علـوم محـیـطی سال نهم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۱
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.9, No.4, Summer 2012

۱۳-۲۸

بررسی تغییرات غلظت فلزات سنگین (سرب، روی، منگنز و آهن) در خاک و شاخساره شاهی(*Lepidium sativum* L.) تحت تیمارهای آلی و معدنی

منصوره کریمی[۱]*، غلامرضا ثواقبی[۲] و بابک متشرع زاده[۳]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه‌تهران. کرج. ایران

۲-استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه‌تهران. کرج. ایران

۳-استادیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه‌تهران. کرج. ایران

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۸

چکیده

کشاورزی متمرکز و فعالیت‌های صنعتی در بسیاری از مناطق، کیفیت خاک را به گونه‌ای فزاینده کاهش داده‌است. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر اصلاح خاک‌های آلوده اطراف معدن سرب و روی استان زنجان اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل دو اصلاح کننده آلی: باگاس‌نیشکر و سبوس‌برنج در سه سطح ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵ درصد و سه اصلاح‌کننده معدنی: زئولیت در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی، خاک فسفات در سه سطح ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی، سوپرفسفات‌تریپل در سه سطح ۰/۰۰۷۵، ۰/۰۱۵ و ۰/۳ درصد و به همراه تیمار شاهد بودند. بعد از طی سه ماه دوره انکوباسیون، غلظت فلزات سنگین(سرب، روی، آهن و منگنز) در خاک اندازه‌گیری شد. سپس در گلدان‌ها گیاه شاهی کشت و پس از طی دوره رویشی و برداشت آن، غلظت فلزات سنگین در شاخساره گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها(ANOVA) نشان داد که اثر تیمارها بر کاهش غلظت آهن، منگنز، سرب و روی در خاک و اندام هوایی شاهی معنی‌دار بود. کمترین غلظت سرب (۲۸/۱۷mg/kg) در تیمار سطح اول سبوس برنج و بیشترین درصد کاهش غلظت روی در اندام هوایی شاهی(۳۴٪)در سطح دوم تیمار سبوس برنج مشاهده شد. با توجه به تأثیر تیمارهای آلی بر تثبیت فلزات سنگین در خاک و کاهش جذب آن‌ها توسط گیاه، کاربرد مواد آلی در خاک‌های آلوده می‌تواند راه‌کار مفیدی در کنترل انتقال آلاینده‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، اصلاح کننده خاک، باگاس نیشکر، خاک فسفات.

The Investigation of Heavy Metals (Lead, Zinc, Manganese and Iron) Concentration Variation in Soil and *Lepidium sativum* L. Shoots under Organic and Mineral Treatments

Mansoureh Karimi,[1] Gholamreza Savghebe[2] and Babak Motesharezadeh [3]*

1-Student of Master of Science, MSc. Student soil science, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3-Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Abstract

Intensive agriculture and industrial activities in several parts of Iran have reduced soil quality. This research was conducted to investigate the effect of organic and mineral amendments on polluted soil around the Angouran zinc and lead mines. The experimental treatments included two organic treatments: bagasse and rice husk at three levels, namely 1.25%, 2.5% and 5%, and three minerals treatments as follows: zeolite in three levels (5%, 10% and 15%); phosphate rock at three rates (1%, 3% and 5%); and triple superphosphate in three ratios (0.0075%, 0.015% and 0.3%) accompanied with the control treatment. After three months incubation, the heavy metal (lead, zinc, iron, manganese) concentrations were measured. After that, *garden cress* was planted in pots and, after completing its vegetative period and harvesting it, heavy metals in the *garden cress* shoots were measured. The results of data Analysis of Variance (ANOVA) showed that the treatments had a significant effect on the reduction of heavy metal concentration in the soil and in *garden cress* shoots. The least lead concentration (28.17 mg kg^{-1}) was observed in the first level of rice husk and the highest reduction percentage of zinc concentration (34%) in *garden cress* shoots was found in the second level of rice husk. According to the effect of organic treatments on heavy metals fixation in soil and reduction of plant uptake, usage of organic matter in polluted soils can be a useful way to control the transfer of pollutants.

Keywords: Soil pollution, Soil amendment, *Garden cress*, Bagasse, Phosphate rock.

* Corresponding author. *E-mail Address*: mansourehkarimi@yahoo.com

مقدمه

توسعه صنعت و کشاورزی به رهاسازی تشدیدی فلزات در محیط‌زیست انجامیده و مشکلات جدی برای محیط‌زیست و سلامتی بشر ایجاد کرده‌است. وجود فلزات سنگین در محیط زیست نتیجه فعالیت‌های طبیعی، خاکسازی (پدوژنیک) و انسان‌ساخت (آنتروپوژنیک) است (Khan *et al*., 2007). خاک و آب ممکن است در اثر پدیده‌های طبیعی مانند نزدیکی به یک معدن، مواد مادری یا بستر آلوده به انواع فلزات سنگین آلوده باشند (Glick, 2003). از انواع آلاینده‌ها می‌توان به فلزات‌سنگین، ترکیبات رادیواکتیوی، ترکیبات آلی و غیر آلی اشاره کرد. متداول‌ترین فلزات سنگین در مناطق آلوده کادمیوم، سرب، کروم، مس، جیوه، نیکل و روی هستند (Henry, 2000). گیاهان به واسطه توانایی قابل ملاحظه‌ای که در تطابق با ویژگی‌های متغییر شیمیایی محیط دارند می‌توانند عناصر کمیاب و به خصوص فلزات‌سنگین را در بافت‌های خود متمرکز سازند (Mutengu *et al*., 2007).

در تحقیق غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک‌های کشاورزی حاشیه شماری از کارخانه‌های صنعتی زنجان اندازه‌گیری و غلظت سرب ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و غلظت کادمیوم ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم به عنوان غلظت مجاز آن‌ها در خاک در نظر گرفته شد (Golchin, 2003). بر این اساس از مجموع ۱۰ مزرعه مورد مطالعه همه خاک‌ها شدیدا آلوده به کادمیوم (۱۰ تا ۷۰ برابر غلظت مجاز) و تنها یک مزرعه غیر آلوده به سرب گزارش شد. یافته‌های این تحقیق حاکی از آلودگی شدید مزارع حاشیه کارخانه‌های صنعتی به سرب و کادمیوم بود و بروز آلودگی شدیدی را در خاک‌های کشاورزی حاشیه این کارخانه‌ها آشکار ساخت.

در پژوهشی تأثیر ماده آلی را بر کاهش آلودگی خاک‌های مناطق کاملا اسیدی و شدیدا آلوده به سرب، مس، آرسنیک و روی بررسی و گزارش شد که استفاده از مواد آلی در خاک آلوده باعث افزایش رشد گیاهان و عمق ریشه دهی، کاهش جذب فلزات توسط گیاه و افزایش pH گردید (Farrell, 2010). پژوهشگران تأثیر استفاده از اصلاح‌کننده‌های شیمیایی برای تثبیت آلودگی‌های حاصل از کشاورزی، تثبیت شیمیایی آلودگی‌ها و عوارض زیست‌محیطی استفاده از این محصولات شیمیایی بررسی کردند. اصلاح‌کننده‌های مورد بررسی شامل ترکیبات آلومینیم‌دار، کلسیم یا آهن‌دار و یا ترکیبات دارای فسفر و رس‌های سیلیکاته بودند (Udeigwe *et al*., 2010). ساز و کارهای تثبیت، رسوب سطحی، جذب بر سطوح مواد معدنی (تبادل یونی یا تشکیل کمپلکس‌های پایدار) و رسوب به صورت نمک می‌باشد و فاکتورهایی که روند تثبیت آلودگی را کنترل می‌کنند شامل: pH، پتانسیل رداکس، رس‌های معدنی و ماده آلی می‌باشند.

با توجه به اثربخش بودن اصلاح‌کننده‌های آلی و تولید سالانه حجم بالائی از آن‌ها و نیز وجود منابع ارزان آن‌ها(نظیر باگاس نیشکر و سبوس برنج) پتانسیل استفاده از این تیمارها در بخش‌های آلوده برای تثبیت آلودگی‌های خاک با فلزات سنگین وجود دارد. به دلیل وجود اراضی آلوده به فلزات‌سنگین در کشور و کاربری آن‌ها در

کشاورزی، بررسی روش‌های کاهش جذب و انتقال این آلاینده‌ها به محصولات کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا این تحقیق با هدف بررسی تأثیر منابع اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی ارزان قیمت بر کاهش تحرک فلزات سنگین (آهن، منگنز، سرب و روی) در خاک‌های آلوده اراضی اطراف معدن سرب و روی انگوران زنجان و غلظت آن در کشت سبزی شاهی در شرایط گلخانه‌ای اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این تحقیق نمونه خاک مرکب از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین از مزرعه اطراف معدن سرب و روی انگوران شهرستان زنجان (موقعیت: طول جغرافیایی ´´۵۷ ´ ۴۰°۳۶ شمالی و عرض جغرافیایی ´´۷۰ ´۲۰°۴۸ شرقی) به صورت تصادفی از عمق cm ۳۰-۰ تهیه و خاک پس از انتقال به آزمایشگاه و یکنواخت سازی و هواخشک شدن جهت آزمایش‌های تجزیه خاک از الک ۲ میلی‌متری (جدول۱) و برای انکوباسیون و کشت گلخانه‌ای از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری و وزن مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه و پارافین (Black and Evans, 1986)، درصد کربن آلی به روش والکی و بلاک و سدیم و پتاسیم محلول در عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه شعله_ نور سنج اندازه‌گیری شد (Ehyaei, 1991). نیتروژن کل خاک با استفاده از هضم کجلدال (Ehyaei, 1991) و عناصر سنگین شامل سرب، روی، آهن و منگنز قابل جذب خاک پس از استخراج با DTPA (Lindsay and norvell, 1978) و قرائت آن با دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA 670 (Ehyaei, 1991) انجام شد. فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن (Black *et al.*,1989) و درصد آهک به روش کلسیمتر فشاری اندازه‌گیری (Black and Evans, 1986)، ECخاک در عصاره ۱:۱ به وسیله هدایت سنج مدل JENWAY__4320 اندازه‌گیری و بر حسب dS/m در ۲۵ درجه سلسیوس و pH خاک در عصاره ۱:۱خاک به آب و توسط pH متر مدل ELEIA گزارش شد (Rhoades, 1982). بی‌کربنات خاک به روش تیتراسیون با اسید سولفوریک در عصاره اشباع خاک (Ehyaei, 1991) و اندازه‌گیری CEC به روش باور انجام شد (Black *et al.*,1989). در این آزمایش اثر مواد بهساز (زئولیت، خاک فسفات، سوپرفسفات تریپل، باگاس و سبوس برنج) بر تغییرات غلظت فلزات سنگین سرب، روی، آهن و منگنز در خاک و قابلیت جذب آن‌ها در شاخساره شاهی بررسی شد. سطوح اصلاح‌کننده‌ها با توجه به بررسی‌های بعمل آمده و تحقیقات قبلی که در این زمینه صورت گرفته بود، به شرح زیر انتخاب شد. زئولیت در سه سطح: ۵ (Z_1) ، ۱۰ (Z_2) و ۱۵ درصد (Z_3)، خاک فسفات در سه سطح: ۱ (PR_1)، ۳ (PR_2) و ۵ درصد (PR_3) و کود سوپرفسفات‌تریپل در سه سطح: ۰/۰۰۷۵ (SP_1)، ۰/۰۱۵ (SP_2) و ۰/۳ درصد(SP_3)، باگاس نیشکر در سه سطح: ۱/۲۵ (B_1)، ۲/۵ (B_2) و ۵ درصد (B_3)، کمپوست سبوس برنج در سه سطح ۱/۲۵ (RH_1)، ۲/۵ (RH_2) و ۵ درصد (RH_3) در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی اضافه و به خوبی مخلوط و یکنواخت گردید. همچنین تیمار شاهد (C) فاقد ماده اصلاحی در نظر گرفته شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۶ تیمار در

۳ تکرار و ۴۸ گلدان انجام شد آبیاری گلدان‌ها تا ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه با آب مقطر صورت گرفت و گلدان‌ها به مدت سه ماه به منظور حصول تعادل ترکیبات و اصلاح کننده‌ها گلدان‌ها در اتاقی با دمای ۲۵ درجه سلسیوس برای انکوباسیون نگهداری شدند. در مرحله بعد غلظت فلزات سنگین قابل جذب در خاک اندازه‌گیری شد(Ehyaei, 1991) و کشت گیاه شاهی در گلدان‌های تیمار شده انجام و پس از ۸ هفته، اندام هوایی شاهی از فاصله یک سانتی‌متری از سطح خاک برداشت و پس از شست و شو با آب مقطر به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شد. برای تعیین غلظت فلزات در شاخساره شاهی، بعد از آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی، عصاره‌گیری به روش سوزاندن خشک و هضم با اسید کلریدریک انجام و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA_670 قرائت و به صورت میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد (Emami, 1996). نتایج بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت، مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی نیز با آزمون LSD در سطح ۱٪ انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2007 استفاده گردید.

نتایج

نتایج آزمایش برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری شده جهت استفاده در کشت گلخانه‌ای، در جدول ۱ آورده شد.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول اثر تیمارها بر غلظت آهن قابل جذب خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول۲). میزان تأثیر تیمارها بر این صفت در شکل۱ نشان داده شده است.

جدول۱- برخی از خصوصیات خاک مورد استفاده در تحقیق

خصوصیت خاک	مقدار	خصوصیت خاک	مقدار
کلاس بافت خاک	لوم‌رسی	بیکربنات ($meql^{-1}$)	۴/۶۰
EC (1:1) (dSm^{-1})	۰/۸۷	کربنات کلسیم (درصد)	۱۵/۱۹
pH (1:1)	۸/۳۰	جرم مخصوص‌ظاهری(gcm^{-3})	۱/۱۰
CEC ($cmolckg^{-1}$)	۱۵/۳۷	فسفر ($mgkg^{-1}$)	۱۰/۴۵
ماده آلی(درصد)	۱/۳۰	سرب* ($mgkg^{-1}$)	۳۶/۵۰
نیتروژن کل(درصد)	۰/۰۶	روی* ($mgkg^{-1}$)	۱۹۷/۶۵
سدیم(عصاره اشباع)(mol^{-1})	۲/۱۷	آهن* ($mgkg^{-1}$)	۹/۱۶
پتاسیم قابل جذب($mgkg^{-1}$)	۲۵۵/۰۰	منگنز* ($mgkg^{-1}$)	۱۰/۷۰

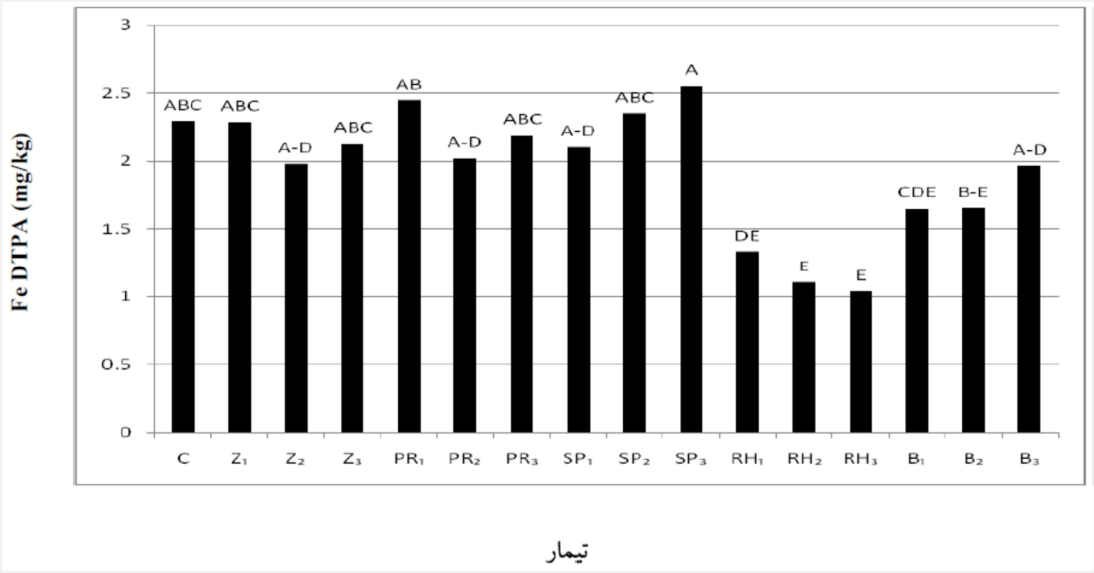
* مقادیر قابل استخراج با DTPA

جدول۲- میانگین مربعات اثر تیمارها بر آهن، منگنز، سرب و روی قابل استخراج با DTPA

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		آهن	منگنز	سرب	روی
تیمار	۱۵	**۰/۶۴	**۴/۳۹	**۲۸۳/۹۲	*۱۶۳/۳۲
خطا	۳۲	۰/۱۲	۱/۱۴	۴۲/۹۵	۸۰/۵۱

**،* به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین مقدار آهن قابل استخلاف با DTPA در تیمار RH در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت ولی سایر تیمارها تأثیر چندانی در میزان آهن قابل استخلاف با DTPA نداشتند. کمترین میزان غلظت آهن قابل جذب خاک (۱/۰۳ mg/kg) در تیمار RH_3 و بیشترین میزان آهن قابل استخلاف با DTPA (۲/۵۵)در تیمار PR_3 مشاهده شد.



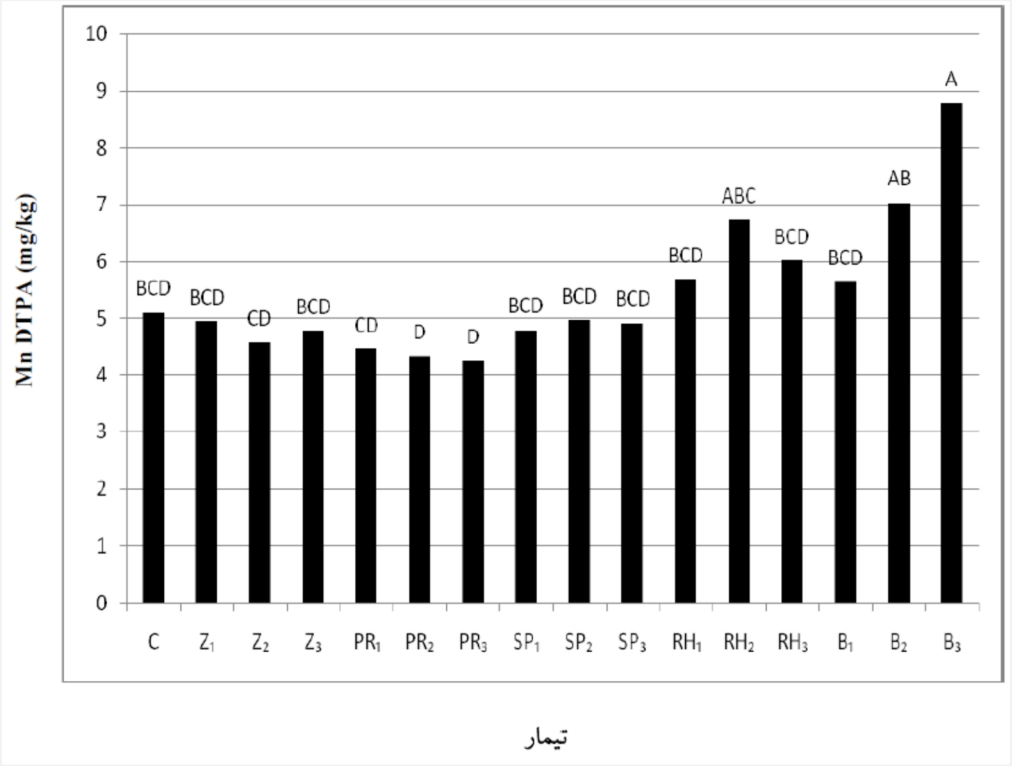
C: تیمار شاهد، Z_1: سطح اول زئولیت، Z_2: سطح دوم زئولیت، Z_3: سطح سوم زئولیت، PR_1: سطح اول خاک فسفات، PR_2: سطح دوم خاک فسفات، PR_3: سطح سوم خاک فسفات، SP_1: سطح اول سوپرفسفات تریپل، SP_2: سطح دوم سوپرفسفات تریپل، SP_3: سطح سوم سوپرفسفات تریپل، RH_1 : سطح اول سبوس برنج، RH_2: سطح دوم سبوس برنج، RH_3: سطح سوم سبوس برنج، B_1: سطح اول باگاس نیشکر، B_2: سطح دوم باگاس نیشکر، B_3: سطح سوم باگاس نیشکر.

*حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

شکل۱- تأثیر تیمارها بر غلظت آهن قابل جذب خاک پس از دوره انکوباسیون

تیمارها اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت منگنز قابل جذب خاک نشان دادند (جدول۲). تأثیر تیمارها بر این صفت خاک در شکل۲ نشان داده شد.

مقایسه میانگین‌داده‌ها نیز نشان داد که مقدار منگنز قابل استخلاف با DTPA در خاک در تیمار B_3 نسبت به شاهد معنی‌دار بوده است و از ۵/۰۹ mg/kg در تیمار شاهد به ۸/۷۸ mg/kg در تیمار B_3 رسید که به دلیل بالا بودن میزان منگنز در باگاس نیشکر می‌باشد ولی در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. میزان منگنز در باگاس نیشکر برابر (۱۱۱/۸ mg/kg) بود.

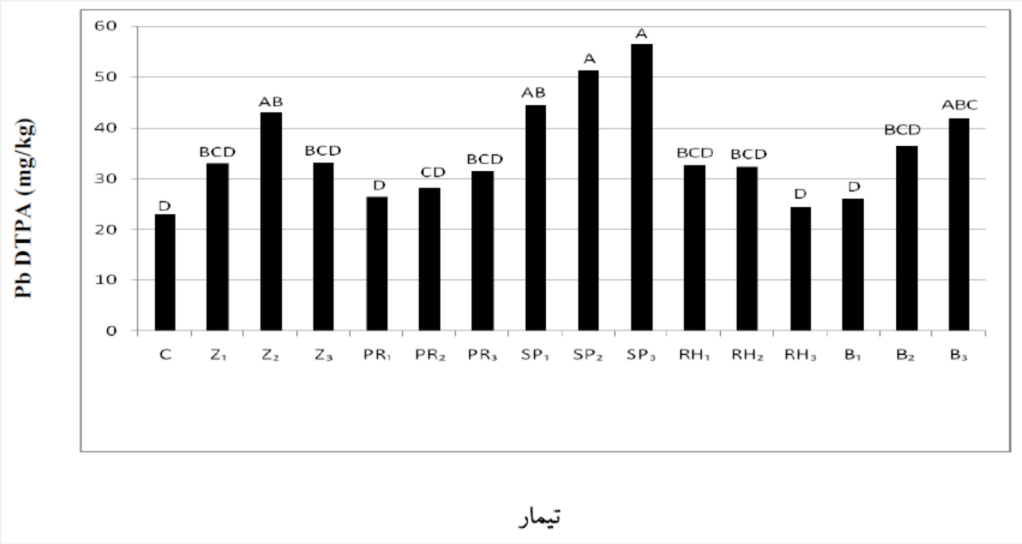


C: تیمار شاهد، Z_1: سطح اول زئولیت، Z_2: سطح دوم زئولیت، Z_3: سطح سوم زئولیت، PR_1: سطح اول خاک فسفات، PR_2: سطح دوم خاک فسفات، PR_3: سطح سوم خاک فسفات، SP_1: سطح اول سوپرفسفات تریپل، SP_2: سطح دوم سوپرفسفات تریپل، SP_3: سطح سوم سوپرفسفات تریپل، RH_1 : سطح اول سبوس برنج، RH_2: سطح دوم سبوس برنج، RH_3: سطح سوم سبوس برنج، B_1: سطح اول باگاس نیشکر، B_2: سطح دوم باگاس نیشکر، B_3: سطح سوم باگاس نیشکر.

*حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

شکل۲- تأثیر تیمارها بر غلظت منگنز قابل جذب خاک پس از دوره انکوباسیون

اثر تیمارها بر غلظت سرب قابل جذب خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول۲). میزان تأثیر تیمارها در شکل۳ نشان داده شد. مقایسه میانگین نشان داد که بین مقدار این عنصر در همه تیمارها به غیر از تیمار RH و PR با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار بوده است. در تیمار SP افزایش چشمگیر در مقدار سرب مشاهده شد که ممکن است به دلیل آلوده بودن خود اصلاح‌کننده با این عنصر باشد. بیشترین میزان سرب (۵۶/۵mg/kg) در تیمار SP_3 مشاهده گردید.



C: تیمار شاهد، Z_1: سطح اول زئولیت، Z_2: سطح دوم زئولیت، Z_3: سطح سوم زئولیت، PR_1: سطح اول خاک فسفات، PR_2: سطح دوم خاک فسفات، PR_3: سطح سوم خاک فسفات، SP_1: سطح اول سوپرفسفات تریپل، SP_2: سطح دوم سوپرفسفات تریپل، SP_3: سطح سوم سوپرفسفات تریپل، RH_1 : سطح اول سبوس برنج، RH_2: سطح دوم سبوس برنج، RH_3: سطح سوم سبوس برنج، B_1: سطح اول باگاس نیشکر، B_2: سطح دوم باگاس نیشکر، B_3: سطح سوم باگاس نیشکر.
*حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

شکل۳- تأثیر تیمارها بر غلظت سرب قابل جذب خاک پس از دوره انکوباسیون

اثر تیمارها در سطح پنج درصد بر غلظت روی قابل‌جذب خاک معنی‌دار بود (جدول۲) که تأثیر تیمارها در شکل ۴ نشان داده شد. بیشترین میزان غلظت روی قابل‌جذب خاک (mg/kg۱۷۰) در تیمار Z_1 وکمترین میزان غلظت روی قابل‌جذب خاک (۱۴۳/۶mg/kg) در تیمار B_3 مشاهده شد که نشان‌دهنده مؤثر بودن این تیمار است، در واقع تیمار باگاس باعث افزایش اندک pH شده است.

C: تیمار شاهد، Z_1: سطح اول زئولیت، Z_2: سطح دوم زئولیت، Z_3: سطح سوم زئولیت، PR_1: سطح اول خاک فسفات، PR_2: سطح دوم خاک فسفات، PR_3: سطح سوم خاک فسفات، SP_1: سطح اول سوپرفسفات تریپل، SP_2: سطح دوم سوپرفسفات تریپل، SP_3: سطح سوم سوپرفسفات تریپل، RH_1 : سطح اول سبوس برنج، RH_2: سطح دوم سبوس برنج، RH_3: سطح سوم سبوس برنج، B_1: سطح اول باگاس نیشکر، B_2: سطح دوم باگاس نیشکر، B_3: سطح سوم باگاس نیشکر.
*حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

شکل ٤–تأثیر تیمارها بر غلظت روی قابل جذب خاک پس از دوره انکوباسیون

اثر تیمارها بر وزن تر اندام‌هوایی شاهی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین وزن‌تر شاهی در هیچ کدام از تیمارها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشته‌است. به غیر از تیمار Z و SP در بقیه تیمارها با افزایش سطح ماده بهساز مصرفی وزن تر شاهی کاهش یافته است. تیمارها اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر وزن خشک اندام هوایی شاهی نشان دادند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین تیمارهای اعمال شده و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در بین خود تیمارها تفاوت کاملاً معنی‌دار است که همانند وزن تر سیر نزولی در مورد تیمار RH ، B و PR مشخص است. همچنین در جدول ۳ مشاهده می شود که تیمارها در سطح یک درصد تاثیر معنی داری بر میزان غلظت فسفر و پتاسیم اندام هوایی شاهی داشتند. اثر تیمارها بر غلظت آهن اندام هوایی شاهی در سطح یک درصد معنی‌دار شد(جدول ۴) که میزان این تأثیر در شکل۵ نشان داده شد.

مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که بین مقدار آهن موجود در شاهی در تیمار B_3 و PR_3 با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشت ولی بقیه تیمارها نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین میزان غلظت آهن (۱۵۷۹mg/kg) در تیمار B_3 و بیشترین (۵۰۹۴mg/kg) در تیمار PR_3 مشاهده گردید.

تیمارها اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت منگنز اندام هوایی شاهی نشان دادند (جدول ۴). تأثیر تیمارها بر این صفت در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به مقایسه میانگین‌های انجام شده با آزمون LSD، مؤثرترین تیمار در کاهش منگنز در اندام هوایی شاهی RH_3 و پس از آن RH_2 می‌باشد، بیشترین میزان غلظت منگنز در اندام هوایی شاهی (۳۹۲/۹ mg/kg) در تیمار PR_2 و کمترین (۱۷۹ mg/kg) در تیمار RH_3 مشاهده شد.

جدول۳- میانگین مربعات اثر تیمارها بر وزن تر و خشک، فسفر و پتاسیم اندام هوایی شاهی

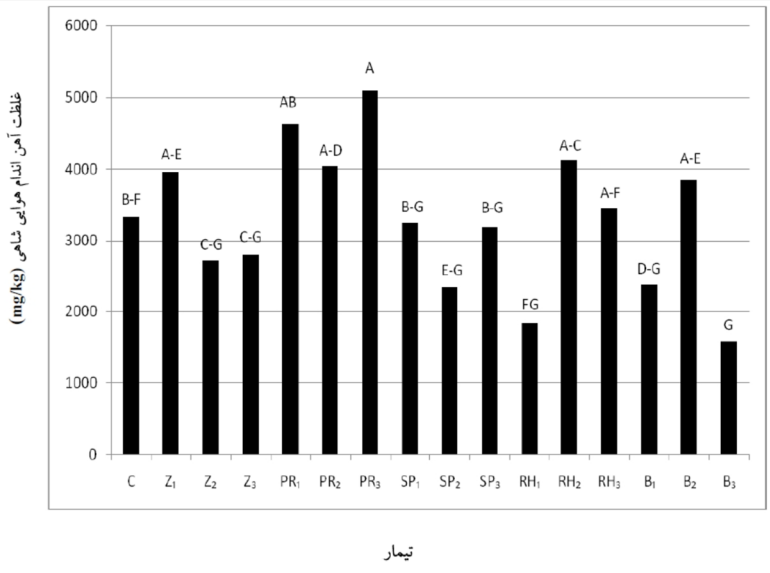
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر	وزن خشک	فسفر	پتاسیم
تیمار	۱۵	**۸۵/۳۶	*۰/۵	**۰/۱۳	**۲/۲۴
خطا	۳۲	۲۹/۴۵	۰/۲	۰/۰۰۳	۰/۲۶

**و* به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

جدول٤- میانگین مربعات اثر تیمارها بر غلظت آهن، منگنز، سرب و روی اندام هوایی شاهی

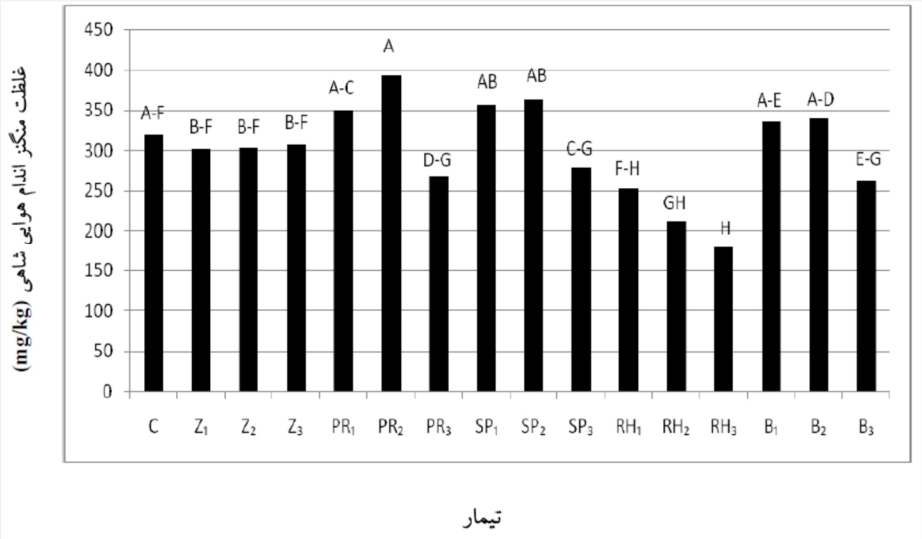
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		آهن	منگنز	سرب	روی
تیمار	۱۵	**۲۸۸۴۵۳/۹	**۹۷۹۱/۰۱	**۶۱۷/۳۲	**۱۴۷۷۲۴/۴۷
خطا	۳۲	۵۶۳۰۵۰/۷۷	۱۱۴۲/۲۵	۱۳۲/۰۱	۲۷۰۱۱/۱۶

** و* به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد



C: تیمار شاهد، Z_1: سطح اول زئولیت، Z_2: سطح دوم زئولیت، Z_3: سطح سوم زئولیت، PR_1: سطح اول خاک فسفات، PR_2: سطح دوم خاک فسفات، PR_3: سطح سوم خاک فسفات، SP_1: سطح اول سوپرفسفات تریپل، SP_2: سطح دوم سوپرفسفات تریپل، SP_3: سطح سوم سوپرفسفات تریپل، RH_1 : سطح اول سبوس برنج، RH_2: سطح دوم سبوس برنج، RH_3: سطح سوم سبوس برنج، B_1: سطح اول باگاس نیشکر، B_2: سطح دوم باگاس نیشکر، B_3: سطح سوم باگاس نیشکر.
*حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

شکل ۵- تأثیر تیمارها بر غلظت آهن در اندام هوایی شاهی

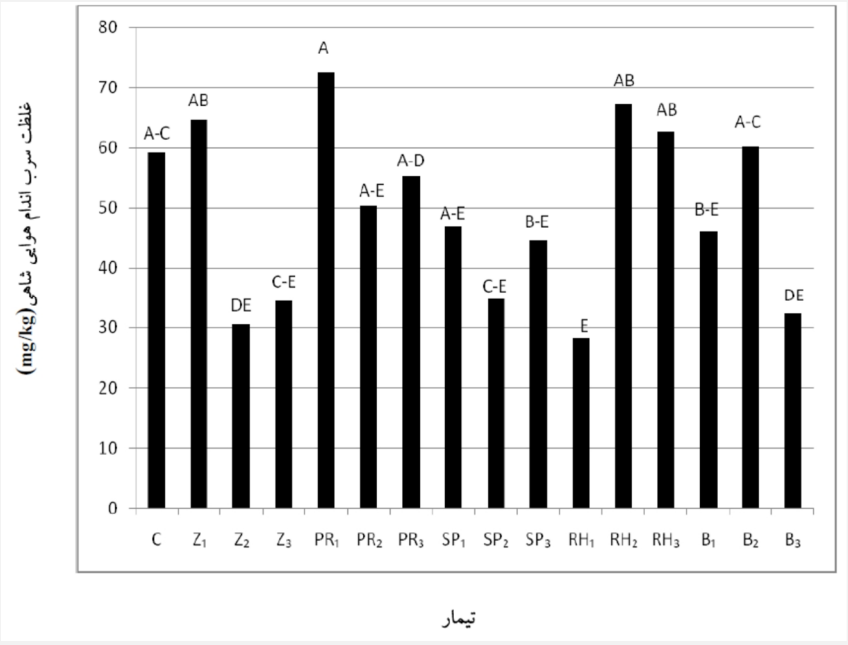


C: تیمار شاهد، Z_1: سطح اول زئولیت، Z_2: سطح دوم زئولیت، Z_3: سطح سوم زئولیت، PR_1: سطح اول خاک فسفات، PR_2: سطح دوم خاک فسفات، PR_3: سطح سوم خاک فسفات، SP_1: سطح اول سوپرفسفات تریپل، SP_2: سطح دوم سوپرفسفات تریپل، SP_3: سطح سوم سوپرفسفات تریپل، RH_1 : سطح اول سبوس برنج، RH_2: سطح دوم سبوس برنج، RH_3: سطح سوم سبوس برنج، B_1: سطح اول باگاس نیشکر، B_2: سطح دوم باگاس نیشکر، B_3: سطح سوم باگاس نیشکر.
*حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

شکل٦- تأثیر تیمارها بر غلظت منگنز در اندام هوایی شاهی

بر اساس نتایج حاصله اثر تیمارها بر غلظت سرب اندام هوایی شاهی در سطح یک درصد معنی‌دار شد(جدول ۴). مقایسه نتایج تأثیر تیمارها بر غلظت سرب در شکل۷ ارائه شده است. بیشترین میزان غلظت سرب اندام هوایی شاهی (۷۲/۴۷ mg/kg) در تیمار PR_2 و کمترین (۲۸/۱۷mg/kg) در تیمار RH_1 مشاهده شد.کاهش غلظت سرب در تیمار Z_2 و B_3 نیز معنی‌دار است.

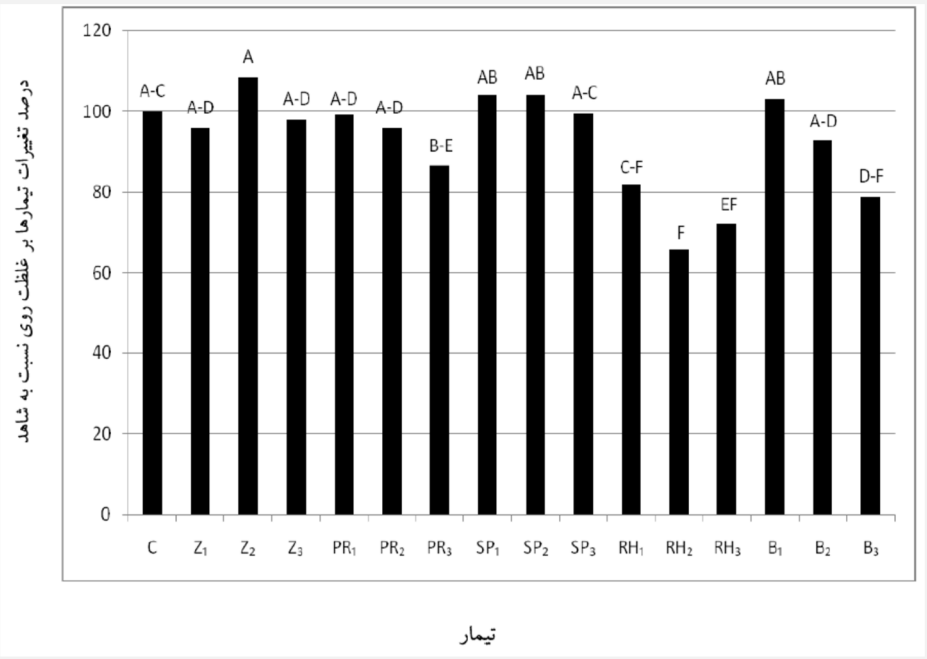
تیمارها اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت روی اندام هوایی شاهی نشان داد (جدول ۴). میزان این تأثیر در شکل ۸ نشان داده شد. مقایسه‌ها میانگین‌ها با LSD نیز نشان داد که تأثیر تیمار RH و B و تیمار شاهد در مقدار روی اندام هوایی اختلاف معنی‌داری داشتند ($p< ۰/۰۱$). همانطور که قابل مشاهده است در تیمارهای B_3 و RH_2 و RH_3 کاهش غلظت روی مشخص است. بیشترین درصد افزایش غلظت روی در اندام هوایی شاهی(۸٪) در تیمار Z_2 و بیشترین درصد کاهش غلظت روی در اندام هوایی شاهی (۳۴٪) در تیمار RH_2 مشاهده شد. جذب و غیرپویاسازی روی از طریق تشکیل کمپلکس‌های آلی توسط سبوس برنج در خاک می‌تواند از عوامل کاهش درصد جذب روی در اندام هوایی شاهی باشد.



C: تیمار شاهد، Z_1: سطح اول زئولیت، Z_2: سطح دوم زئولیت، Z_3: سطح سوم زئولیت، PR_1: سطح اول خاک فسفات، PR_2: سطح دوم خاک فسفات، PR_3: سطح سوم خاک فسفات، SP_1: سطح اول سوپرفسفات تریپل، SP_2: سطح دوم سوپرفسفات تریپل، SP_3: سطح سوم سوپرفسفات تریپل، RH_1 : سطح اول سبوس برنج، RH_2: سطح دوم سبوس برنج، RH_3: سطح سوم سبوس برنج، B_1: سطح اول باگاس نیشکر، B_2: سطح دوم باگاس نیشکر، B_3: سطح سوم باگاس نیشکر.

*حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

شکل۷- تأثیر تیمارها بر غلظت سرب در اندام هوایی شاهی



C: تیمار شاهد، Z_1: سطح اول زئولیت، Z_2: سطح دوم زئولیت، Z_3: سطح سوم زئولیت، PR_1: سطح اول خاک فسفات، PR_2: سطح دوم خاک فسفات، PR_3: سطح سوم خاک فسفات، SP_1: سطح اول سوپرفسفات تریپل، SP_2: سطح دوم سوپرفسفات تریپل، SP_3: سطح سوم سوپرفسفات تریپل، RH_1 : سطح اول سبوس برنج، RH_2: سطح دوم سبوس برنج، RH_3: سطح سوم سبوس برنج، B_1: سطح اول باگاس نیشکر، B_2: سطح دوم باگاس نیشکر، B_3: سطح سوم باگاس نیشکر.

*حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

شکل۸- تأثیر تیمارها بر غلطت روی در اندام هوایی شاهی

بحث

در تأیید نتایج حاصل از شکل ۱ (کاهش غلظت آهن خاک در اثر اعمال تیمارهای آلی) می‌توان به تحقیق (Nourbakhsh, 2006) اشاره کرد. در این تحقیق گزارش شد خاک‌هایی که دارای مقدار زیادی مواد آلی و ترکیبات رس هستند قادرند با کادمیوم تشکیل کمپلکس داده و اثر سمیت فلز را کاهش دهند اما در تحقیق دیگری که توسط (Khodshenas *et al*., 2011) به منظور بررسی قابلیت استفاده آهن در رابطه با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد اعلام گردید که بین آهن قابل استفاده عصاره‌گیری شده در نمونه‌های خاک مورد مطالعه با روش DTPA همبستگی مثبت و معنی‌دار با رس و ظرفیت تبادل کاتیونی و همبستگی منفی با شن وجود دارد. در تأیید نتایج ارائه شده در شکل شماره ۳ در تحقیق دیگری توسط (Janos *et al*., 2010) به این نتیجه رسیدند که تیمار زئولیت بر کاهش فراهمی مس مؤثر بوده ولی بر غلظت سرب و روی تأثیری نداشته‌اند. در تأیید نتایج بدست آمده از شکل ۴ که تیمار زئولیت و سبوس برنج به دلیل افزایش pH خاک باعث افزایش سرب قابل جذب خاک شدند. در تحقیقی (Kumpiene *et al*., 2008) گزارش شد که در موقع استفاده از اصلاح‌کننده‌ها باید به تغییرات

pH توجه کرد. آرسنیک و کروم به عنوان اکسی‌آنیون عمل کرده و با افزایش pH تحرک آن‌ها افزایش می‌یابد ولی سرب، روی و مس به عنوان کاتیون عمل کرده و با افزایش pH تحرک آن‌ها کاسته می‌شود.

با توجه به نتایج بدست آمده از شکل ۵ تنها سطح دوم تیمار سوپر فسفات باعث کاهش غلظت آهن شده است ولی تیمار خاک فسفات در دو سطح باعث افزایش آهن گیاه گردید. در تأیید نتایج حاصله در ارتباط با تیمار سوپرفسفات، در تحقیق (Sarhadi-Sardoui *et al*., 2003) گزارش شد که مصرف بی‌رویه کودهای فسفردار موجب کاهش جذب، انتقال و متابولیسم برخی از عناصر کم مصرف از جمله آهن شد که اثر نامطلوبی بر رشد گیاه داشت.

در تحقیقات دیگری نتایجی همسو با یافته‌های ارائه شده در شکل ۷ گزارش شد. پژوهشگران بیان داشتند که زئولیت سطح ویژه زیادی داشته و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) بالایی بوده و با تشکیل کمپلکس‌های تبادلی می‌تواند یون‌هایی با اندازه‌های مختلف را جذب کند(Babel *et al*., 2003). همچنین محققین از سبوس‌برنج تیمار شده با اسید تارتاریک که از جنوب غربی مالزی تهیه شده بود استفاده کردند. اثرسبوس‌برنج در تماس با محلول آلوده به نیترات سرب و مس بررسی شد و نتایجی همسو با این تحقیق گزارش گردید که افزودن سبوس‌برنج اصلاح شده با تارتاریک اسید به محلول آبی آلوده باعث افزایش لیگاندهای آلی و سطح مؤثر شد و با تشکیل پیوند با سرب و مس، سرب و مس قابل جذب گیاه را کاهش داد. گروه‌های کربوکسیلیک اسید موجود بر سطح سبوس‌برنج اصلاح شده مسئول جذب یون‌های فلزی تشخیص داده شدند که جذب فلزات در حضور کاتیون‌های رقیب و کلات‌ها کاهش یافت (Wong *et al*., 2003).

طی پژوهشی اثر سوپرفسفات تریپل بر غیرپویاسازی سرب و روی در خاک‌های آلوده حاصل از ضایعات معدن بررسی و به این نتیجه رسیدند که فسفر تأثیر معنی‌داری بر کاهش غلظت سرب در بخش هوایی گیاه گندم دارد و به نظر می‌رسد تشکیل کانی پیرومورفایت در خاک و تثبیت سرب و فسفر در ریشه از عوامل کاهش سرب در اندام هوایی باشند (Mohammadi sani *et al*., 2010).

در تأیید نتایج ارائه شده در شکل ۸ می‌توان به تحقیق (El-shafey, 2010) اشاره کرد. در این تحقیق با استفاده از ترکیبات دارای کربن بدست آمده از سبوس‌برنج روی و جیوه از محلول آبی جداسازی شد و به این نتیجه رسیدندکه با افزایش pH تأثیر آن افزایش می‌یابد. (Akbari, 2010) نیز به این نتیجه رسیده است که ماده آلی باعث کاهش انتقال روی به گیاه گردید. بر اساس تحقیقات (Mohammadi sani *et al*., 2010) در زمینه تأثیر زئولیت و سوپرفسفات تریپل بر جذب روی و سرب توسط اندام هوایی گندم گزارش شد که زئولیت به تنهایی نسبت به تیمار شاهد تأثیر معنی داری بر غلظت روی در گیاه نداشت.

آبشویی روی، سرب و مس شدیدا وابسته به pH است، کمترین تحرک در pH خنثی تا کمی قلیایی می‌باشد بنابراین باید به تغییرات pH که بعد از کاربرد اصلاح‌کننده‌ها در خاک ایجاد می‌شود توجه کرد. روی به خوبی توسط رس‌ها و اصلاح‌کننده‌های

فسفاته تثبیت می‌شود (Kumpaiene *et al*., 2008). طی تحقیق دیگری گزارش شد که ترکیبات دارای فسفر از جمله سنگ فسفات، آپاتیت، اسید فسفریک برای اصلاح خاک‌های آلوده به مس، روی و سرب مؤثرند و مکانیسم تثبیت آلاینده‌ها به صورت رسوب و تبادل یونی می‌باشد (Udeigwe *et al*., 2010).

با توجه به نتایج بدست‌آمده در این پژوهش، زئولیت و باگاس‌نیشکر تیمارهای (معدنی و آلی) مناسبی برای کاهش فراهمی سرب در خاک‌های آلوده به سرب بشمار می‌روند. همچنین کاربرد سبوس برنج و باگاس نیشکر اثر معنی‌داری بر غلظت روی در اندام هوایی شاهی داشت. افزایش کارآیی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده با کاربرد مواد بهساز آلی و معدنی مورد استفاده و دیگر مواد موجود می‌تواند راهکار مناسبی باشد. بررسی اثرات کاشت گیاه بر کارآیی مواد بهساز در تثبیت شیمیایی آلاینده‌ها در تحقیقات آتی توصیه می‌گردد.

منابع

Akbari, H. (2010). Investigate of cadmium accumulation in some edibble leafy vegetables in soil polluted by cadmium, M.Sc thesis, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Agriculture Sciences and Natural Resources university of Tehran.

Black, C.A. and D.D. Evans (1986). Methods of soil analysis. Part 1 and 2. Agronomy 9. Am. Soc. Of Agron. Madison, WI.

Black, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney (1989). Methods of Soil Analysis. Part II ASA, I. SSSA, No.9.

Emami, A. (1996). Methods of plant analysis. Technical journal. Soil and Water Research Institute, Tehran, 982.

Ehyaei, M and A.A. Behbahany zade (1991). Methods of soil chemical analysis. Technical journal. Soil and Water Research Institute, Tehran, 983.

El-Shafey, E.I. (2010). Removal of Zn(II) and Hg(II) from aqueous solutions on a carbonaceous sorbent chemically prepared from rice husk. Journal of Hazardous Materials, 175: 319-327.

Farrell, M., W.T. Perkins, P.J. Hobbs, G.W. Griffith and D.L. Jones (2010). Migration of heavy metals in soil as influenced by compost amendments. Environmental pollution, 158: 55-64.

Glick, B. R. (2003). Phytoremediation: Synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotecknol, 21: 383-393.

Golchin, A. (2003). Industrial activities and farm land soil polluted with heavy metals. 8th Iranian Soil Science Congress, Rasht.

Henry, J. R. (2000). An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury. U. S. Environmental Protection Agency Office. Washington, D. C: 55.

Janos, P., J. Vavrova, L. Herzogova and V. Pilarova (2010). Effects of inorganic and organic amendments on the mobility (leachability) of heavy metals in contaminated soil. Geoderma: 1-7.

Khan, S., L. Aijun, S. Zhang, Q. Hu and Y. Zhu (2007). Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. Journal of Hazardous Materials.

Khodshenas, M.A., M. Dadivar and J. Ghadbeiklu (2011). Investigation of Fe usage ability related to soil physical and chemical characteristics and bean plant response in Markazi province soil. 12th Iranian Soil Science Congress, Tabriz.

Kumpiene, J., A. Lagerkvist and C. Maurice (2008). Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments—a review, Waste Manag, 28: 215–225.

Lindsay, W.L. and W.A. Norvell (1978). Development of a DTPA test for Zinc, Iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal, 42: 421- 428.

Mohammadi sani, M., A. Astarai, A. Fotovat and A. Lakzian (2010). Immobilization of lead and zinc in mine waste by zeolite and triple superphosphate and their effect on wheat growth. Iranian Journal of Field Crops Research (ISSN), 8: 956-964.

Mutengu, S., Z. Hoko and F.S. Makoni (2007). An assessment of the public health hazard potential of wastewater reuse for crop production. A case of Bulawayo city, Zimbabwe. Physics and Chemistry of the Earth, 32: 1195-1203.

Nourbakhsh, S.H. (2006). Investigation of texture and cadmium effect on several plants growth. Articles of Soil Conference. Environment and Sustainable Development. Agriculture Sciences and Natural Resources university of Tehran: 183-184.

Rhoades, J.D. (1982). Soluble salts. In A.L. page et al (Eds). Methods of Soil Analysis. Agronomy Mon, 9. Part 2. (2nd edition): 167-179

Sarhadi-Sardoui, J., A. Ronagashi, M. Maftoun and N. Karimian (2003). Growth and chemical composition of corn in three calcareous sandy soil of Iran as affected by applied phosphorus and manure. J.Agric. Sci Technol, 5: 77-84.

Udeigwe, T. K., P. N. Eze, J. M. Teboh and M.H. Stietiya (2010). Application, chemistry, and environmental implications of contaminant-immobilization amendments on agricultural soil and water quality. Environmental International: 1-10.

Wong, K.K., C.K. Lee, K.S. Low and M. J. Haron (2003). Removal of Cu and Pb by tartaric acid modified rice husk from aqueous solutions. Chemosphere, 50: 23-28.