

## جذب سرب و عناصر غذایی به وسیله گیاه چمن شور تحت اثر سطوح مختلف سرب در خاک

محمد رضوانی<sup>1\*</sup>، فائزه زعفریان<sup>2</sup> و عبداللطیف قلی زاده<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 89/03/09 تاریخ پذیرش: 91/01/28

<sup>1</sup> استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائمشهر، گروه شناسایی و مبارزه با علف های هرز، قائمشهر

<sup>2</sup> استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>3</sup> استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد

\* مسئول مکاتبه: E-mail: [m\\_rezvani52@yahoo.com](mailto:m_rezvani52@yahoo.com)

### چکیده

گیاه پالایی یکی از تکنولوژی های اکولوژیک اصلاح خاک های آلوده به فلزات سنگین محسوب می شود. در این تکنولوژی معرفی گیاهان جدیدی که توانایی جذب و انتقال آلودگی به اندام هوایی را دارند، به عنوان یک راهبرد امیدبخش مطرح می باشد. بدین منظور، در یک آزمایش اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی با 5 تکرار اثر غلظت های غذایی به وسیله گیاه چمن شور، در شرایط گلدانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که مصرف سرب موجب کاهش رشد و تولید ماده خشک گیاه شد. اثر غلظت های مختلف سرب بر جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف معنی دار بود. مصرف سرب باعث کاهش جذب روی و آهن و افزایش جذب منیزیم بخش هوایی گیاه شد. حداکثر تجمع سرب در ریشه در تیمار 8000 میلی گرم در کیلوگرم و به مقدار 155/7 میلی گرم سرب در کیلوگرم ماده خشک بود. بیشترین میزان انتقال سرب به بخش هوایی (531 میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه) در تیمار 4000 میلی گرم سرب در کیلوگرم خاک وجود داشت. با توجه به نتایج، گیاه چمن شور دارای توانایی مناسبی در انتقال سرب به بخش هوایی خود می باشد که می تواند به عنوان فاکتور مطلوب برای استفاده از آن در استخراج گیاهی و پاک سازی خاک های آلوده به سرب باشد.

واژه های کلیدی: جذب عناصر غذایی، چمن شور، سرب، وزن خشک

## Lead and Nutrients Uptake by *Aeluropus littoralis* under Different Levels of Lead in Soil

M Rezvani<sup>1\*</sup>, F Zaefarian<sup>2</sup> and AL Gholizadeh<sup>3</sup>

Received: 30 May 2010, Accepted: 16 April 2012

<sup>1</sup>Assist. Prof., Dept. of Weed Science, Qaemshahr Branch, Islamic Azad Univ., Qaemshahr, Iran

<sup>2</sup>Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Crop Sciences, Sari Agric. Sci. and Natural Resources Univ., Mazandaran, Iran

<sup>3</sup>Assist. Prof., Dept. of Plant production, College of agric. Sci. and Natural Resources, Univ. of Gonbad, Gonbad, Iran

Corresponding author: E-mail: [m\\_rezvani52@yahoo.com](mailto:m_rezvani52@yahoo.com)

### Abstract

Phytoremediation has been proposed as an ecological remediation technology for soils polluted with heavy metals. In this technology introduction of new plants having heavy metals uptake and translocation ability to shoot is considered as a promising strategy. In a pot culture experiment, effects of 0, 500, 1000, 2000, 4000 and 8000 mg Pb kg<sup>-1</sup> soil were investigated on growth and uptake of lead and some nutrients in *Aeluropus littoralis* plant. The results showed Pb application reduced plant growth and dry matter production. Different concentrations of Pb had significant effects on macro and micro nutrients uptake by *A. littoralis*. The maximum Pb accumulation in root (155.7 mg kg<sup>-1</sup>) was for the treatment of 8000 mg Pb kg<sup>-1</sup> soil. The highest translocation of Pb (531 mg/kg dry matter) into shoot was observed at the treatment of 4000 mg Pb kg<sup>-1</sup> soil. Results indicated that *A. littoralis* had an appropriate performance in Pb translocation to shoot. This characteristic is an important factor of this plant that can play key role in phytoextraction and cleaning up of Pb contaminated soil.

**Key words:** *Aeluropus littoralis*, Dry weight, Lead, Nutrients uptake

مقدمه  
 حیوانات تجمع یافته و ممکن است سبب ایجاد خسارت به DNA و اثرات سرطان‌زایی از طریق ایجاد جهش شود (کناسمولر و همکاران 1998).  
 در گیاه‌پالایی<sup>1</sup> از قابلیت گیاهانی که دارای توانایی بالقوه در جذب و تجمع فلزات سنگین و عناصر رادیواکتیو می‌باشند، جهت پاک‌سازی و جمع‌آوری

انباشت فلزات سنگین در خاک یکی از مشکلات عمده زیست محیطی محسوب می‌شود. این فلزات به‌وسیله هوازدگی طبیعی سنگ‌ها و فعالیت‌های صنعتی در بیوسفر آزاد می‌شوند (فورسترن 1995). سرب یکی از ماندگارترین فلزات می‌باشد که می‌تواند 500-150 سال در خاک باقی بماند (نانداکومار و همکاران 1995). این عنصر با ورود به زنجیره غذایی، در بدن انسان و

<sup>1</sup>Phytoremediation

ریشه گیاه لوبیای سمی کاهش شیب غلظت سرب از اپیدرم به سمت محور مرکزی ریشه را نشان داد. مطالعه با میکروسکوپ الکترونی ذخیره شدن سرب را در غشای سلولی و دیواره سلولی ریشه‌های این گیاه نشان داد.

اطلاعاتی در مورد جذب سرب به وسیله چمن شور و همچنین برهمکنش این عنصر با عناصر دیگر در این گیاه وجود ندارد. سینها و همکاران (2006) گزارش کردند که افزایش غلظت سرب خاک موجب کاهش جذب فسفر در اندام هوایی و ریشه کلم<sup>4</sup> شد. کاهش غلظت فسفر در اندام هوایی و سنبله گندم<sup>5</sup> نیز در اثر افزایش غلظت سرب مشاهده شد (جیبیلین و همکاران 2002، دیاز- آگویلار و همکاران 2001). نتایج اردکانی و همکاران (2009) نیز نشان داد که سرب سبب کاهش تجمع فسفر در ریشه و اندام هوایی جو<sup>6</sup> شد. کاهش غلظت مس و منگنز و افزایش غلظت روی ناشی از افزایش غلظت سرب خاک در کلم به وسیله سینها و همکاران (2006) گزارش شده بود، اما نتایج چه و همکاران (2000) نشان داد که افزایش غلظت سرب خاک تغییری در غلظت روی برگ‌های خیار<sup>7</sup> ایجاد نکرد، اما غلظت منگنز برگ را افزایش داد. پاک و همکاران (2002) نشان دادند که در گیاه چای<sup>8</sup> غلظت آهن، مس و روی با افزایش غلظت سرب خاک افزایش یافت. عدم تعادل در عناصر غذایی مهمترین تاثیر سرب در گیاهان محسوب می‌شود (پاپووک 2002). گیاه خردل هندی کاهش رشد در غلظت 645 میکروگرم بر کیلوگرم سرب در خاک را از خود نشان داد، اما توانست 34/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب را در ماده خشک اندام هوایی خود ذخیره نماید (میچالسکا و آسپ 2001).

آلاینده‌ها استفاده می‌شود (پاپوتز 2001). این گیاهان قابلیت رشد و توسعه در خاک و آب آلوده را داشته، در برخی موارد می‌توانند آلاینده‌های هوا را نیز جذب نمایند (پیلون اسمیتز 2005).

گیاهانی که جهت گیاه‌پالایی در خاک‌های آلوده به کار می‌روند، باید دارای خصوصیتی نظیر سازگاری اکولوژیک با محیط خاک و اقلیم مورد نظر، رشد سریع، مورفولوژی مناسب ریشه، توانایی تحمل فلزات سنگین و مواد رادیواکتیو باشند. همچنین این گیاهان باید توانایی زیادی در جذب این فلزات و عناصر از خاک داشته باشند. بسیاری از گیاهان دارای چنین توانایی‌هایی هستند ولی تاکنون تعداد معدودی از آنها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. لذا مطالعات جهت شناسایی و انتخاب گیاهان مناسب دارای اهمیت خاصی می‌باشد (مولیگان و همکاران 2001).

بسیاری از گیاهان مانند قدومه کوهی<sup>1</sup> ممکن است دارای استراتژی ممانعت از ورود سرب باشند. این گیاهان روی و کادمیم را انباشت می‌کنند ولی از ورود سرب به داخل خود جلوگیری می‌کنند (وگل میکوس و همکاران 2005). بعضی از گونه‌های گیاهی می‌توانند سرب موجود در محلول خاک را در خود انباشت نمایند. گزارش شده است گیاه لوبیای سمی<sup>2</sup> و چند گونه از جنس *Brassica* مانند خردل هندی<sup>3</sup> می‌توانند مقدار زیادی سرب را در ریشه‌های خود انباشت نمایند (وانگ و همکاران 2001). ساهی و همکاران (2002) دریافتند که گیاه لوبیای سمی می‌تواند غلظت سرب خاک را تا 1500 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک تحمل نماید و تقریباً 40 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب را در ماده خشک اندام هوایی خود انباشت کند. اطلاعات حاصل از تجزیه

<sup>1</sup> *Thlaspi praecox* از تیره Brassicaceae می‌باشد.

<sup>2</sup> لوبیای سمی با نام علمی *Sesbania drummondii* گیاهی است

چند ساله درختی و یا درختچه‌ای از تیره Fabaceae

<sup>3</sup> *Brassica juncea*

<sup>4</sup> *Brassica oleracea* L.

<sup>5</sup> *Triticum aestivum*

<sup>6</sup> *Hordeum vulgare* L.

<sup>7</sup> *Cucumis sativus* L.

<sup>8</sup> *Tea sinensis* L.

وضعیت خاک)، کاشت با استفاده از ساقه ریشه‌دار شده گیاه و به تعداد 5 قطعه برای هر تیمار انجام شد و رطوبت گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی 33 تا 23/1 کیلو پاسکال حفظ شد. مرحله اول نمونه برداری 80 روز پس از کاشت انجام شد. بدین منظور کلیه بوته‌های هر گلدان کف‌بر و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. گیاهان به ساقه و برگ تفکیک و جهت تعیین وزن خشک به مدت 48 ساعت در حرارت  $70^{\circ}\text{C}$  در آون قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها توزین و برگ و ساقه به‌طور مجزا آسیاب شدند.

جهت تعیین غلظت سرب برگ و ساقه، ابتدا به 0/25 گرم از هر نمونه 10 میلی‌لیتر  $\text{HNO}_3$  (85 درصد) و 3 میلی‌لیتر  $\text{HClO}_4$  (60 درصد) اضافه و به مدت 6 ساعت نگهداری شدند. هضم به صورت تدریجی با افزایش حرارت از  $60^{\circ}\text{C}$  تا  $195^{\circ}\text{C}$  (حرارت  $60^{\circ}\text{C}$  به مدت سه ساعت، حرارت  $100^{\circ}\text{C}$  به مدت یک ساعت، حرارت  $120^{\circ}\text{C}$  به مدت یک ساعت، حرارت  $150^{\circ}\text{C}$  به مدت 30 دقیقه، حرارت  $175^{\circ}\text{C}$  به مدت 30 دقیقه و حرارت  $195^{\circ}\text{C}$  به مدت 2/5 ساعت) صورت گرفت. بعد از سرد شدن، 2/5 میلی‌لیتر  $\text{HCl}$  (20%) به نمونه‌ها اضافه و به مدت 30 دقیقه و در حرارت  $80^{\circ}\text{C}$  قرار داده شدند. سپس غلظت سرب در برگ و ساقه با دستگاه جذب اتمی تعیین شد (بارازانی و کاران 2004).

گیاه چمن شور دارای توانایی رشد مجدد پس از قطع اندام هوایی می‌باشد. بنابراین پس از برداشت اول، برداشت دوم 80 روز پس از برداشت اول و برداشت سوم 80 روز پس از برداشت دوم و پس از رشد مجدد گیاه انجام شد. پس از هر برداشت غلظت عناصر طبق جدول 1 تعیین شد. پس از برداشت سوم، ریشه گیاه نیز از خاک گلدان خارج و شستشو شد. ریشه به مدت 48 ساعت در درجه حرارت  $70^{\circ}\text{C}$  در آون خشک شد. نمونه‌های ریشه توزین و آسیاب شدند. درصد نیتروژن، غلظت فسفر و پتاسیم ریشه، برگ و ساقه اندازه‌گیری شد. نمونه‌های اندام هوایی مرحله یک، دو و

چمن شور (*Aeluropus littoralis*) گیاهی چند ساله از تیره گندمیان می‌باشد که به وسیله بذر و تولید ریشه نابجا در ساقه تکثیر می‌شود. این گیاه در خاک‌های شور می‌روید و قابلیت تحمل شوری، خشکی و شرایط سخت زیستگاه را دارا می‌باشد. این گیاه دارای سرعت رشد فوق‌العاده زیاد، تولید بیوماس زیاد، سیستم ریشه‌ای افشان و گسترده و برداشت آسان می‌باشد. همگی این خصوصیات از ویژگی‌های گیاهان مناسب برای گیاه پالایی به شمار می‌رود (مولیگان و همکاران 2001). اما تاکنون تحقیقی در مورد توانایی جذب فلزات سنگین به وسیله این گیاه صورت نگرفته است. در این تحقیق توانایی جذب و انتقال سرب به اندام هوایی و اثر آن بر تولید ماده خشک و جذب و انتقال برخی عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس و روی به وسیله گیاه چمن شور بررسی شد.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش برای بررسی توانایی گیاه چمن شور در جذب و استخراج سرب از خاک و انتقال آن به اندام هوایی، با شش تیمار شامل شاهد، 500، 1000، 2000، 4000 و 8000 میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک خشک با پنج تکرار انجام شد. خصوصیات خاک مورد استفاده در جدول 1 آمده است. برای آلوده‌سازی خاک، از خاک زراعی (مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر) از عمق 0-20 سانتیمتر نمونه برداری انجام شد. سپس خاک هوا خشک و از الک دو میلیمتری عبور داده شد. 10 کیلوگرم خاک برای هر تیمار توزین و غلظت‌های مختلف سرب به صورت نمک نترات سرب 99 درصد ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  (Merck)) به ازای هر کیلوگرم خاک محاسبه و با خاک مخلوط و در گلدان ریخته شد. تفاوت در نترات تیمارهای آلوده و شاهد از طریق کود اوره محاسبه و اعمال شد. پس از اعمال تیمارها، آبیاری از طریق زیر گلدانی انجام شد. بعد از 15 روز (جهت تعادل

و 74-14 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. کاهش رشد مشاهده شده در گیاه چمن شور ناشی از بازدارندگی سرب بر رشد این گیاه می‌باشد که در اکثر گیاهان انباشت‌کننده نیز مشاهده می‌شود. چنین نتایجی به‌وسیله جایاکوماری و همکاران (2007)، سینها و همکاران (2006)، گیلین و همکاران (2002) و دیاز آگوئیلا و همکاران (2001) نیز تأیید شده است. اثر بازدارندگی سرب بر رشد و تجمع ماده خشک یولاف<sup>2</sup> به‌وسیله کاستوری و همکاران (1998) نیز گزارش شد. همچنین کاهش ارتفاع و ممانعت از رشد در غلظت‌های زیاد سرب به‌وسیله تومار و همکاران (2000) و مونزوروگلو و جکیل (2002) گزارش شد. گزارش‌هایی در مورد اثر بازدارندگی سرب روی رشد غلات و دیگر گیاهان به‌وسیله کارلسون و همکاران (1976) و موکرچی و مایترا (1977) ارائه شد.

سرب به طور مستقیم بر طویل شدن سلول‌ها از طریق تاثیر بر آنزیم‌های دیواره سلولی و  $ATP_{ase}$  موجود در پلاسمالما موثر می‌باشد. این عنصر روی فتوسنتز و تنفس گیاه، از طریق تاثیر بر مکانیزم‌های انتقال الکترون نقش بازدارندگی ایفا می‌کند. بنابراین سرب با کاهش و ممانعت از فتوسنتز و تنفس گیاه سبب کاهش تولید ماده خشک و رشد گیاه می‌شود. سرب حتی به مقدار کم (1 میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز می‌تواند روی تنفس میتوکندریایی سلول موثر باشد. تحمل به سرب در گیاهان آوندی گزارش شده است که به نظر می‌رسد با اختلال در ویژگی‌های غشایی مانند ترکیب‌های دیواره سلولی به وسیله اسید پکتیک و تشکیل پیرواورتوفسفات‌های غیرفعال سرب در ارتباط باشد. کادمیم و سرب رشد و تغذیه معدنی *Fagus sylvatica* را تغییر داد (بریکل و کاهل 1992). کاهش بیوماس ناشی از افزایش غلظت سرب می‌تواند در اثر کاهش فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن باشد (سینها و همکاران 2006).

سه با یکدیگر ترکیب و غلظت آهن، منیزیم، مس، منگنز و روی اندام هوایی گیاه تعیین شد. درصد نیتروژن با روش کجلدال اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر بافت گیاهی به روش اکسیداسیون مرطوب بافت گیاهی با اسیدهای اکسیدکننده اسید سولفوریک، اسید نیتریک و اسید هیپوکلریدریک (مخلوط سه اسید) تعیین شد. اندازه‌گیری پتاسیم، آهن، منیزیم، مس، منگنز و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام شد (بارازانی و همکاران 2004).

داده‌های مربوط به غلظت سرب در سه مرحله برداشت، با آزمایش اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه شدند. داده‌های مربوط به مجموع سه مرحله برداشت نیز در قالب طرح کاملاً تصادفی آنالیز تجزیه واریانس شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD محافظت شده<sup>1</sup> در سطح احتمال 5 درصد انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

## نتایج و بحث

### ماده خشک

وزن خشک برگ و ساقه تحت تاثیر غلظت‌های مختلف سرب قرار گرفت ولی تحت تاثیر زمان‌های مختلف برداشت قرار نگرفت. اثرمتقابل غلظت‌های مختلف سرب و زمان‌های مختلف برداشت تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه و برگ نداشت (داده‌ها ارائه نشده است) ( $p \leq 0/05$ ). با افزایش غلظت سرب خاک، تولید ماده خشک و رشد گیاه کاهش یافت به طوری که در تیمار 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب خاک کمترین میزان ماده خشک برگ و ساقه تولید شد (شکل‌های 1 و 2). همچنین در مراحل مختلف برداشت، تولید ماده خشک برگ و ساقه تغییری نکرد (داده‌ها ارائه نشده است) ( $p \leq 0/05$ ). در اثر افزایش غلظت سرب خاک، وزن خشک برگ و ساقه به ترتیب 60-17 درصد

<sup>2</sup> *Avena sativa*

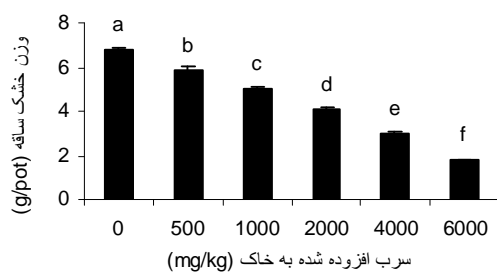
<sup>1</sup> Protected

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

منبع	روش	مقدار	ویژگی‌های خاک
ISRIC (1986)	روش هیدرومتری	سیلنتی رسی	بافت خاک
اسپارک و همکاران (1996)	عصاره کل اشباع	7/6	اسیدیته خاک
اسپارک و همکاران (1996)	عصاره کل اشباع	3/02 دسی زمینس بر متر	هدایت الکتریکی
نلسون و سامرز (1982)	روش والکی بلاک	0/76 درصد	کربن آلی
اسپارک و همکاران (1996)	استات آمونیوم یک مولار	82/4 میلی‌گرم بر کیلوگرم	سدیم تبادلی
اسپارک و همکاران (1996)	عصاره کل اشباع-روش تیتراسیون	337/3 میلی‌گرم بر کیلوگرم	کلر
اولسن و همکاران (1953)	روش اولسن	17 میلی‌گرم بر کیلوگرم	فسفر قابل جذب
اسپارک و همکاران (1996)	استات آمونیوم یک مولار	213/75 میلی‌گرم بر کیلوگرم	پتاسیم قابل جذب
اسپارک و همکاران (1996)	روش DTPA	5/54 میلی‌گرم بر کیلوگرم	آهن قابل جذب
اسپارک و همکاران (1996)	روش DTPA	47/8 میلی‌گرم بر کیلوگرم	مس قابل جذب
اسپارک و همکاران (1996)	روش DTPA	490 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک	روی قابل جذب
اسپارک و همکاران (1996)	استات آمونیوم یک مولار	1992/ میلی‌گرم بر کیلوگرم	منیزیم تبادلی
اسپارک و همکاران (1996)	روش DTPA	162/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم	منگنز قابل جذب
بارازانی و همکاران (2003)	جذب اتمی	7/6 میلی‌گرم بر کیلوگرم	سرب کل

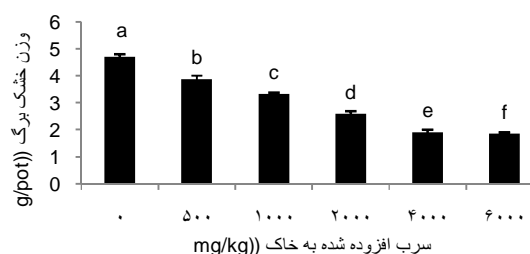
## تجمع سرب

خاک، تجمع سرب در ساقه نیز افزایش یافت. بیشترین میزان افزایش در غلظت 4000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک و در مرحله اول برداشت وجود داشت (شکل 4) اما با افزایش غلظت سرب خاک از 4000 میلی‌گرم بر کیلوگرم به 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم غلظت سرب در ساقه کاهش یافت. همچنین غلظت سرب برگ بیش از غلظت آن در ساقه بود که نشان می‌دهد گیاه تمایل بیشتری به انباشت سرب در برگ داشت (شکل 3 و شکل 4).



شکل 2- اثر غلظت‌های مختلف سرب روی وزن خشک ساقه. حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار هستند (LSD;  $p \leq 0/05$ ).

غلظت سرب برگ و ساقه تحت تاثیر غلظت‌های مختلف سرب خاک، مراحل مختلف برداشت و اثر متقابل این دو عامل قرار گرفت (داده‌ها نشان داده نشدند) ( $p \leq 0/05$ ). بیشترین میزان تجمع سرب در برگ در غلظت 4000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک در مرحله سوم به میزان 151/4 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه بود (شکل 3). رابطه بین غلظت سرب خاک و غلظت سرب ساقه نشان داد که با افزایش غلظت سرب



شکل 1- اثر غلظت‌های مختلف سرب روی وزن خشک برگ. حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار هستند (LSD;  $p \leq 0/05$ ).

درحالیکه در تک لپه‌ای‌ها این عنصر به اندام هوایی منتقل می‌شود. انتقال، توزیع و تجمع فلزات سنگین در بخش‌های مختلف گیاهان بستگی به مرحله رشد آنها دارد (زو و زو 1993). استفانوف و همکاران (1995) تجمع سرب را در برگ‌های اسفناج<sup>2</sup> گزارش کردند. اما، هانگ و کانینگهام (1996) تجمع سرب را در اندام‌های زایشی گیاهان مختلف گزارش کردند.

#### نیترژن برگ، ساقه و ریشه

غلظت‌های مختلف سرب موجب تغییر درصد نیترژن برگ، ساقه و ریشه شد (داده‌ها ارائه نشده است) ( $p \leq 0/05$ ). افزایش غلظت سرب خاک، درصد نیترژن برگ گیاه را افزایش داد. بیشترین غلظت نیترژن برگ در غلظت 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب بود (شکل 6). بیشترین درصد نیترژن ساقه در تیمارهای شاهد و 500 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. با افزایش غلظت سرب از 500 میلی‌گرم بر کیلوگرم، درصد نیترژن ساقه کاهش یافت (شکل 6). حداکثر غلظت نیترژن ریشه نیز غلظت 500 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب وجود داشت، که با افزایش آلودگی، غلظت نیترژن ریشه کاهش یافت (شکل 6).

نتایج جایاکوماری و همکاران (2007) نشان داد که با افزایش غلظت کبالت از 50 به 250 میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت نیترژن تریچه<sup>3</sup> کاهش یافت. نتایج رادر و همکاران (1983) نیز نشان داد که با افزایش غلظت کادمیم و سرب غلظت نیترژن گیاه شبدر سفید<sup>4</sup> کاهش یافت. گومز و همکاران (1985) تاکید نمودند که فلزات سنگین سبب کاهش جذب نیترات به وسیله ریشه گیاه سورگوم<sup>5</sup>، ترکیب شدن نیترژن با ترکیبات آلی و

میزان تجمع سرب ریشه با افزایش سرب خاک افزایش یافت بطوریکه در تیمار 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم حداکثر غلظت سرب (155/66 میلی‌گرم بر کیلوگرم) وجود داشت (شکل 5) با افزایش غلظت سرب خاک، جذب و انتقال سرب از ریشه به اندام هوایی افزایش یافت. بیشترین غلظت سرب (531 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک اندام هوایی) در تیمار 4000 میلی‌گرم بر کیلوگرم وجود داشت اما در تیمار 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم انتقال سرب به اندام هوایی کاهش یافت (شکل 5). به‌طور کلی گیاه تمایل بیشتری به انتقال و ذخیره سرب در اندام هوایی داشت و همانطور که شکل 5 نشان می‌دهد در تمامی تیمارها غلظت سرب اندام هوایی بیش از ریشه بود. برای مثال در تیمار 4000 میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت سرب اندام هوایی 531 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و غلظت سرب ریشه 144/82 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک بود. گیاهانی که در غلظت 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک رشد کردند، علائمی مانند خشکیدگی و ریزش برگ را نشان دادند. نتایج چینو (1981) نیز نشان داد که غلظت 2000-50 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در اندام هوایی و 3000-300 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در ریشه گیاهان می‌تواند سمی محسوب شود. حلالیت بی‌نهایت پایین سرب مهمترین مانع در استخراج و گیاه‌پالایی این عنصر می‌باشد (هانگ و کانینگهام 1996). افزایش جذب سرب در قسمت‌های مختلف گیاه می‌تواند به علت رقابت مستقیم بین سرب و عناصر غذایی دیگر برای نقاط یکسان جذب روی ریشه باشد. کیم و همکاران (2002) نشان دادند، در برنج<sup>1</sup> سرب با کاتیون‌های دو ظرفیتی برای انتقال به ریشه رقابت می‌کند. هانگ و کانینگهام (1996) گزارش کردند که سرب در گیاهان دولپه در ریشه ذخیره می‌شود،

<sup>2</sup> *Spinacea oleracea* L.

<sup>3</sup> *Rhaphanus sativa*

<sup>4</sup> *Trifolium repense*

<sup>5</sup> *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

<sup>1</sup> *Oryza sativa*

گیلین و همکاران (2002) و دیاز آگوئیلا و همکاران (2001) نشان داد که افزایش غلظت سرب موجب کاهش غلظت فسفر اندام هوایی و سنبله گندم شد. آنها پیشنهاد کردند که سرب با فسفر ترکیبات غیرقابل حلی را تولید می‌کند

#### غلظت پتاسیم برگ، ساقه و ریشه

غلظت‌های مختلف سرب روی میزان پتاسیم برگ، ساقه و ریشه اثر داشت (داده‌ها ارائه نشده است) ( $p \leq 0/05$ ). بیشترین غلظت پتاسیم برگ، ساقه و ریشه به ترتیب در تیمارهای 1000 میلی‌گرم بر کیلوگرم، شاهد و 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم وجود داشت (شکل 8). افزایش غلظت سرب خاک موجب افزایش جذب پتاسیم به وسیله ریشه شد. به طوری که در تیمار 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم حداکثر جذب پتاسیم به وسیله ریشه وجود داشت (شکل 8). بررسی منابع نشان داد اطلاعات زیادی در مورد اثر سرب روی جذب پتاسیم به وسیله گیاهان وجود ندارد. انا نتایج مربوط به اثر کادمیم نشان داد که کادمیم سبب کاهش جذب آهن (هیگیری 1973)، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی، مس و سدیم در ذرت شد (ناروال و همکاران 1993). محققین دیگر گزارش نمودند که جذب پتاسیم به وسیله کادمیم کاهش می‌یابد، اما جذب فسفر تغییری نمی‌کند (نوسیتو و همکاران 2002). افزایش جذب پتاسیم به وسیله سیکو و همکاران (2004) گزارش شد.

انتقال آن به برگ‌ها شد که نتایج این آزمایش با نتایج ما مطابقت دارد.

#### غلظت فسفر برگ، ساقه و ریشه

غلظت‌های مختلف سرب در خاک موجب اختلاف در غلظت فسفر برگ، ساقه و ریشه شد (داده‌ها ارائه نشده است) ( $p \leq 0/05$ ). حداکثر غلظت فسفر ریشه در خاک آلوده به 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب وجود داشت (شکل 7). با افزایش آلودگی خاک از 500 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب، غلظت فسفر ساقه کاهش یافت. همچنین با اضافه کردن سرب به خاک غلظت فسفر برگ نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین فسفر برگ در تیمار 1000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب وجود داشت (شکل 7). نتایج سین‌ها و همکاران (2006) نشان داد، با افزایش غلظت سرب در محلول غذایی، غلظت فسفر بخش‌های مختلف گیاه کلم افزایش یافت. همچنین با افزایش غلظت سرب، تجمع فسفر اندام هوایی و ریشه تریچه نسبت به شاهد افزایش یافت (گوپال و ریزوی 2008)، با نتایج حاصل از این تحقیق نیز مطابقت دارد. غلظت‌های مختلف سرب روی محتوای فسفر ارقام مختلف کاهو اثری نداشت (میچالسکا و آسپ 2001). به نظر می‌رسد اثر این عنصر روی تجمع فسفر با توجه به گونه گیاه متفاوت است. نتایج خان و خان (1983) نشان داد که سرب سبب کاهش غلظت فسفر در ریشه و اندام هوایی گوجه فرنگی<sup>1</sup> و بادمجان<sup>2</sup> شد. درحالی‌که لارسن و همکاران (1998) گزارش کردند که سرب درکلزا<sup>3</sup> سبب افزایش غلظت فسفر ریشه و اندام هوایی شد.

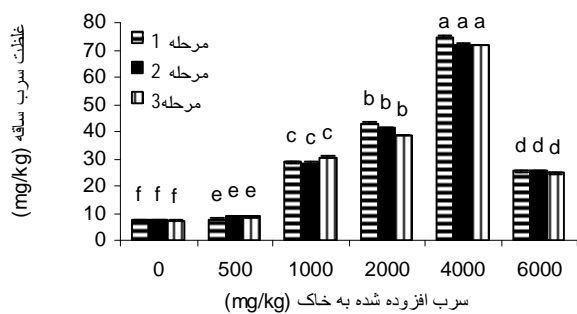
نتایج متناقضی از اثر سرب روی جذب و تجمع فسفر در گیاهان بدست آمده است. در این نتایج، دامنه‌ای از کاهش، افزایش و عدم اثر این عنصر روی غلظت فسفر در گیاهان مختلف مشاهده شده است. نتایج

<sup>1</sup> *Lycopersinum esculentum* L.

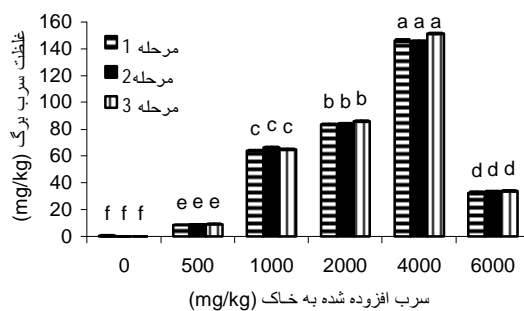
<sup>2</sup> *Solanum melongena* L.

<sup>3</sup> *Brassica napus* L.

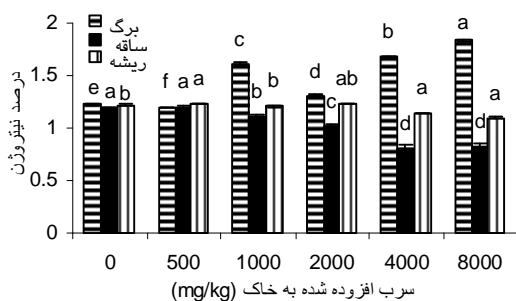




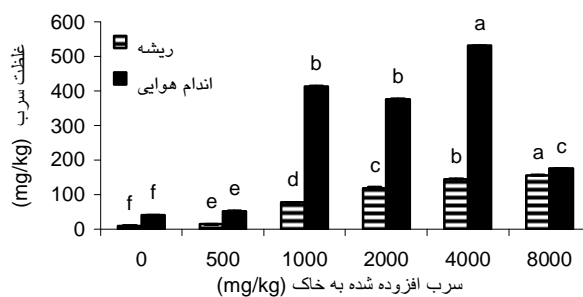
شکل 4- اثر غلظت‌های مختلف سرب و مراحل مختلف برداشت روی غلظت سرب ساقه. حروف متفاوت در ستون‌های مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار هستند (LSD;  $p \leq 0/05$ ).



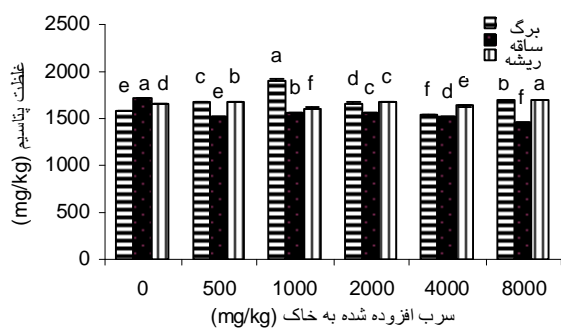
شکل 3- اثر غلظت‌های مختلف سرب و مراحل مختلف برداشت روی غلظت سرب برگ. حروف متفاوت در ستون‌های مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار هستند (LSD;  $p \leq 0/05$ ).



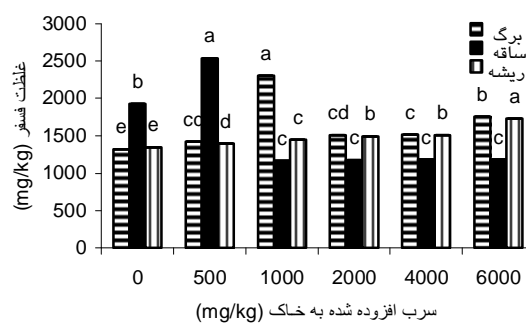
شکل 6- اثر غلظت‌های مختلف سرب روی نیتروژن برگ، ساقه و ریشه. حروف متفاوت در ستون‌های مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار هستند (LSD;  $p \leq 0/05$ ).



شکل 5- اثر غلظت‌های مختلف سرب روی غلظت سرب ریشه و اندام هوایی. حروف متفاوت در ستون‌های مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار هستند (LSD;  $p \leq 0/05$ ).



شکل 8- اثر غلظت‌های مختلف سرب روی پتاسیم برگ، ساقه و ریشه. حروف متفاوت در ستون‌های مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار هستند (LSD;  $p \leq 0/05$ ).



شکل 7- اثر غلظت‌های مختلف سرب روی فسفر برگ، ساقه و ریشه. حروف متفاوت در ستون‌های مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار هستند (LSD;  $p \leq 0/05$ ).

### غلظت آهن اندام هوایی

افزایش غلظت سرب موجب تغییر غلظت آهن در اندام هوایی گیاه شد. بیشترین غلظت آهن در غلظت 1000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک وجود داشت. افزایش سرب بالاتر از 1000 میلی‌گرم بر کیلوگرم موجب کاهش غلظت آهن شد (جدول 2). نتایج ما مشابه نتایج گیبیلین و همکاران (2002) بود که نشان دادند با افزایش غلظت سرب، تجمع آهن در ماش سبز کاهش یافت. همچنین با افزایش غلظت سرب میزان آهن در بخش‌های مختلف گیاه کلم به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (سینها و همکاران 2006). غلظت آهن اندام هوایی تربچه با افزایش غلظت سرب کاهش یافت، درحالی‌که غلظت آهن ریشه افزایش نشان داد (گوپال و ریزوی 2008). اما در گیاه نخود فرنگی<sup>1</sup>، با افزایش غلظت سرب، تغییری در میزان تجمع مس و آهن مشاهده نشد (پایووک 2002). نتایج پاگ و همکاران (2002) نشان داد که محتوای آهن اندام هوایی چای با افزایش غلظت سرب خاک افزایش یافت.

### غلظت منیزیم اندام هوایی

نتایج نشان داد که سرب موجب تغییر غلظت منیزیم اندام هوایی گیاه شد (داده‌ها ارائه نشده است). در این بررسی با افزایش غلظت سرب غلظت منیزیم اندام هوایی گیاه 24 درصد افزایش یافت (جدول 2). مطالعات زیادی در مورد اثرمتقابل سرب و منیزیم در گیاهان وجود ندارد. در برخی از آزمایشات اثر کادمیم روی جذب منیزیم بررسی شد. در این بررسی‌ها میچالسکا و آسپ (2001) نشان دادند که غلظت‌های مختلف سرب روی محتوای منیزیم، منگنز و آهن در ارقام مختلف کاهو<sup>2</sup> اثری نداشت. این نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کادمیم خاک محتوای منیزیم ریشه

یولاف و نرت افزایش یافت، هرچندکه غلظت آن در دانه و کاه یولاف در غلظت‌های بیش از 30 میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم کاهش یافت. اما غلظت منیزیم اندام هوایی نرت کاهش نشان داد (سیکو و همکاران 2005).

### غلظت منگنز اندام هوایی

غلظت منگنز اندام هوایی تحت تاثیر غلظت‌های مختلف سرب خاک قرار گرفت (داده‌ها ارائه نشده است). با افزایش غلظت سرب، غلظت منگنز اندام هوایی گیاه افزایش یافت. بیشترین میزان منگنز در تیمار 2000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک بود. افزایش غلظت سرب به بیش از این مقدار موجب کاهش جذب منگنز به‌وسیله گیاه شد (جدول 2). نتایج سینها و همکاران (2006) نیز نشان داد افزایش غلظت سرب تجمع منگنز را در ریشه و اندام هوایی گیاه کاهش داد اما چه و همکاران (2000) نشان دادند که با افزایش غلظت سرب محتوای منگنز اندام هوایی خیار افزایش یافت. جایاکوماری و همکاران (2007) گزارش کردند که با افزایش غلظت کبالت از 50 به 250 میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت منگنز تربچه کاهش یافت.

### غلظت مس اندام هوایی

سرب روی تجمع مس در گیاه اثر گذاشت (داده‌ها ارائه نشده است). غلظت مس اندام هوایی با افزایش سرب خاک افزایش یافت. بیشترین غلظت مس در تیمار 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک وجود داشت (جدول 2). نتایج پاگ و همکاران (2002) نیز نشان داد که محتوای مس اندام هوایی گیاه چای با افزایش محتوای سرب خاک افزایش یافت. اما نتایج سینها و همکاران (2006) نشان داد که افزایش غلظت سرب موجب کاهش غلظت مس در بخش‌های برگ، ریشه و ساقه کلم شد.

<sup>1</sup> *Pisum sativum*

<sup>2</sup> *Lactuca sativa*

جدول 2- اثر غلظت‌های مختلف سرب بر غلظت آهن، منیزیم، منگنز، مس و روی اندام هوایی.

سرب (mg/kg)	آهن	منیزیم	منگنز (mg/kg)	مس	روی
شاهد	901/6 <sup>a</sup>	1132/21 <sup>d</sup>	103/1 <sup>e</sup>	48/74 <sup>e</sup>	611 <sup>a</sup>
500	746 <sup>b</sup>	1442/6 <sup>c</sup>	123/92 <sup>c</sup>	51/86 <sup>e</sup>	515/8 <sup>b</sup>
1000	721/4 <sup>c</sup>	1465/8 <sup>b</sup>	136/2 <sup>b</sup>	59/47 <sup>d</sup>	403/8 <sup>c</sup>
2000	609/8 <sup>d</sup>	1512/2 <sup>a</sup>	145/8 <sup>a</sup>	76/03 <sup>c</sup>	377/6 <sup>d</sup>
4000	418/4 <sup>e</sup>	1509/4 <sup>a</sup>	125 <sup>c</sup>	74/76 <sup>b</sup>	356/6 <sup>d</sup>
8000	415/6 <sup>e</sup>	1508 <sup>a</sup>	111/56 <sup>d</sup>	97/06 <sup>a</sup>	281 <sup>e</sup>

حروف لاتین متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار هستند ( $p \leq 0/05$ ; LSD).

### غلظت روی اندام هوایی

روش‌های آزمایش مورد استفاده که شامل مطالعات هیدروپونیک و آزمایشات مزرعه‌ای و گلدانی می‌باشند، روش‌های آزمایشی غیریکنواختی هستند، که اطلاعات متناقضی را به ما می‌دهند. این موضوع مقایسه نتایج این آزمایشات را با یکدیگر مشکل می‌سازد. در این آزمایش سرب اثر منفی روی رشد و تولید ماده خشک گیاه داشت. با افزایش غلظت سرب، تجمع سرب در اندام‌های گیاه افزایش یافت، اما در غلظت 8000 میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب در خاک تجمع سرب در گیاه کاهش یافت. گیاه چمن شور توانایی زیادی در انتقال و ذخیره‌سازی سرب در اندام هوایی داشت که نشان می‌دهد که از این گیاه می‌توان به عنوان یک گیاه انباشتگر سرب جهت گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب استفاده نمود.

افزایش غلظت سرب خاک روی غلظت روی اندام هوایی گیاه تاثیر گذاشت (داده‌ها ارائه نشده است). بیشترین میزان روی در تیمار شاهد وجود داشت و افزایش غلظت سرب، موجب کاهش غلظت روی در اندام هوایی گیاه شد (جدول 2). نتایج بدست آمده در مورد اثر سرب روی غلظت روی اندام هوایی متناقض می‌باشد. مشاهدات چه و همکاران (2000) نشان داد که در برگ خیار غلظت روی کاهش یافت. تجمع روی در ریشه و اندام هوایی گیاه کلم با افزایش غلظت سرب افزایش یافت (تومار و همکاران 2000). نتایج بررسی‌ها نشان داد که روی بیشتر در ریشه گیاهان انباشت می‌شود (باروکا و همکاران 1997).

### نتیجه‌گیری کلی

فلزات سنگین با جذب عناصر غذایی اثرمتقابل دارند، بدین ترتیب این فلزات تاثیر مهمی روی جذب عناصر غذایی به وسیله گیاه دارند. نتایج نشان داد که ماهیت این اثرمتقابل می‌تواند وابسته به نوع گیاه، غلظت یون‌ها، خصوصیات خاک و روش آزمایش باشد.

### سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد قائمشهر به انجام رسیده است. بدینوسیله از معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر قدردانی می‌شود.

## منابع مورد استفاده

- Ardakani MR, Teimuri S, Rezvani M, Fathollahi H, Khorasani A, Rejali F, Raza A and Zafarian F, 2009. Evaluation of mycorrhizae symbiosis efficiency with barley (*Hordeum vulgare* L.) through  $^{32}\text{P}$  uptake under soils contaminated with heavy metals. *International Journal of Botany* 5: 236-243.
- Barazani O, Dudai N, Khadka UR and Golan-Goldhirsh A, 2004. Cadmium accumulation in *Allium schoenoprasum* L. grown in an aqueous medium. *Chemosphere* 57: 1213-1218.
- Boruvka L, Kozak J and Kristoufkova S, 1997. Heavy metals accumulation in plants grown in heavily polluted soils. *Folia Microbiologica* 42: 524-526.
- Breckle, SW and Kahle H, 1992. Effects of toxic heavy metals (Cd, Pb) on growth and mineral nutrition of *Fagus sylvatica*. *Vegetado* 101: 43-53.
- Carlson RW, Bazzaz FA, Stukel JJ and Wedding JB, 1976. Physiological effects, wind re-entrainment and rain wash of lead aerosol particulates deposited on plant leaves. *Environmental Science and Technology* 10: 1139-1142.
- Chino M, 1981. Heavy Metal Pollution in Soils of Japan. Japan Science Press, Tokyo.
- Ciecko Z, Kalembasa S, Wyszowski M and Rolka E, 2004. Effect of soil contamination by cadmium on potassium uptake by plants. *Polish Journal of Environmental Studies* 13: 333-337.
- Ciecko Z, Kalembasa S, Wyszowski M and Rolka E, 2005. The Magnesium content in plants in soil contaminated with cadmium. *Polish Journal of Environmental Studies* 14: 365-370.
- Cseh E, Fodor F, Varga A and Zaray G, 2000. Effect of lead treatment on the distribution of essential elements in cucumber. *Journal of Plant Nutrition* 23: 1095-1105.
- Diaz-Aguilar I, Larque-Saavedra MV, Alcantar-Gonzalez G, Carrillo-Gonzalez R and Vazquez-Alarcon A, 2001. Alteration of some physiological processes in wheat by lead additions. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* 17: 79-90.
- Forstner U, 1995. Land contamination by metals: global scope and magnitude of problem. Pp. 253-285. In: Allen HE, Huang CP, Bailey GW, Bowers ER (eds.), *Metal Speciation and Contamination of Soil*. CRC Press, Boca Raton.
- Geebelen W, Vangronsveld J, Adriano DC, Poucke LCV and Clijsters H, 2002. Effect of Pb-EDTA and EDTA in oxidative stress reactions and mineral uptake in *Phaseolus vulgaris*. *Physiology Plant* 115: 377-384.
- Gomes MMS, Cambrai J and Santsna R, 1985. Aluminium effects on uptake and translocation of (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). *Journal of Plant Nutrition* 8: 457-465.
- Gopal R and Rizvi AH, 2008. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. *Chemosphere* 70: 1539-1544.
- Haghiri F, 1973. Cadmium uptake by plants. *Journal of Environmental Quality* 2: 93-96.
- Huang JWS and Cunningham D, 1996. Lead phytoextraction: Species variation in lead uptake and translocation. *New Phytol.* 134:75-84.
- ISRIC. 1986. Procedure for Soil Analysis, Wageningen Agriculture University. Netherlands.
- Jayakumari K, Jaleel CA and Vijayarengan P, 2007. Changes in growth, biochemical constituents, and antioxidant potentials in radish (*Raphanus sativus* L.) under Cobalt stress. *Turkish Journal of Biology* 31: 127-136.
- Kastori R, Plesnicar M, Sakac Z, Pankovic D and Arsenijevic-Maksimovic I, 1998. Effect of lead excess on sunflower growth and photosynthesis. *Journal of Plant Nutrition* 21: 75-85.
- Khan S and Khan NN, 1983. Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersinum esculentum*) and egg-plant (*Solanum melongena*). *Plant and Soil* 74: 387-394.

- Kim YY, Yang YY and Lee Y, 2002. Pb and Cd uptake in rice roots. *Physiology Plant* 116: 368–372.
- Knasmuller S, Gottmann E, Steinkellner H, Fomin A, Pickl C, Paschke A, God R and Kundi M, 1998. Detection of genotoxic effects of heavy metal contaminated soils with plant bioassay. *Mutate Research* 420: 37–48.
- Larsson H, Bornman JF and Asp H, 1998. Influence of UV-B radiation and Cd on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. *Journal of Experimental Botany* 323: 1031–1039.
- Michalska M and Asp H, 2001. Influence of Lead and Cadmium on growth, heavy metal uptake and nutrient concentration on three lettuce cultivars grown in hydroponic culture. *Communication in Soil Science and Plant Analyses* 32: 571–583.
- Mukherji S and Maitra P, 1977. Growth and metabolism of germinating rice (*Oryza sativa* L.) seeds as influenced by toxic concentrations of lead. *Z. Pflanzenphysiology* 81: 26–33.
- Mulligan CN, Young RN and Gibbs BF, 2001. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology* 60: 193–207.
- Munzuroglu O and Geckil H, 2002. Effects of metals on seed germination, root elongation and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. *Achieves of Environmental Contamination Toxicology* 23: 203–213.
- NandaKumar PBA, Dushenkov V, Motto H and Raskin I, 1995. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science and Technology* 29: 1232–1238.
- Narwal RP, Singh M and Singh M, 1993. Effect of cadmium and zinc application on quality of maize. *Indian Journal of Plant Physiology* 36: 170–173.
- Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. Pp. 539–579. In: Page AL. (ed.). *Methods of Soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI. USA.
- Nocito FF, Pirovano L, Cocucci M and Sacchi GA, 2002. Cadmium-induced sulphate uptake in maize roots. *Plant Physiology* 129: 1872–1879.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean LA, 1953. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. *USDA Circ.*
- Paivoke AEA, 2002. Soil lead alters phytase activity and mineral nutrient balance of *Pisum sativum*. *Environmental and Experimental Botany* 48: 61–73.
- Pilon-Smits E, 2005. Phytoremediation, annual review. *Plant Biology* 56: 15–39.
- Pivetz B, 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. *Ground Water Issue*. United States Environmental Protection Agency. Oklahoma. USA.
- Pugh RE, Dick DG and Fredeen AL, 2002. Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe and Cu) contents of plant foliage near the Anvil Range lead/zinc mine, Faro. *Yukon Territory Ecotoxicol. Safety* 55: 273–279.
- Rother JA, Millbank JW and Thronton I, 1983. Nitrogen fixation by white clover (*Trifolium repens*) in grassland on soils contaminated with Cd, Pb and Zn. *Soil Science*. 34: 127–136.
- Sahi SV, Bryant NL, Sharma NC and Singh SR, 2002. Characterization of a lead hyperaccumulators, *Sesbania drummondii*. *Environmental Science and Technology* 36: 4676–4680.
- Sinha P, Dube BK, Sriastava P and Chatterjee C, 2006. Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. *Chemosphere* 65: 651–656.
- Sparks DL, Page AL, Helmeke PA, Leoppert RA, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT and Summer ME, 1996. *Method of Soil Analysis*. SSSA. Madison, WI. USA.
- Stefanov KL, Pandev SD, Seizora KA, Tyankova LA and Popov SS, 1995. Effect of lead on the lipid metabolism in spinach leaves and thylakoid membranes. *Biology Plant* 37: 251–256.

- Tomar M, Kaur I, Neelu A and Bhatnagar K, 2000. Effect of enhanced lead in soil on growth and development of *Vigna radiate* (L.) Wilczek. *Indian Journal of Plant Physiology* 5: 13–18.
- Vogel-Mikus K, Drobne D and Regvar M, 2005. Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycress *Thlaspi praecox* Wulf. (Brassicaceae) from the vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia. *Environmental Pollution* 133: 233-242.
- Wong JW, Lai CKM, Su DS and Fang M, 2001. Availability of heavy metals for *Brassica chinensis* grown in an acidic loamy soil amended with domestic and industrial sewage sludge. *Water, Air and Soil Pollution* 128: 339-353.
- Xu HN and Xu JL, 1993. The effect of wheat by heavy metal pollution in soil ecosystem. *China Environmental Science* 13: 367–371.