سنگین بوده که ضمن آبیاری وارد خاک‌های زراعی شده و در ناحیه‌ی رشد ریشه تجمع می‌یابند. یکی از راه‌های بهسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، پالایش گیاهی است. پالایش گیاهی استفاده از گیاهان به منظور حذف آلاینده‌ها از محیط و یا کم کردن خطر آنها می‌باشد که به عنوان یک فناوری نو جهت آلودگی‌زدایی معرفی شده است (Cunningham et al., 1995).

در سال‌های اخیر غلظت فلزات سنگین مانند Cd, Zn, Cu, Ni و Pb در خاک‌های کشاورزی جهان رو به افزایش است. از جمله عوامل اصلی این افزایش مصرف مواد حاصلخیز کننده، اصلاح کننده، آفت‌کش‌ها و فاضلاب‌های شهری در اراضی کشاورزی می‌باشد (Santos and et al., 2006). قرار گرفتن موقعیت جغرافیایی شهر تهران در نیم‌رخ جنوبی البرز و در مسیر رواناب‌های حاصل از ارتفاعات شمالی، شمال شرقی، غربی و شرقی باعث شده است جریانی که از این

جدول ۱: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد

مطالعه	
بافت خاک	Clay Loam
%Sand	۳۷/۴
%Silt	۳۳/۷
%Clay	۲۸/۹
%O.C	۱/۳
EC <sub>e</sub> (dS/m)	۲/۳۴
pH	۷/۸
%CaCO <sub>3</sub>	۱۵/۵
CEC(cmol <sub>e</sub> /kg)	۱۶
Pb(mgkg <sup>-1</sup> )	۶/۶۳

نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه در این پژوهش دارای بافت لوم رسی با مواد آلی نسبتاً کم و غیر شور برای سبزیجات و صیفی‌جاتی مانند تربچه و گوجه‌فرنگی که در منطقه کشت می‌شوند، بوده و واکنش آن در حدود خنثی می‌باشد. گیاه تربچه در منطقه نمونه‌برداری شده کشت و با فاضلاب خام و یا ترکیبی با آب چاه آبیاری می‌شود که با وجود بافت لوم رسی و EC نسبتاً بالا برای گیاه مزبور، عملکرد آن در واحد سطح مطلوب می‌باشد. سرب موجود در پنج عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۵۰-۲۰، ۸۰-۵۰، ۱۲۰-۸۰ و با استفاده از دستگاه جذب اتمی به روش DTPA اندازه‌گیری شد (شکل ۱).



شکل ۱: تغییرات مقدار سرب در اعماق مختلف خاک در منطقه

مورد مطالعه

این روش در مقایسه با سایر روش‌ها مانند حفاری بسیار کم هزینه است. در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین فراهمی یون‌ها برای جذب توسط گیاه، بستگی به فراوانی منابع محلول این فلزات و دسترسی گیاه به آنها دارد (Lasat et al., 2000). از آنجا که بیشتر فلزات موجود در خاک غیر قابل دسترس برای گیاه می‌باشند، برای استخراج بهتر آنها در فرآیند پالایش گیاهی باید آنها را به فرم محلول درآورد. در این میان، استفاده از ترکیبات آلی مانند کی‌لیت‌ها می‌تواند زیست فراهمی فلزات سنگین را افزایش دهد (Raskin et al., 1997). در این پژوهش، تأثیر کی‌لیت HEDTA در محلول کردن سرب در خاک‌های آلوده و نیز توانایی آن در استخراج گیاهی سرب توسط گیاه تربچه (*Raphanus sativus* L.) از تیره کلمیان (Brassicaceae) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. گیاهان تیره کلم (Brassicaceae) در زدودن فلزات سنگین از خاک بسیار توانا گزارش شده‌اند (Alkorata et al., 2004).

#### مواد و روش‌ها

##### نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های خاک

این آزمایش با استفاده از یک طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. برای انجام این پژوهش نمونه‌برداری از خاک منطقه‌ای در جنوب تهران که با فاضلاب آبیاری می‌شدند صورت گرفت. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری نمونه‌ی مرکب تهیه گردید. آزمایشات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک شامل ویژگی‌های هدایت الکتریکی، عصاره‌ی اشباع خاک EC<sub>e</sub> با دستگاه هدایت‌سنج، مواد خنثی شونده بر حسب کربنات کلسیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، گل اشباع خاک pH<sub>c</sub> با استفاده از دستگاه pH سنج، مواد آلی خاک به روش واکلی و بلک<sup>۱</sup> و فراوانی نسبی ذرات خاک (رس، سیلت، شن) به روش هیدرومتری کلیه نمونه‌ها تعیین شد (جدول ۱).

<sup>1</sup>. Walkley and Black

$$\text{غلظت سرب در اندام هوایی} = \frac{\text{فاکتور انتقال (TF)}}{\text{غلظت سرب در ریشه}}$$

#### عصاره‌گیری سرب محلول از خاک

۱۰ گرم خاک را توزین و در ارلن مایر ۱۲۰ میلی‌لیتری ریخته و ۲۰ میلی‌لیتر محلول DTPA به آن افزوده شد. نمونه‌ها به مدت دو ساعت با شیکر دورانی مدل IKAWerk KS 580 روی درجه‌ی ۲۵۰ تکان داده شدند و سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف گردیدند.

#### عصاره‌گیری سرب کل از گیاه

جهت عصاره‌گیری سرب کل از گیاه از روش اکسیداسیون تر استفاده شد. در این روش، هضم با مخلوط اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید سولفوریک با نسبت حجمی ۴:۱:۱ صورت گرفت (مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۷۵). میزان سرب در خاک توسط دستگاه دستگاه جذب اتمی و در گیاه توسط دستگاه ICP اندازه‌گیری شد.

#### تجزیه و تحلیل آماری

جهت انجام عملیات تجزیه و تحلیل اطلاعات پس از تبدیل داده‌های خام به داده‌های مورد نیاز مطابق با اهداف تحقیق، از نرم افزار آماری SPSS (نسخه ۱۳) استفاده شد. در این پژوهش روش آماری مناسب استفاده از طرح آزمایشات می‌باشد. سطح معنی‌داری آماری آزمون‌ها در این پژوهش ۵ درصد در نظر گرفته شد.

#### نتایج

##### اثر کی‌لیت به کار رفته بر حلالیت سرب در خاک‌های آلوده

در این پژوهش با توجه به مقادیر به دست آمده با افزایش غلظت سرب، سرب محلول خاک افزایش یافت، به طوری که در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از سرب، بیشترین غلظت سرب محلول در خاک مشاهده شد. غلظت سرب محلول خاک در تیمارهایی که به آنها HEDTA اضافه شده در غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از سرب به ترتیب ۶/۳۶، ۱۹/۶۲، ۶۱/۲۰، ۳۲۳/۶۰ و

بیشترین مقدار سرب در منطقه مورد مطالعه، دارای میانگین ۶/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود که در محدوده غلظت مجاز است.

#### آلوده کردن خاک و کاشت گل‌دان‌ها

ابتدا خاک مورد نظر کوبیده و نرم شده و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. مقدار خاک مورد نیاز برای هر گل‌دان با توجه به ابعاد گل‌دان و در نظر گرفتن وزن مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتیمتر مکعب محاسبه گردید. غلظت آلاینده‌ها با توجه به حدود غلظت مجاز سرب در خاک انتخاب شدند به گونه‌ای که دامنه‌ای از غلظت صفر آن فلز تا چندین برابر غلظت مجاز را بپوشاند. غلظت مجاز سرب از ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است (Cariny, 1995). بنابراین، غلظت‌ها برای سرب ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک انتخاب شدند. ابتدا مقدار لازم کلرید سرب ( $PbCl_2$ ) برای آلوده کردن جرم مشخص خاک هر گل‌دان محاسبه و سپس جرم محاسبه شده به خاک به صورت مه پاشیده و کاملاً با آن مخلوط شد (به دلیل نامحلول بودن کلرید سرب در آب قبل از مه‌پاشی با حرارت محلول شد).

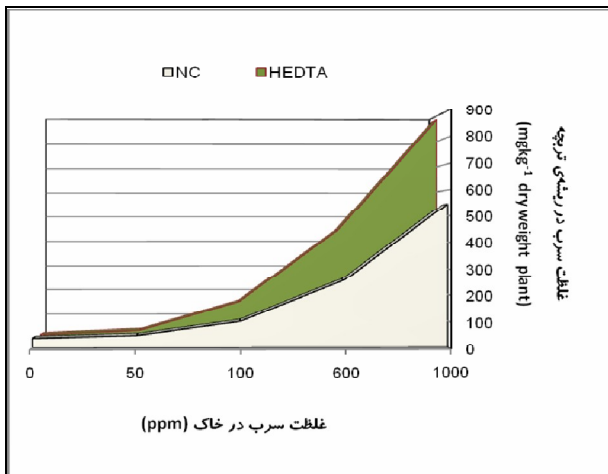
خاک‌های آلوده در سه تکرار در داخل هر گل‌دان ریخته شدند. پس از ۲ ماه اقدام به کشت گل‌دان‌ها گردید. کشت به صورت ردیفی انجام شد و پس از رشد در مرحله دو برگگی، گیاهان تنک گردیدند، به نحوی که تعداد بوته باقی مانده در هر گل‌دان به ۵ بوته برسد. در انتهای فصل رشد، کی‌لیت HEDTA با غلظت  $1/5 \text{ mMkg}^{-1}$  به هر گل‌دان اضافه شد.

#### برداشت گیاهان و آماده‌سازی نمونه‌ها

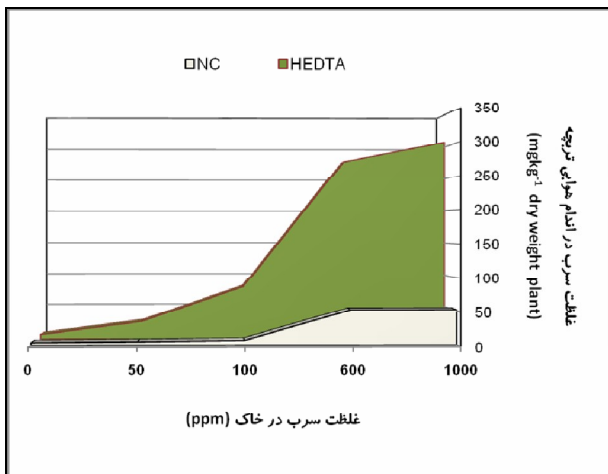
برای به دست آوردن شدت جذب سرب، ۱۰ روز پس از افزودن کی‌لیت (Neugschwandtner et al., 2008) از گیاهان و خاک گل‌دان‌ها نمونه‌برداری شد. غلظت سرب در آنها اندازه‌گیری و فاکتور انتقال<sup>۲</sup> که نسبت مقدار عنصر در اندام هوایی گیاه بر مقدار عنصر در ریشه‌های گیاه می‌باشد (Epelde et al., 2008) محاسبه شد.

<sup>2</sup>. Translocation Factor

همچنین با توجه به جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت متوسط جذب سرب در ریشه به نوع کی‌لیت بستگی دارد. به عبارتی کی‌لیت بکار رفته اثر معنی‌داری بر میزان جذب سرب توسط ریشه‌های تربچه داشته است.

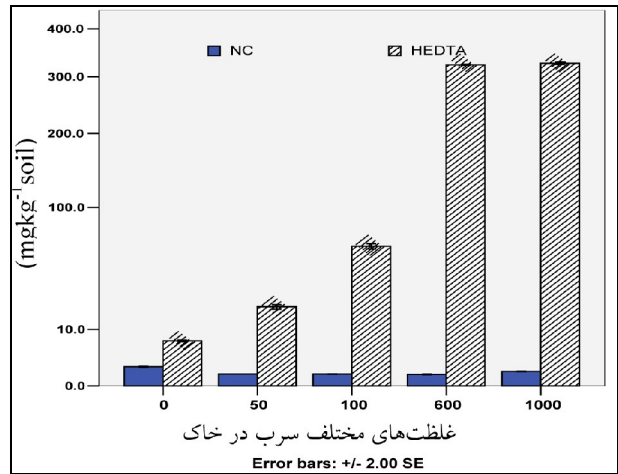


شکل ۳: اثر کی‌لیت به کار رفته بر جذب سرب توسط ریشه  
\* اعداد میانگین هستند (n=۳) و سطح معنی‌داری آزمون‌ها P = ۰.۰۵ می‌باشد.



شکل ۴: اثر کی‌لیت به کار رفته بر جذب سرب توسط اندام هوایی  
\* اعداد میانگین هستند (n=۳) و سطح معنی‌داری آزمون‌ها P = ۰.۰۵ می‌باشد.

۳۲۶/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بوده که با افزایش غلظت سرب در خاک، افزایش یافته است (شکل ۲).



شکل ۲: اثر کی‌لیت HEDTA بر حلالیت سرب در خاک‌های آزمایشی  
Error bars: +/- 2.00 SE

اثر کی‌لیت به کار رفته بر غلظت سرب در ریشه و اندام هوایی تربچه

با افزایش غلظت سرب در خاک، تجمع سرب در ریشه تربچه افزایش پیدا کرده است. در تیمارهایی که به آنها HEDTA اضافه شده مقدار سرب در مقایسه با نمونه‌های شاهد (بدون کی‌لیت) بیشتر بوده است. در این تیمارها با افزایش غلظت سرب در محلول خاک، تجمع بیشتر سرب در ریشه مشاهده شد. در اندام هوایی نیز با افزایش غلظت سرب در خاک، هم در تیمارهای شاهد و هم در نمونه‌هایی که به آنها HEDTA اضافه شده تجمع بیشتر سرب مشاهده شده است. در داده‌های به دست آمده، مقادیر تجمع یافته سرب در ریشه‌ی گیاه تربچه بسیار بیشتر از اندام هوایی آن بوده است (شکل ۳ و ۴).

در جدول ۲ نتایج تجزیه‌ی آماری اثر کی‌لیت بر جذب سرب توسط اندام هوایی تربچه آورده شده است. مشاهده می‌شود که در سطح ۰/۰۵ درصد، جذب سرب بین تیمار شاهد و کی‌لیت یکسان نبوده و به کی‌لیت بستگی دارد.

جدول ۲: تجزیه واریانس اثر کی‌لیت HEDTA بر جذب سرب توسط اندام هوایی تربچه

Sig.	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	منابع تغییر (S.O.V)
۰/۰۰۱	۱۸/۲۰۳	۱۵۲۴۱۰/۱۴۱	۱۵۲۴۱۰/۱۴۱	۱	کی‌لیت
۰/۰۰۴	۵۷/۵۱۵	۴۸۱۵۴۹/۹۲۷	۱۹۲۶۱۹۹/۷۰۸	۴	غلظت عنصر سنگین
		۸۳۷۲/۵۸۲	۲۰۰۹۴۱/۹۶۰	۲۴	Error
			۴۰۴۴۰۰۸/۰۵۷	۳۰	Total

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر کی‌لیت HEDTA بر جذب سرب در ریشه‌ی تربچه

Sig.	F	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	منابع تغییر (S.O.V)
۰/۰۰۳	۲۹/۵۸۸	۱۰۱۱۶۸/۹۳۹	۱۰۱۱۶۸/۹۳۹	۱	کی‌لیت
۰/۰۰۰	۱۲/۱۸۳	۴۱۶۹۸/۰۴۶	۱۶۶۷۹۲/۱۸۳	۴	غلظت عنصر سنگین
		۳۴۲۲/۷۰۸	۸۲۱۴۵/۰۰۳	۲۴	Error
			۵۵۱۶۱۰/۱۴۶	۳۰	Total

در جدول ۵ مقادیر فاکتور انتقال برای HEDTA آورده شده است. با توجه به جدول ۵ بیشترین مقدار فاکتور انتقال در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از سرب بوده و در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از سرب، کاهش فاکتور انتقال مشاهده می‌شود. سرب تجمع یافته در ریشه در غلظت ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از سرب حدود ۱/۶ برابر بیشتر از اندام هوایی و در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از سرب حدود ۲/۹ برابر است.

جدول ۵: مقادیر فاکتور انتقال (TF) برای سرب در تربچه

غلظت فلز سنگین سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	فاکتور انتقال	
	شاهد	HEDTA
۰	۰/۱۱۵	۰/۲۴۳
۵۰	۰/۱۱۳	۰/۵۸۷
۱۰۰	۰/۰۷۱	۰/۵۰۷
۶۰۰	۰/۲۰۲	۰/۶۲۰
۱۰۰۰	۰/۰۹۴	۰/۳۴۷

غلظت سرب در تربچه در تیمارهای شاهد (بدون کی‌لیت) و محتوی کی‌لیت (HEDTA)، در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: اثر کی‌لیت به کار رفته بر جذب سرب توسط تربچه

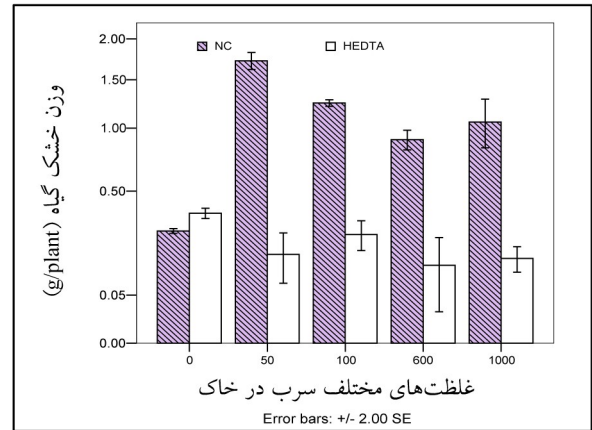
غلظت سرب کل در تربچه (میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم وزن خشک گیاه)	غلظت سرب در تربچه (میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک)	
	HEDTA	بدون کی‌لیت
غلظت فلز سنگین سرب		
۵۰	۱/۵±۷۴/۶۰	۱±۵۱/۵۶
۱۰۰	۰/۹۵±۲۴۰/۵۶	۰/۷۵±۱۰۶/۳۲
۶۰۰	۱±۷۲۳/۲۰	۲±۳۰۵/۹۸
۱۰۰۰	۱/۳±۱۱۹۲/۶۳	۲/۲±۵۹۸/۱۹

داده‌های جدول ۴ نشان می‌دهد که در غلظت ۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از سرب، بعد از اضافه کردن کی‌لیت HEDTA غلظت سرب کل در تربچه به ترتیب به ۰/۷۴/۶۰، ۲۴۰/۵۶، ۷۲۳/۲۰ و ۱۱۹۲/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم رسیده که به ترتیب ۱/۴۵، ۲/۲۶، ۲/۳۶ و ۱/۹۹ برابر نمونه شاهد می‌باشد.

بخش‌ها و اندام‌های متفاوت یک گیاه مقادیر مختلفی از هر عنصر را می‌تواند تجمع دهد. تجمع فلزات در بخش‌های مختلف گیاه بر اساس فاکتور انتقال تعریف می‌گردد.

### اثر کی‌لیت به کار رفته بر رشد تربچه

در پژوهش حاضر کی‌لیت HEDTA، در مقایسه با نمونه‌های شاهد وزن خشک تربچه را کاهش داده است (شکل ۵).



شکل ۵: اثر کی‌لیت HEDTA بر وزن خشک گیاه تربچه  
\*اعداد میانگین هستند (n=۳).

در پژوهش حاضر عدم یکنواختی در تشکیل غده در تیمارهایی که محتوی سرب بودند را قبل از اضافه کردن کی‌لیت HEDTA را مشاهده کردیم. بعد از افزودن کی‌لیت نیز علائم تغییر شکل و رنگ در برگ‌های تربچه مشاهده شد.

### بحث

تجمع سرب در گیاهان به موازات جذب سرب از محلول خاک صورت می‌گیرد. افزایش جذب فلزات سنگین از خاک در اثر کاربرد عوامل کلاته نه تنها بستگی به عامل کلات‌کننده و فلز سنگین، بلکه بستگی به نوع گیاه نیز دارد. همراه با رشد گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، عناصر از طریق ریشه‌ها به بخش‌های هوایی گیاه انتقال می‌یابد. تجمع این عناصر در گونه‌های مختلف گیاهی و حتی اندام‌های مختلف یک گیاه و توانایی هر گیاه برای تجمع یک عنصر نیز متفاوت می‌باشد. با افزایش غلظت سرب در ریشه‌های تربچه از تحرک آن در گیاه کاسته شده و مقدار بیشتری از آن در سلول‌های ریشه و فضاهای بینابینی تجمع یافته است.

جذب HEDTA به وسیله ریشه‌ها و انتقال آنها به اندام هوایی از روی تغییر رنگ برگ‌ها بعد از استفاده از کی‌لیت در

غلظت‌های ۱/۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک خشک مشاهده شد که با نتایج Huang و همکاران (۱۹۹۷) در مورد کی‌لیت EDDHA مشابه است. به علت تغییر سیستم آوندی ریشه به ساقه در محل یقه گیاه، این محل به صورت فیلتر عمل نموده و موجب تجمع سرب و کند شدن فرآیند انتقال آن به ساقه می‌شود. از آن جا که در گیاه تربچه، غده، هیپوکوتیلی تغییر شکل یافته است. به عبارت دیگر قسمت یقه در گیاه کاملاً توسعه یافته می‌باشد، اختلاف تجمع سرب در ریشه و ساقه به پیشینه‌ی خود می‌رسد. این موضوع سبب می‌شود که تجمع سرب در ریشه بیشتر باشد. در این پژوهش مشاهده می‌کنیم که در گلدان‌های شاهد (بدون کی‌لیت)، جذب سرب در ریشه بسیار بیشتر از اندام هوایی است که این با مشاهدات Epelde و همکاران (۲۰۰۸) سازگار است.

کی‌لیت HEDTA در مقایسه با شاهد، فاکتور انتقال را افزایش داده است و همین امر می‌تواند دلیل تجمع مقادیر بیشتر سرب در اندام هوایی باشد (جدول ۵).

برخی مطالعات نشان داده که افزودن کی‌لیت‌ها اگرچه باعث افزایش تجمع فلزات سنگین در گیاهان شده، از طرفی ممکن است اثرات منفی بر زیست توده گیاهی نیز داشته باشد (Chaney et al., 1997; Blaylock et al., 1997). در این پژوهش کاهش زیست توده گیاهی در مقایسه با تیمارهای شاهد (بدون کی‌لیت) مشاهده گردید.

مقدار فلزاتی که توسط کی‌لیت‌های مصنوعی به فرم محلول در می‌آیند معمولاً بیش از حد قابل جذب توسط گیاه است، جهت رفع آن بهتر است کی‌لیت‌ها زمانی اضافه شوند که گیاه بیشترین توده گیاهی را داشته باشد (Van Engelen et al., 2007)، زیرا در غیراینصورت ممکن است زیاده‌ی فلزات محلول به آب‌های زیرزمینی آبتوی شوند. در پژوهش حاضر با افزودن HEDTA غلظت سرب محلول خاک در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از سرب در مقایسه با تیمارهای شاهد به ترتیب ۴۴/۶، ۱۳۹/۱، ۷۷۰/۵ و ۴۹۴/۹ برابر بیشتر بوده است.

**Cunningham, S.D., Berti, W.R., Huang, J.W. (1995).** Phytoremediation of contaminated soils. Trends Biotechnol. 13, 393–397.

**Epelde, L., Hernandez, J., Becerril, J., Blanco, F., Garbisu, C. (2008).** Effect of chelates on plants and EDDS for lead phytoextraction. J. Science of the total environment 401, 21-28.

**Huang, J.W., Chen, J., Berti, W.B., Cunningham, S.D. (1997).** Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. Environ. Sci. Technol. 31, 800–805.

**Lasat, M.M. (2000).** Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/metal interaction and assesment of pertient agronomic Issues. Journal of hazardous substance research, 2:5-21.

**Neuschwandtner, R.W., Tlustoš, P., Komrek, M., Szekov?, J. (2008).** Phytoextraction of Pb and Cd from a contaminated agricultural soil using different EDTA application regimes: Laboratory versus field scale measures of efficiency. J. Geoderma 144, 446–454.

**Raskin, I., Smith, R.D., and Salt, D.E. (1997).** Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. Curr. Opin. Biotechnol. 8, 221–226.

**Santos, F.S., Javier, H.A.B., Nelson, A.S., Nelson, M., Carlos, G. (2006).** Chelate-induced phytoextraction of metal polluted soils with *Brachiaria decumbens*. Chemosphere 65 43–50.

**Van Engelen, D.L., Sharpe- Pelder, R.C., Moorhead, K.K. (2007).** Effect of chelating agents and solubility of cadmium complexes on uptake from soil by *Brassica juncea*. Chemosphere 68, 401-408.

### نتیجه‌گیری نهایی

برای افزایش حلالیت فلزات سنگین در خاک، کی‌لیت HEDTA، برای سرب مؤثر بوده است. با توجه به این که در این پژوهش کاهش زیست توده‌ی گیاهی را بعد از افزودن HEDTA مشاهده کردیم. لذا توصیه می‌شود کی‌لیت‌ها زمانی اضافه شوند که گیاه رشد کامل خود را انجام داده باشد. توانایی بالای گیاه تربچه در جذب مقادیر زیادی سرب در ریشه و ساقه و نیز تأثیر بالای کی‌لیت HEDTA در زیست فراهمی سرب نشان داد که افزایش کی‌لیت باعث افزایش پالایش گیاهی سرب در خاک‌های آلوده به این عنصر سنگین شده است.

### منابع

مؤسسه تحقیقات خاک و آب. (۱۳۷۵). روش‌های تجزیه گیاه، نشریه‌ی شماره ۹۸۲.

**Alkorta, I., Hernandez-Allica, J., Becerril, J.M., Amezaga, I., Albizu, I., Onaindia, M., Garbisu, C., (2004b).** Chelate-enhanced phytoremediation of soils polluted with heavy metals. Rev. Environ. Sci. Biotechnol.3, 55–70.

**Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., (1997).** Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. Environ. Sci. Technol. 31, 860–865.

**Chaney, R.L., Brown, S.L., Mlik, Y.M., Angle, J.S., Brewer, E.P., Baker, A.J. (1997).** Phytoremediation of soil metals. Curr. Opin. Biotech. 8, 279-284.

## Enhancing bioavailability of lead for phytoremediation of contaminated soils

Arabi, Z<sup>1</sup>., Homaei, M.<sup>2</sup>, Asadi, M.E.<sup>3</sup>

1. Dep. Soil Science, Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2. Dep. Soil Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3. Soil and Water Research Scientist, Gorgan, Iran.

### Abstract

In this study the influence of enhancing synthetic chelate (HEDTA) were investigated on lead (Pb) solution in contaminated soils. The Pb phytoextraction capability of radish (*Raphanus sativus* L.) before and after chelating was also studied. The experiment was conducted in a randomized complete factorial design, with three replicated for each treatment. The Pb treatments (as PbCl<sub>2</sub>) were consisted of 0 (control), 50, 100, 600 and 1000 mg Pb kg<sup>-1</sup> soil. When plants were fully grown, the chelating agent HEDTA was added to Pb treatments in concentration of 1.5, 5 and 6 mMkg<sup>-1</sup> soil, respectively. The control treatments was received no chelate. Ten days later, some samples were taken from the plants and soils to measure lead concentrations after applying the chelate. The results indicated that in all treatments, the concentrations of soluble Pb in soil were more than the control treatment. In all treatments, Pb concentrations in plant shoots and roots were increased by increasing Pb concentrations in the soil solution. In current study, Pb concentration in radish shoots and roots, after enhancing HEDTA was larger than control. The collected data were also showed that Pb uptake by radish roots was larger than that of shoots.

**Key words:** Lead, Phytoextraction, Radish, Soil pollution, Synthetic chelators