نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

# تأثیر تیمارهای آلی و معدنی بر غلظت فلزات سنگین در یک خاک آلوده و اندام هوایی تربچه

**منصوره کریمی[۱]، *بابک متشرع‌زاده[۲] و غلامرضا ثواقبی‌فیروزآبادی[۳]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، [۲]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، [۳]استاد فقید گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/٦

## چکیده

این پژوهش بر روی خاک‌های آلوده مجاور کارخانه سرب و روی در استان زنجان، انجام گرفت و طی آن اثر دو نوع ماده آلی و سه نوع ماده معدنی در تثبیت آلودگی در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل باگاس نیشکر و سبوس برنج در ۳ سطح ۱۲/۵، ۲۵ و ۵۰ گرم در کیلوگرم خاک، زئولیت در ۳ سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم خاک، خاک فسفات تولیدی معدن آسفوردی یزد محتوی ۳۸ درصد فسفر کل در ۳ سطح ۱۰، ۳۰ و ۵۰ گرم در کیلوگرم خاک، سوپرفسفات‌تریپل در ۳ سطح ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و به همراه تیمار شاهد بودند. دوره انکوباسیون به‌مدت ۳ ماه با دمای ۲۵-۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) انجام گرفت. بعد از دوره انکوباسیون غلظت فلزات سنگین در خاک اندازه‌گیری و گیاه تربچه کشت گردید. بعد از برداشت اندام هوایی غلظت سرب، روی، آهن و منگنز در اندام هوایی تربچه اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (ANOVA) نشان داد که اثر تیمارها بر کاهش غلظت آهن، منگنز و سرب قابل استخراج با اسید نیتریک به‌عنوان یک عصاره‌گیر (تابعی از مقدار کل فلز) در خاک و اندام هوایی تربچه معنی‌دار بود ($P<۰/۰۱$). مؤثرترین تیمار در کاهش غلظت آهن خاک سطح دوم تیمار سبوس برنج و در کاهش غلظت منگنز و سرب خاک سطح سوم تیمار زئولیت بود. کم‌ترین غلظت آهن اندام هوایی تربچه در سطح سوم تیمار باگاس نیشکر (٤٦۰/۷

* مسئول مکاتبه: moteshare@ut.ac.ir

میلی‌گرم بر کیلوگرم)، منگنز در سطح سوم تیمار زئولیت (٣٧٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سرب در تیمار سطح سوم سبوس برنج (١٤/٤٣ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. با توجه به تأثیر تیمارهای آلی و زئولیت بر تثبیت فلزات سنگین در خاک و کاهش جذب آن‌ها توسط گیاه، می‌توان از این تیمارها در اصلاح خاک‌های آلوده به سرب استفاده کرد.

***واژه‌های کلیدی:*** باگاس نیشکر، تربچه، زئولیت، سبوس برنج، فلزات سنگین

**مقدمه**

وجود فلزات سنگین در محیط زیست نتیجه فعالیت‌های طبیعی، خاکسازی (پدوژنیک) و انسان‌ساخت (آنتروپوژنیک) است (خان و همکاران، ٢٠٠٧). فلزات بر خلاف آلاینده‌های آلی از نظر شیمیایی قابل‌تجزیه نیستند و نیمه‌عمر طولانی در محیط زیست دارند (سالت و همکاران، ١٩٩٥). در بین فلزات سنگین، سرب و روی از اهمیت و درجه آلایندگی بالایی برخوردارند و آلودگی محصولات کشاورزی رشدیافته در خاک‌های آلوده به این عناصر می‌تواند سلامتی انسان را در معرض خطر قرار دهد (رحمانی و شمس، ٢٠٠٧؛ گلچین و شفیعی، ٢٠٠٦؛ آتش‌نما و همکاران، ٢٠٠٦). ورود سرب به محیط زیست با مصارف متعدد و فراوان منابع شامل سرب، سبب آلودگی خاک، آب و هوا می‌گردد. روی، آهن و منگنز نیز به‌رغم آن‌که از عناصر غذایی ضروری کم‌مصرف محسوب می‌شوند اما در غلظت‌های بالا برای گیاه زیان‌بار بوده بنابراین سمیت آن‌ها از مسایل مهم آلاینده در محیط زیست است و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی، امنیت غذایی انسان، حیوان و گیاه را تهدید می‌کند (پراساد، ٢٠٠٤). فلزات ممکن است جذب مواد رسی خاک گردند و یا این‌که به‌صورت رسوبات کربنات، فسفات و هیدروکسید درآیند و احتمال دارد با مواد آلی خاک ترکیب و ایجاد کمپلکس نمایند (وان‌نگاه و حنفیه، ٢٠٠٧). با گسترش آلودگی فلزات، پژوهش‌ها در زمینه روش‌های اصلاح و پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات نیز توسعه‌یافته است. در این میان یکی از این زمینه‌های پژوهشی، کاربرد ترکیبات آلی و معدنی برای پالایش و یا تثبیت آلودگی است. رایسویک و همکاران (٢٠٠٤) تثبیت درجای (In situ) فلزات‌سنگین با استفاده از اصلاح‌کننده‌های ارزان و واکنش‌پذیر در مقابل روش‌های دگرجا (Ex situ)، را بررسی و گزارش کردند که تثبیت خاک‌های آلوده و آب‌های زیرزمینی با افزودن آپاتیت معدنی بسیار مؤثر بوده و می‌تواند به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک روش

برای پاکسازی خاک‌ها از سرب و کادمیوم استفاده شود. نگهداشت عناصر کم‌مصرف توسط ماده آلی به عوامل متفاوتی از جمله pH خاک و درجه هوموسی شدن ماده آلی بستگی دارد (برادی و ویل، ۱۹۹۹). رایسویک و همکاران (۲۰۰٤) تأثیر اصلاح‌کننده‌های مختلف بر رشد برنج و جذب مس و کادمیوم از خاک‌های آلوده بررسی و گزارش کردند که فلزات سنگین در خاک‌های با شرایط متغیر دارای زیست‌فراهمی زیادی بوده و به آسانی به گیاه منتقل می‌شوند. برخی روش‌های اصلاحی با کاهش زیست‌فراهمی فلزات، سبب کاهش جذب آن‌ها توسط گیاه می‌شوند. پینگ و همکاران (۲۰۰۸) اثر کاربرد ۷ تیمار معدنی و آلی بر رشد برنج و کاهش جذب فلزات سنگین از خاک شالیزار آلوده به مس و کادمیوم را بررسی کردند. نتایج نشان داد استفاده از سنگ آهک و بعد از آن کلسیم عملکرد دانه را افزایش و غلظت مس و کادمیوم را دانه‌های برنج کاهش دادند. زو و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر افزودن کود آلی آلوده به فلزات سنگین را بر جذب روی و مس در تربچه بررسی و گزارش کردند که غلظت این عناصر در برگ و غده تربچه همبستگی معنی‌داری با افزایش غلظت این فلزات در خاک داشت. مارچیول و همکاران (۲۰۰٤) در بررسی جذب فلزات سنگین توسط تربچه و کلزا در خاک آلوده گزارش کردند تجمع فلزات سنگین (کادمیوم، نیکل و سرب) در تربچه بیش از کلزا بود که این امر تفاوت بین گیاهان را در جذب و انتقال فلزات آشکار می‌سازد. کنوکس و همکاران (۲۰۰۸) برهم‌کنش اصلاح‌کننده‌های فسفاته، میکروب‌ها و تحرک اورانیوم را در رسوبات آلوده بررسی کردند. در این پژوهش تأثیر سه نوع فسفات (سنگ فسفات، بیوفسفات و فیتات کلسیم) و دو نوع اصلاح‌کننده میکروبی (آلکالیجنز پیچادی[1] و سودوموناس پوتیدا[2]) بر تحرک اورانیوم نشان داد که با افزودن اصلاح‌کننده‌های فسفاته به‌دلیل تشکیل رسوبات نامحلول فسفات، غلظت اورانیوم بیش‌تر از ۹۰ درصد کاهش یافت. کوی و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی، تأثیر افزودن سبوس برنج (٦ درصد) بر توزیع شیمیایی کادمیوم و مس را در خاک‌های آلوده به این فلزات بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن سبوس برنج، pH خاک به‌طور میانگین ۰/٤ واحد افزایش و کربن آلی نامحلول نیز در ۳ نمونه از ٤ نمونه خاک، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت. چن و همکاران (۲۰۱۰) طی آزمایش‌های گلخانه‌ای تأثیر تیمارهای فسفر (سوپرفسفات تریپل، خاک فسفات، هیدروکسی‌آپاتیت و دی‌آمونیوم فسفات) را بر تثبیت فلزات سنگین بررسی و گزارش دادند که مؤثرترین تیمار، تیمار هیدروکسی

1- *Alcaligenes piechaudi*
2- *Pseudomonas putida*

آپاتیت و خاک فسفات بودند. زنیدیس و همکاران (٢٠١٠) تثبیت سرب توسط منابع فسفاته و تثبیت آرسنیک توسط سولفات فروس را در خاک‌های یونان بررسی و بیان کردند ترکیبات فسفاته موجب افزایش تحرک آرسنیک گردید.

با توجه به وجود اراضی آلوده به فلزات‌سنگین به‌ویژه سرب و روی در کشور و اراضی اطراف معادن سرب و روی و کاربری آن‌ها در کشاورزی (گلچین و شفیعی، ٢٠٠٦)، بررسی روش‌های کاهش جذب و انتقال این آلاینده‌ها به محصولات کشاورزی ضروری به‌نظر می‌رسد. در این راستا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی ارزان قیمت بر کاهش تحرک سرب، روی، آهن و منگنز در خاک‌های آلوده اراضی اطراف معدن سرب و روی انگوران زنجان و غلظت آن در تربچه اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این پژوهش نمونه خاک مرکبی از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین که به‌صورت طبیعی غلظت بالایی از فلزات در آن موجود بود از مزرعه اطراف معدن سرب و روی انگوران واقع در ١٣٠ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان زنجان (موقعیت: طول جغرافیایی ٣٦ درجه و ٤٠ دقیقه و ٥٧ ثانیه شمالی و عرض جغرافیایی ٤٨ درجه و ٢٠ دقیقه و ٧٠ ثانیه شرقی) به‌صورت تصادفی از عمق ٣٠-٠ سانتی‌متر تهیه شد و خاک پس از انتقال به آزمایشگاه و یکنواخت‌سازی و هواخشک شدن برای آزمایش‌های تجزیه خاک از الک ٢ میلی‌متری و برای انکوباسیون و کشت گلخانه‌ای از الک ٤ میلی‌متری عبور داده شد. میزان سرب کل خاک ١١ برابر مقدار مجاز، روی بیش از ٥ برابر حد مجاز و میزان آهن و منگنز بیش از حد مجاز اندازه‌گیری گردید (پوروهیت و آگراوال، ٢٠٠٦؛ آلووی، ١٩٩٠). به‌منظور تعیین مشخصات خاک و تغییرات حاصل پس از افزودن اصلاح‌کننده‌ها، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به شرح زیر اندازه‌گیری شد: بافت خاک به روش هیدرومتر مدل ASTM152H (بلک و ایونس، ١٩٨٦)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (سامنر و میلر، ١٩٩٦)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع و با استفاده از هدایت‌سنج مدل JENWAY_4320 (رودز، ١٩٨٢)، pH در عصاره اشباع با pH متر عقربه‌ای مدل METROHM_620 (رودز، ١٩٨٢) کربن آلی به روش اصلاح‌شده والکلی و بلک (بلک و ایونس، ١٩٨٦)، کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (بلک و ایونس، ١٩٨٦)، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال و قرائت با دستگاه

فلیم‌فتومتر مدل ELE (احیایی، ۱۹۹۱)، فسفر قابل‌جذب خاک به روش اولسن (بلک و همکاران، ۱۹۸۲) و نیتروژن کل خاک به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (احیایی، ۱۹۹۱). با توجه به وجود معدن سرب و روی در منطقه، نتایج پژوهش‌های قبلی (گلچین و شفیعی، ۲۰۰٦)، غلظت کل قابل استخراج عناصر سرب، روی، آهن و منگنز با $HNO_3$ (چنگ و همکاران، ۱۹۸٤) و غلظت قابل‌جذب آن‌ها پس از عصاره‌گیری با DTPA (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) با دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA_670 قرائت و در نهایت به‌صورت میلی‌گرم درکیلوگرم گزارش شد. انتخاب نوع تیمارها و مقدار مصرف آن‌ها با توجه به بررسی منابع صورت گرفت در ضمن در انتخاب این منابع به ارزان بودن و سهولت دسترسی به آن‌ها نیز توجه شد. در این آزمایش اثر مواد بهساز (زئولیت، خاک فسفات، سوپرفسفات‌تریپل، باگاس و سبوس برنج) بر تغییر قابلیت جذب عناصر سرب، روی، آهن و منگنز در خاک و اندام هوایی تربچه بررسی شد. از نظر اهمیت اندام هوایی در انباشت فلزات سنگین و استفاده خوراکی از اندام هوایی این گیاهان، صفات مورد نظر تنها در شاخساره آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش تیمارهای مورد بررسی شامل زئولیت در ۳ سطح: ۵۰ ($Z_1$)، ۱۰۰ ($Z_2$) و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم خاک ($Z_3$)، خاک فسفات تولیدی معدن آسفوردی یزد محتوی ۳۸ درصد فسفر کل در ۳ سطح: ۱۰ ($PR_1$)، ۳۰ ($PR_2$) و ۵۰ گرم در کیلوگرم خاک ($PR_3$) و کود سوپرفسفات‌تریپل در ۳ سطح: ۷۵ ($SP_1$)، ۱۵۰ ($SP_2$) و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک ($SP_3$)، باگاس نیشکر در ۳ سطح: ۱۲/۵ ($B_1$)، ۲۵ ($B_2$) و ۵۰ گرم در کیلوگرم خاک ($B_3$)، کمپوست سبوس برنج در ۳ سطح ۱۲/۵ ($RH_1$)، ۲۵ ($RH_2$) و ۵۰ گرم در کیلوگرم خاک ($RH_3$) در داخل گلدان‌های ۵ کیلوگرمی اضافه و به خوبی مخلوط و یکنواخت گردید. همچنین تیمار شاهد (C) بدون ماده اصلاحی در نظر گرفته شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱٦ تیمار در ۳ تکرار و ٤۸ گلدان انجام شد. با توجه به هدف پژوهش، سطوح اصلاح‌کننده‌ها ضمن بررسی منابع پژوهشی انجام شده و با عنایت به شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش، تعیین شدند (رایسویک و همکاران، ۲۰۰۵؛ کنوکس و همکاران، ۲۰۰۸؛ کوی و همکاران، ۲۰۰۸؛ زنیدیس و همکاران، ۲۰۱۰). آبیاری گلدان‌ها تا ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه با آب مقطر صورت گرفت و گلدان‌ها به‌مدت ۳ ماه به‌منظور حصول تعادل ترکیبات و اصلاح‌کننده‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس برای انکوباسیون نگهداری شدند. به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای آلی و معدنی بر تثبیت یا آزادسازی عناصر سنگین، دوره به‌نسبت طولانی انکوباسیون در نظر گرفته شد. در این مدت دوره‌های متناوب‌تر و خشکی در گلدان‌ها اعمال گردید تا تأثیر تیمارها بر مقدار کل فلز بررسی گردد (ییزونک و

همکاران، ۲۰۰۹). بعد از دوره انکوباسیون، غلظت قابل استخراج عناصر با اسید نیتریک ٤ نرمال اندازه‌گیری شد. از آن‌جایی‌که براساس طراحی آزمایش، هدف‌گذاری، بررسی تأثیر تیمارها و انکوباسیون بر شکل و مقدار فلز کل بوده بنابراین در انتهای دوره انکوباسیون مقدار عناصر کل قابل عصاره‌گیری با اسید نیتریک در همه تیمارهای مورد مطالعه، قرائت گردید (چنگ و همکاران، ۱۹۸۲). در مرحله بعد بذر تربچه با تراکم یکنواخت ۲۰۰ عدد بذر در هر گلدان کشت و در مرحله ٤ برگی تراکم در همه گلدان‌ها یکنواخت شد. در دوره داشت با توجه به نتایج آزمون خاک و حدود بحرانی عناصر پرمصرف، نیاز چندانی به مصرف کودهای اصلی نبود ضمن آن‌که در صورت تأثیر فیزیکی، شیمیایی و یا زیستی تیمارهای آلی و معدنی، با توجه به هدف آزمایش که تثبیت و یا اصلاح خاک آلوده می‌باشد از تأثیر کوتاه‌مدت عناصر آزاد شده احتمالی از این اصلاح‌کننده‌ها بر گیاه صرف‌نظر گردید. پس از ۸ هفته، اندام هوایی تربچه‌ها از فاصله ۱ سانتی‌متری از سطح خاک برداشت و پس از شست و شو با آب مقطر به‌مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شد. برای تعیین غلظت فلزات، بعد از آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی، عصاره‌گیری به روش سوزاندن خشک و هضم با اسید کلریدریک انجام گرفت و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA_670 قرائت و به‌صورت میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد (امامی، ۱۹۹٦). همچنین غلظت فلزات سنگین باگاس نیشکر و سبوس برنج به همین روش اندازه‌گیری شد. پتاسیم باگاس نیشکر و سبوس برنج در عصاره تهیه شده توسط فلیم‌فتومتر مدل ELE قرائت شد (احیایی، ۱۹۹۱) و فسفر آن‌ها به روش عصاره‌گیری زرد توسط نیتروواندات مولیبدات، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Shimadzu UV 3100 در طول موج ٤٧٠ نانومتر قرائت شد (کوتینی، ۱۹۸۰). داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت، مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون LSD در سطح ۱ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده گردید.

## نتایج و بحث

نتایج آزمایش برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری شده برای استفاده در کشت گلخانه‌ای، در جدول ۱ ارایه شده است، ترکیب شیمیایی باگاس نیشکر و سبوس برنج مورد استفاده نیز در جدول ۲ ذکر شده است.

**جدول ۱- برخی از خصوصیات خاک مورد استفاده در پژوهش.**

| گروه بافت | شن (درصد) | سیلت (درصد) | رس (درصد) | کربن آلی (درصد) | ماده آلی (درصد) | pH (۱:۱) | EC (۱:۱) (دسی‌زیمنس بر متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| لوم رسی | ۳٤/٦۳ | ۲۹/۳۷ | ۳٦ | ۰/۵۵ | ۱/۳ | ۸/۳۰ | ۰/۸۷ |

**ادامه جدول ۱- غلظت عناصر قابل‌جذب خاک.**

| کربنات کلسیم معادل (درصد) | CEC (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم) | جرم مخصوص (گرم بر سانتی‌مترمکعب) | کربنات (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) | بیکربنات (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) |
|---|---|---|---|---|
| ۱۵/۱۹ | ۱۵/۳۷ | ۱/۱ | ۰ | ٤/٦ |

| N (درصد) | Ca (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) | Mg (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) | P (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | K (میلی‌گرم بر کیلوگرم) |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۰۷ | ۵ | ۱/۸ | ۱۰/٤۵ | ۲۵۵ |

P: قابل‌جذب با عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم و K، Ca و Mg: قابل‌جذب با عصاره‌گیر استات آمونیوم.

**ادامه جدول ۱- غلظت فلزات سنگین در خاک.**

| $Fe^{*}$ | $Fe^{**}$ | $Mn^{*}$ | $Mn^{**}$ | $Zn^{*}$ | $Zn^{**}$ | $Pb^{*}$ | $Pb^{**}$ | $Cu^{*}$ | $Cu^{**}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | | | | | | | | | |
| ۹/۱٦ | ۱۰٦۳۷/۹۵ | ۱۰/۷۰ | ۳٤۱ | ۱۹۷/٦۵ | ۱۸۹۷/٦۳ | ۳٦/۵۰ | ۲۲۲/۸۵ | ۱/۲۸ | ۱۸/۸۲ |

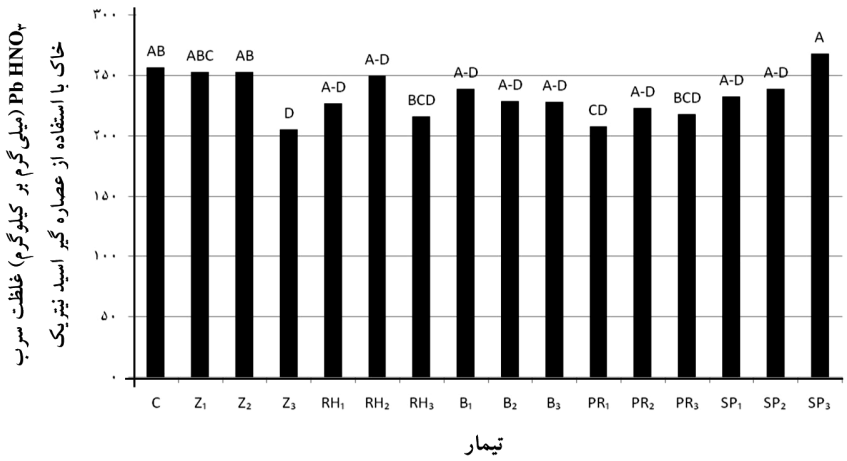
* و ** به‌ترتیب قابل استخراج با DTPA و قابل استخراج با اسید نیتریک ٤ نرمال.

**جدول ۲- ترکیب شیمیایی باگاس نیشکر و سبوس برنج مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای.**

| اصلاح‌کننده | ماده آلی (درصد) | N (درصد) | P (درصد) | K (درصد) | Fe (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | Pb (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | Zn (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | Mn (میلی‌گرم بر کیلوگرم) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| باگاس نیشکر | ۸۷/۳۳ | ۰/۳٤۸ | ۰/۳٦ | ۰/٦۳ | ۱٦۵/۹ | ۱۹/۹ | ۵۲/۹ | ۱۱۱/۸ |
| سبوس برنج | ۹٦/٤۸ | ۲/۱۲۸ | ۰/۰٤ | ۰/۱۷ | ٤٦۵/۵ | ۲٤/۳ | ٤۲/۸ | ۱۷/۲ |

براساس نتایج ارایه شده، تأثیر تیمارها بر غلظت سرب، منگنز و آهن قابل استخراج بـا $HNO_3$ در خاک معنی‌دار شد (جدول ۳).

میزان تأثیر تیمارها بر غلظت سرب در شکل ١ ارایه شده است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که مقدار این عنصر در خاک تنها در تیمار $Z_3$ و $PR_1$ نسبت به تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0/05$) بوده است. بیش‌ترین غلظت سرب قابل استخراج با $HNO_3$ (٢٦٨/٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار $SP_3$ و کم‌ترین (٢٠٥/٩ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار $Z_3$ مشاهده شد که به‌دلیل توانایی زئولیت در جذب فلزات سنگین از جمله سرب بود.




**شکل ١- تأثیر تیمارها بر غلظت سرب قابل استخراج با $HNO_3$ در خاک پس از دوره انکوباسیون. C: تیمار شاهد، $Z_1$: سطح اول زئولیت، $Z_2$: سطح دوم زئولیت، $Z_3$: سطح سوم زئولیت، $RH_1$: 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، $PR_1$: سطح اول خاک فسفات، $PR_2$: سطح دوم خاک فسفات، $PR_3$: سطح سوم خاک فسفات، $SP_1$: سطح اول سوپرفسفات‌تریپل، $SP_2$: سطح دوم سوپرفسفات‌تریپل و $SP_3$: سطح سوم سوپرفسفات‌تریپل. * حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح ١ درصد.**

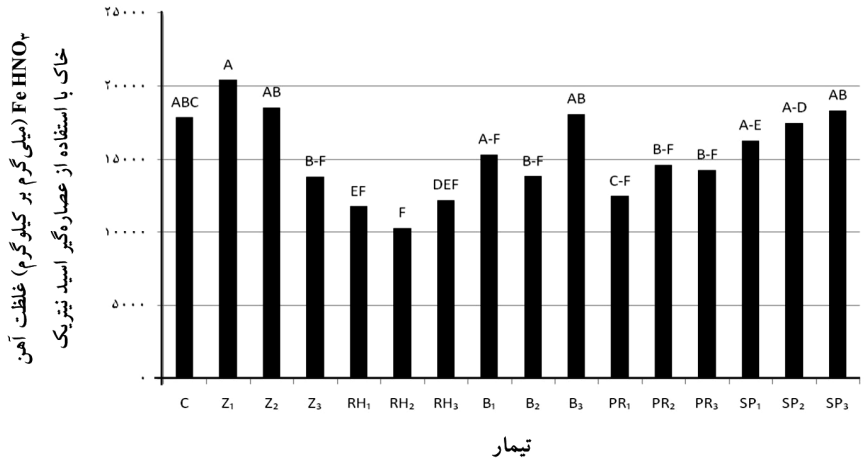
**جدول ٣- میانگین مربعات اثر تیمارها بر آهن، منگنز، سرب و روی قابل استخراج با $HNO_3$ در خاک.**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین‌مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | آهن | منگنز | سرب | روی |
| تیمار | ١٥ | ٢٥٢٢٥٥٧٦/٢٥** | ٨٦٥٤/٣** | ٩٨٧/٦٦* | ٢٠١٣٣/٢٥ns |
| خطا | ٣٢ | ٦٠٦٩٠٦٥/٧٥ | ١٤٩٦/٦ | ٤٠٣/٩٧ | ١٥٦٦٠/٩٧ |

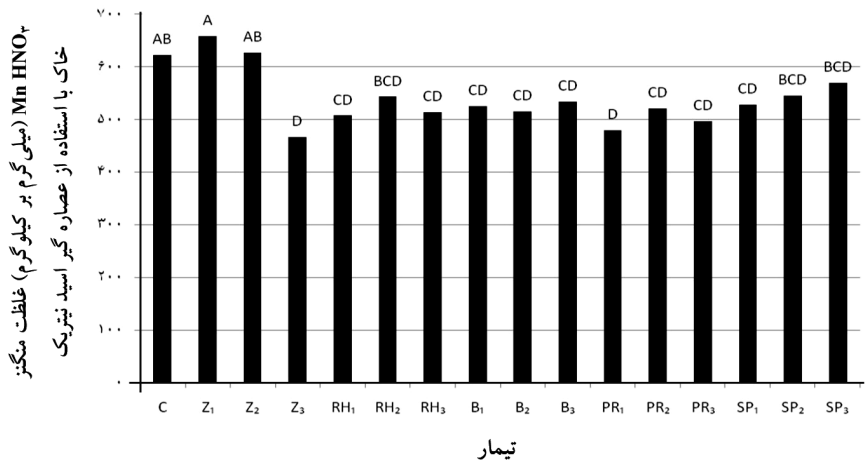
* معنی‌داری در احتمال ٥ درصد، ** معنی‌داری در احتمال ١ درصد و ns غیرمعنی‌دار.

اثر تیمارها بر غلظت آهن قابل استخراج بـا $HNO_3$ در خـاک در سـطح ۱ درصـد معنـی‌دار شـد (جدول ۳). میزان این تأثیر در شکل ۲ نشان داده شد. نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داد که به غیر از تیمار RH بقیه تیمارها در مقدار آهن قابل استخراج با اسـید نیتریـک نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند. بیش‌ترین میـزان آهـن قابـل اسـتخراج (۲۰/٤۲ گـرم بـر کیلوگرم) در تیمار $Z_1$ و کم‌ترین (۱۰/۳۲ گرم بر کیلوگرم) در تیمار $RH_2$ مشاهده شد.

تیمارها اثر معنی‌داری بر غلظت منگنز قابل استخراج با $HNO_3$ در خاک نشان دادنـد (جـدول ۳). میزان این تأثیر در شکل ۳ نشان داده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نـشان داد کـه غلظـت منگنز در تیمار $Z_1$ و $Z_2$، $RH_2$، $SP_2$ و $SP_3$ نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشته است اما در سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. همان‌طورکه در شـکل ۳ ملاحظـه مـی‌شـود کـم‌تـرین غلظت منگنز (٤٦۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار $Z_3$ مشاهده شد که می‌توانـد بـه‌دلیـل کـم بـودن غلظت منگنز در زئولیت (MnO=۰/۰٤) یا توانایی جذب و نگهداشت منگنز توسط زئولیت باشد.



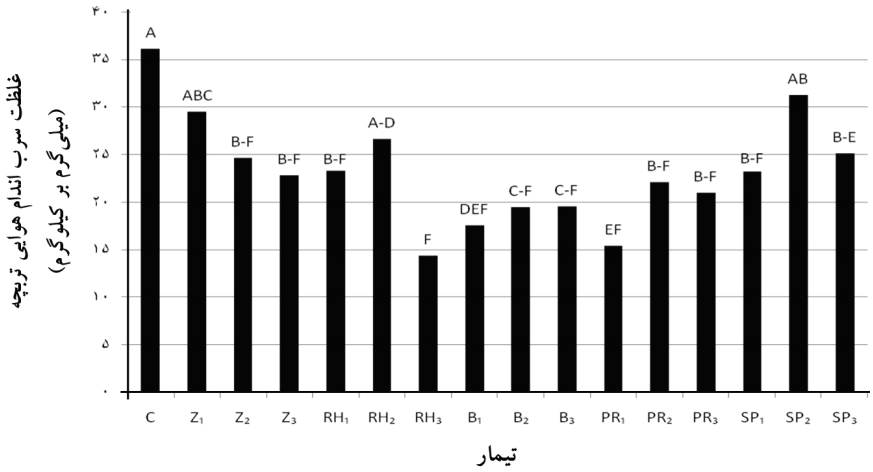

**شکل ۲- تأثیر تیمارها بر غلظت آهن قابل استخراج با $HNO_3$ در خاک پس از دوره انکوباسیون. C: تیمـار شـاهد، $Z_1$: سطح اول زئولیت، $Z_2$: سطح دوم زئولیت، $Z_3$: سطح سوم زئولیت، $RH_1$: سطح اول سبوس بـرنج، $RH_2$: سـطح دوم سبوس برنج، $RH_3$: سطح سوم سبوس برنج، $B_1$: سـطح اول باگـاس نیـشکر، $B_2$: سـطح دوم باگـاس نیـشکر، $B_3$: سطح سوم باگاس نیشکر، $PR_1$: سطح اول خاک فسفات، $PR_2$: سطح دوم خاک فسفات، $PR_3$: سطح سوم خاک فسفات، $SP_1$: سطح اول سوپرفسفات‌تریپل، $SP_2$: سطح دوم سوپرفسفات‌تریپل و $SP_3$: سطح سوم سوپرفسفات‌تریپل.**
*** حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد.**




**شکل ٣- تأثیر تیمارها بر غلظت منگنز قابل استخراج با $HNO_3$ در خاک پس از دوره انکوباسیون. C: تیمار شاهد، $Z_1$: سطح اول زئولیت، $Z_2$: سطح دوم زئولیت، $Z_3$: سطح سوم زئولیت، $RH_1$: 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، $PR_1$: سطح اول خاک فسفات، $PR_2$: سطح دوم خاک فسفات، $PR_3$: سطح سوم خاک فسفات، $SP_1$: سطح اول سوپرفسفات‌تریپل، $SP_2$: سطح دوم سوپرفسفات‌تریپل و $SP_3$: سطح سوم سوپرفسفات‌تریپل.**
*** حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح ١ درصد.**

میزان تأثیر تیمارها بر این صفت در شکل ٤ نشان داده شده‌است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نشان داد که بین مقدار سرب در تیمار $Z_1$، $RH_2$ و $SP_2$ اختلاف معنی‌داری با تیمار C نداشته‌اند ولی در بقیه تیمارها این اختلاف قابل مشاهده است. در شکل ٤، نتایج به‌دست آمده از تأثیر تیمارها بر غلظت سرب اندام هوایی تربچه ارایه شده که بر این اساس کم‌ترین میزان غلظت سرب در اندام هوایی تربچه (١٤/٤٣ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار $RH_3$ و بیش‌ترین (٣٦/٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار C مشاهده شد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود دو تیمار آلی در کاهش سرب گیاه مؤثر واقع شده‌اند.

تیمارها اثر معنی‌داری بر غلظت روی اندام هوایی تربچه نشان دادند (جدول ٤). میزان این تأثیر در شکل ٥ نشان داده شد. بر طبق مقایسه میانگین‌های انجام شده با آزمون LSD تنها تیمار $B_3$ با تیمار C در مقدار روی اختلاف معنی‌دار دارد. بیش‌ترین مقدار افزایش غلظت روی اندام هوایی تربچه (١٦ درصد) در تیمار $RH_3$ و بیش‌ترین کاهش (٣٢ درصد) در تیمار $B_3$ مشاهده شد.




**شکل ٤- تأثیر تیمارها بر غلظت سرب در اندام هوایی تربچه. C: تیمار شاهد، $Z_1$: سطح اول زئولیت، $Z_2$: سطح دوم زئولیت، $Z_3$: سطح سوم زئولیت، $RH_1$: 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، $PR_1$: سطح اول خاک فسفات، $PR_2$: سطح دوم خاک فسفات، $PR_3$: سطح سوم خاک فسفات، $SP_1$: سطح اول سوپرفسفات‌تریپل، $SP_2$: سطح دوم سوپرفسفات‌تریپل و $SP_3$: سطح سوم سوپرفسفات‌تریپل.**

*** حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد.**

**جدول ٤- میانگین مربعات اثر تیمارها آهن، منگنز، سرب و روی اندام هوایی تربچه.**

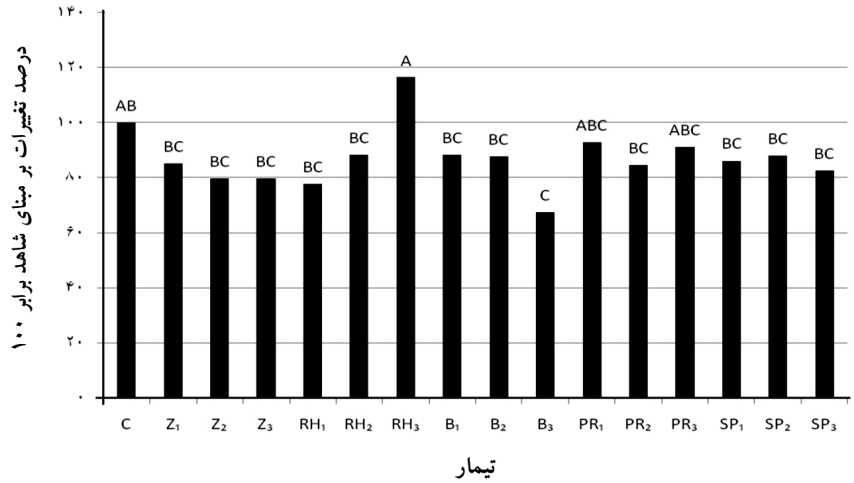
| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | آهن | منگنز | سرب | روی |
| تیمار | ۱۵ | ۳٤۱۸۱۸/۰۵** | ۱۱۷۹۳/۲۳** | ۹۸/۸۱** | ٤٦۱٦٥/۰٥** |
| خطا | ۳۲ | ۹۲۹۳٦/۹٥ | ۳٤٦٦/٤۷ | ۲۲/٤٤ | ۱۷۹۸٦/۸۳ |

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

در تأیید نتایج ارایه شده در جدول ۳ و تأثیر معنی‌دار تیمارها بر آهن قابل استخراج با اسید نیتریک در خاک، تأثیر تیمارها بر غلظت آهن موجود در اندام هوایی تربچه نیز معنی‌دار شد (جدول ٤) که میزان این تأثیر به تفکیک تیمارها در شکل ٦ ارایه شده است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز

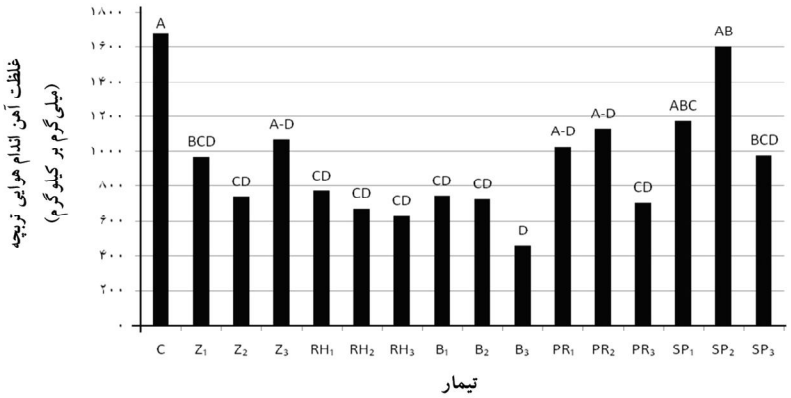
نشان داد که مقدار این عنصر در تیمار RH و B در تمامی سطوح، $Z_1$ و $Z_2$، $PR_3$ و $SP_3$ با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. در تیمار RH و B با افزایش سطح، مقدار آهن در گیاه کاهش یافت که کم‌ترین میزان آهن (٤٦٠/٧ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار $B_3$ و بیش‌ترین (١٦٨١ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار C بود.

تیمارها اثر معنی‌داری در سطح ١ درصد بر منگنز اندام هوایی تربچه نشان دادند (جدول ٤). میزان این تأثیر در شکل ٧ ارایه شده است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نیز نشان داده است که فقط مقدار منگنز اندام هوایی تربچه $Z_3$ با تیمار C اختلاف معنی‌دار داشته و بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری با تیمار C ندارند.



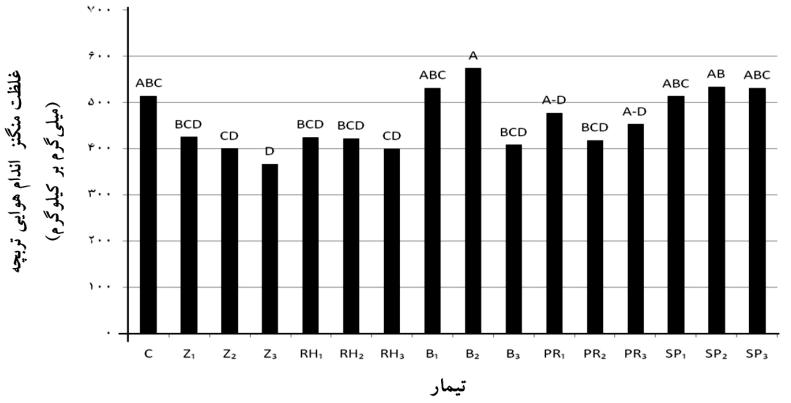

**شکل ٥- تأثیر تیمارها بر غلظت روی در اندام هوایی تربچه. C: تیمار شاهد، $Z_1$: سطح اول زئولیت، $Z_2$: سطح دوم زئولیت، $Z_3$: سطح سوم زئولیت، $RH_1$: سطح اول سبوس برنج، $RH_2$: سطح دوم سبوس برنج، $RH_3$: سطح سوم سبوس برنج، $B_1$: سطح اول باگاس نیشکر، $B_2$: سطح دوم باگاس نیشکر، $B_3$: سطح سوم باگاس نیشکر، $PR_1$: سطح اول خاک فسفات، $PR_2$: سطح دوم خاک فسفات، $PR_3$: سطح سوم خاک فسفات، $SP_1$: سطح اول سوپرفسفات‌تریپل، $SP_2$: سطح دوم سوپرفسفات‌تریپل و $SP_3$: سطح سوم سوپرفسفات‌تریپل.**

*** حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح ١ درصد.**




**شکل ٦- تأثیر تیمارها بر غلظت آهن در اندام هوایی تربچه. C: تیمار شاهد، $Z_1$: سطح اول زئولیت، $Z_2$: سطح دوم زئولیت، $Z_3$: سطح سوم زئولیت، $RH_1$: 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، $PR_1$: سطح اول خاک فسفات، $PR_2$: سطح دوم خاک فسفات، $PR_3$: سطح سوم خاک فسفات، $SP_1$: سطح اول سوپرفسفات‌تریپل، $SP_2$: سطح دوم سوپرفسفات‌تریپل و $SP_3$: سطح سوم سوپرفسفات‌تریپل.**

*** حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد.**




**شکل ۷- تأثیر تیمارها بر غلظت منگنز در اندام هوایی تربچه. C: تیمار شاهد، $Z_1$: سطح اول زئولیت، $Z_2$: سطح دوم زئولیت، $Z_3$: سطح سوم زئولیت، $RH_1$: 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، $PR_1$: سطح اول خاک فسفات، $PR_2$: سطح دوم خاک فسفات، $PR_3$: سطح سوم خاک فسفات، $SP_1$: سطح اول سوپرفسفات‌تریپل، $SP_2$: سطح دوم سوپرفسفات‌تریپل و $SP_3$: سطح سوم سوپرفسفات‌تریپل.**

*** حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد.**

## نتیجه‌گیری کلی

همان‌طوری‌که نتایج پژوهش در شکل ١ نشان می‌دهد تیمار سطح سوم زئولیت موجب ٢٠ درصد کاهش مقدار سرب خاک شده است. زئولیت‌ها، خانواده بزرگی از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی را تشکیل می‌دهند (ریهاکووا و همکاران، ٢٠٠٤). خصوصیات بی‌نظیر زئولیت‌های طبیعی از جمله کلینوپتیلولیت مانند تبادل کاتیونی، امکان تثبیت عناصر سنگین در لایه‌های کانی، جذب، آبگیری و آب‌دهی، اصلاح‌کننده‌های خاک، حامل حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها، عامل کنترل رطوبت و بو در تهیه کودهای حیوانی، عامل حذف آمونیاک و هوادهی و تولید اکسیژن در سیستم‌های پرورش، عامل حذف آفلاتوکسین از تغذیه دام، طیور و نیز محصولات کشاورزی سبب شده که امروزه توجه فراوانی به این منبع معدنی معطوف گردد (مومپتون، ١٩٩٩). بدون شک یکی از جنبه‌های مهم استفاده از زئولیت‌های طبیعی به‌ویژه کلینوپتیلولیت در کشاورزی، کاربرد آن‌ها در خاک، به‌عنوان بستر کشت و کار می‌باشد. با توجه به این‌که مقدار فلزات استخراج شده از خاک توسط اسید نیتریک به‌طور دقیق برابر مقدار کل آن‌ها در خاک نیست بنابراین کاهش غلظت فلزات سنگین در خاک می‌تواند به‌دلیل تشکیل لیگاندهای آلی و یا رسوبات نامحلول در اسید نیتریک باشد. در تأیید نتایج ارایه شده در شکل ١ در ارتباط با کاهش غلظت سرب خاک در اثر تیمار خاک با زئولیت و خاک فسفات می‌توان به پژوهش‌های دیگری که در این زمینه انجام شده است اشاره کرد. اوکی و همکاران (٢٠٠٧) از زئولیت برای جذب فلزات سنگین استفاده کردند. زئولیت غلظت مس و سرب محلول را به‌میزان (٢٣/٢٥ گرم بر کیلوگرم) و (٢٧/٠٣ گرم بر کیلوگرم) کاهش داد و در عرض ٣٠ دقیقه ٩٠ درصد مس را از محلول خاک خارج کرد. در pH<٥ ترتیب جذب فلزات توسط زئولیت: Pb>Cu>Cd≥Zn بود و گزارش کردند با کاهش اندازه ذرات زئولیت به کم‌تر از ٢ میلی‌متر، ظرفیت جذب عناصر نام‌برده افزایش می‌یابد. کانینگهام و برتی (٢٠٠٠) ترکیب فسفات سرب را نامحلول‌ترین و پایدارترین شکل سرب در خاک‌ها ذکر کردند که می‌تواند در حضور سرب و فسفر کافی به سرعت تشکیل شود. فسفات با تشکیل پیرومورفیت باعث کاهش آلودگی و تحرک Pb در خاک می‌شود. اکادا و همکاران(٢٠٠٥) تأثیر فسفات پیوند شده با آلوفان را بر جذب فلزات سنگین بررسی کردند و از کانی‌هایی با ترکیب شیمیایی $SiO_2$ ١-٢ $Al_2O_3$ ٥-٦$H_2O$ و نسبت اتمی Si/Al=٠/٨٥ و ارتوفسفات $(NH_4)_2HPO4$، $Na_2HPO_4$ و $CaHPO_4$ و تری‌فسفات $Na_5P_3O_{10}$ استفاده و گزارش کردند که سازوکار اصلی جذب فلزات سنگین واکنش‌های جایگزینی است. با توجه به نتایج تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر غلظت

روی کل در خاک نداشتند. نگهداشت عناصر فلزی توسط ماده آلی به عوامل متفاوتی از جمله pH خاک و درجه هوموسی شدن ماده آلی بستگی دارد. اسیدهای آلی با حلالیت کم و دارای وزن مولکولی زیاد در مقابل اسیدهای آلی با حلالیت زیاد دارای وزن مولکولی کم قرار دارند. مواد آلی تازه در خاک معمولاً دارای میزان کمی از مواد هومیک بوده و بیش‌تر موجب تحرک تا تثبیت و نگهداشت عناصر می‌گردد. آبشویی مس، روی و سرب به‌شدت وابسته به pH است، کم‌ترین تحرک در pH خنثی تا کمی قلیایی است بنابراین باید به تغییرات pH که بعد از استفاده از اصلاح‌کننده‌ها در خاک ایجاد می‌شود توجه کرد. روی به خوبی توسط رس‌ها و اصلاح‌کننده‌های فسفاته تثبیت می‌شود (کامپینی و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهش اودیگ‌وی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شد که ترکیبات دارای فسفر از جمله سنگ فسفات، آپاتیت، اسید فسفریک برای اصلاح خاک‌های آلوده به مس، روی و سرب مؤثر است و سازوکار تثبیت رسوب و تبادل یونی می‌باشد. در پژوهش میسرا و چاتورودی (۲۰۰۷) و (اسچکل و ریان، ۲۰۰۳) نیز اعلام شد کاربرد زئولیت، غلظت روی و سرب را در دانه جو کاهش داد اما تأثیری بر عملکرد گیاه نداشت در عین‌حال با استفاده از ۱۵ گرم زئولیت در کیلوگرم خاک کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در بخش تبادلی سرب، روی و کادمیوم مشاهده شد. با استفاده از زئولیت غلظت روی در بخش تبادلی از ۲۳۷ به ۱۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رسید. در این پژوهش نیز زئولیت به‌طور معنی‌داری غلظت سرب را در اندام هوایی تربچه کاهش داد. رایسویک و همکاران (۲۰۰٤) بیان داشتند که زئولیت طبیعی (کلینوپتیلایت) به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای غلظت روی در گیاهان ذرت و جو که در خاکی که به‌صورت مصنوعی با عنصر روی آلوده شده بود کاهش داد. زو و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر افزودن کودهای آلی آلوده به فلزات سنگین را بر جذب روی و مس در تربچه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که زیست‌توده تربچه کاملاً وابسته به مقدار روی و مس موجود در خاک بود و ارتباط خطی بین غلظت مس و روی قابل استخراج با $NH_4NO_3$ یک مولار و غلظت مس و روی در بافت‌های تربچه وجود داشت. در تیمار RH و B با افزایش سطح، مقدار آهن در گیاه کاهش یافت که به‌دلیل پایین بودن آهن در خود باگاس نیشکر بوده است، بنابراین استفاده از این اصلاح‌کننده‌ها برای کاهش جذب آهن توسط گیاه می‌تواند مؤثر باشد. طی پژوهش قراشی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شد که کاربرد فسفر سبب کاهش معنی‌دار غلظت آهن در گیاه ذرت شده است که می‌تواند نتیجه کاهش انتقال آهن از ریشه به شاخساره گیاه باشد که با نتایج این پژوهش در مورد کاهش غلظت آهن اندام هوایی تربچه در اثر تیمار خاک با $PR_3$ و $SP_3$ مطابقت دارد. طبق نتایج به‌دست آمده

از پژوهش‌های جرج و لوچی (۱۹۸۵)، کاهش غلظت آهن در گیاه ذرت به‌وسیله فسفات پیامد اثر بازدارندگی فسفر بر جذب آهن به‌وسیله ریشه و یا بر انتقال آهن از ریشه به اندام هوایی است که فسفر به‌دلیل رقابت با سیترات که وظیفه آن انتقال آهن به آوندهاست، مانع انتقال آهن می‌شود.

در مجموع کاربرد تیمارهای آلی (باگاس نیشکر و سبوس برنج) و معدنی (زئولیت) در کاهش جذب فلزات سنگین توسط گیاه مؤثر بودند. تیمار $B_3$ در کاهش غلظت آهن اندام هوایی تربچه و تیمار $Z_3$ و $RH_3$ به‌ترتیب در کاهش منگنز و سرب مؤثرترین تیمارها بودند. با توجه به اثربخشی تیمارهای آلی و ارزان‌قیمت بودن آن‌ها می‌توان برای کاهش جذب فلزات سنگین توسط گیاه و وارد نشدن آن‌ها به زنجیره غذایی استفاده نمود. انجام پژوهش‌های تکمیلی در شرایط مزرعه، توصیه می‌شود.

## منابع


1. Ali-Ehyaei, M., and Behbahanyzade, A.A. 1991. Methods of soil chemical analysis. Tech. J. Soil Water Res. Ins. (In Persian)
2. Alloway, B.J. 1990. Heavy metals in soils. John Wiley and Sons, Inc. New York. USA.
3. Atashnama, K., Golchin, A., and Esmaeli, M. 2006. Accumulation of heavy metals in three herbal plants, Soil, environment and sustainable development congress, Karaj, Iran. Pp: 303-304. (In Persian)
4. Black, C.A., and Evans, D.D. 1986. Methods of soil analysis. Part 1 and 2. Agronomy 9. Am. Soc. Agron. Madison, WI.
5. Brady, N.C., and Weil, R.R. 1999. The nature and properties of soils. 12th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
6. Chang, A.C., Warneke, J.E., Page, A.L., and Lund, L.J. 1984. Accumulation of heavy metals in sewage sludge-treated soils. Environmental Quality. 13: 87-91.
7. Chen, S., Xu, M., Ma, Y., and Yang, J. 2007. Evaluation of different phosphate amendments on availability of metals in contaminated soil. Ecotoxicology and Environmental Safety. 67: 278-285.
8. Cottenie, A. 1980. Methods of Plant Analysis. In: Soil and Plant Testing. FAO Soils Bulletin. 38: 64-100.
9. Cui, Y.S., Du, X., Weng, L.P., and Zhu, Y.G. 2008. Effect of rice straw on the speciation of cadmium and copper in soils. Geoderma. 146: 370-377.
10. Cunningham, S.D., and Berti, W.R. 2000. Phytoextraction and Phytostabilization: technical, economic and regulatory considerations of the soil-lead issue, P 359-376. In: Terry, N., Banuelos, G. (eds.), Phytoremediation of contaminated soil and water. Lewis Publishers, Boca Raton.

11. Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Tech. J. Soil Water Res. Ins. (In Persian)
12. George, C.E., and Lauchi, A. 1985. Phosphorus efficiency and phosphate-iron interaction in maize. Agronomy. 77: 399-403.
13. Gharashi, L.A., Haghnia, GH., Lakzian, A., and Khorasani, R. 2011. The effect of organic fertilizer, phosphorus and their interaction on Fe availability in corn. 12th Iranian Soil Science Congress, Tabriz. (In Persian)
14. Golchin, A., and shafiee, S. 2006. Study the effect of zanjan lead-zinc factory on the soil pollution up to 10 km from the factory. Soil, environment and sustainable development congress, Karaj, Iran. Pp: 452-454. (In Persian)
15. Khan, S., Aijun, L., Zhang, S., Hu, Q., and Zhu. Y. 2007. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. J. Hazardous Mater. 152: 506-515.
16. Knox, A.S., Brigmon, R.L., Kaplan, D.I., and Paller, M.H. 2008. Interaction among phosphate amendments, microbes and uranium mobility in contaminated sediments. Science of Total Environment. 395: 63-71.
17. Kumpiene, J., Lagerkvist, A., and Maurice, C. 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments-a review, Waste Management. 28: 215-225.
18. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 421-428.
19. Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., and Zerbi, G. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. Environmental Pollution. 132: 21-27.
20. Misra, V., and Chaturvedi, P.K. 2007. Plant uptake/bioavailability of heavy metals from the contaminated soil after treatment with humus soil and hydroxyl apatite. Environmental Monitoring and Assessment. 133: 169-176.
21. Mumpton, F.A. 1999. La roca magica: uses of natural zeolites in agriculture and industry. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS). 6: 7. 3463-3470.
22. Ok, Y.S., Yang, J.E., Zhang, Y.S., Kim, S.J., and Chung, D.Y. 2007. Heavy metal adsorption by formulated zeolite -Portland cement mixture. J. Hazardous Mater. 147: 91-96.
23. Okada, K., Nishimuta, K., Kameshima, Y., and Nakajima, A. 2005. Effect on uptake of heavy metal ions by phosphate grafting of allopHone. J. Colloid Interface Sci. 286: 447-454.
24. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeny, D.R. 1982. Methods of Soil Analysis. Part II ASA, I. SSSA, Number 9. 1145p.
25. Ping, L., Xingxiang, W., Taolin, Z., Dongmei, Z., and Yuanqiu, H. 2008. Effects of several amendments on rice growth and uptake of copper and cadmium from a contaminated soil. J. Environ. Sci. 20: 449-455.

26. Prasad, M.N.V. 2004. Heavy metal stress in plants, Second Ed. Norosa Publishing House. USA.
27. Purohit, S.S., and Agrawal, A.K. 2006. Environmental Pollution. Agrobios Publication. India. 624p.
28. Rahmani, H.R., and Shams, S.H. 2007. Lead and environment. J. Sus. Agri. 4: 3. 32-41.
29. Raicevic, S., Kaludjerovic-Radoicic, T., and Zouboulis, A.I. 2004. In situ stabilization of toxic metals in polluted soils using phosphates: Theoretical prediction and experimental verification. J. Hazardous Mater. 117: 41-53.
30. Rehakova, M., Cuvanova, S., Dzivak, M., Rimar, J., and Gaval-Ova, Z. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Current Opinion in Solid State and Materials Science. 8: 6. 397-404.
31. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts, P 167-179. In: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, 2nd ed. Agronomy Monogr. No. 9. Part 2. ASA and SSA, Madison. WI.
32. Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I., and Raskin, I. 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Biotechnology. 13: 468-475.
33. Scheckel, K., and Ryan, J. 2003. In vitro formation of pyromorphite via reaction of Pb source with soft-drink phosphoric acid. Science of the Total Environment. 302: 253-265.
34. Sumner, M.E., and Milker, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients, P 1201-1230. In: Sparks, D.L. et al. (eds.), Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
35. Udeigwe, T.K., Eze, P.N., Teboh, J.M., and Stietiya, M.H. 2010. Application, chemistry and environmental implications of contaminant-immobilization amendments on agricultural soil and water quality. Environmental International. 37: 258-267.
36. Wan Ngah, W.S., and Hanafiah, M.A.K.M. 2007. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review. Bioresource Technology. 99: 3935-3948.
37. Xenidis, A., Stouraiti, C., and Papassiopi, N. 2010. Stabilization of Pb and As in soils by applying combined treatment with phosphate and ferrous iron. J. Hazardous Mater. 177: 929-937.
38. Yizong, H., Ying, H.H., and Yunxia, L. 2009. Combined toxicity of copper and cadmium to six rice genotypes (*Oryza sativa* L.). J. Environ. Sci. 21: 647-653.
39. Zhou, D.M., Hao, X.Z., Wang, Y.J., Dong, Y.H., and Cang, L. 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. Chemosphere. 59: 167-175.

*J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(3), 2014*
*http://ejsms.gau.ac.ir*

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

# Effect of mineral and organic treatments on heavy metal concentrations in a polluted soil and radish shoots

**M. Karimi[1], *B. Motesharezadeh[2] and Gh.R. Savaghebi Firoozabadi[3]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Sciences and Soil Engineering, University of Tehran,
[2]Associate Prof., Dept. of Sciences and Soil Engineering, University of Tehran,
[3]Professor, Dept. of Sciences and Soil Engineering, University of Tehran
Received: 04/21/2013; Accepted: 04/26/2014

**Abstract**

This research was conducted on polluted soil near the lead and zinc factory in Zanjan province through which the effects of two organic and three mineral sources were examined on heavy metals fixation in randomized experiment design. Experimental treatments includes bagasse and rice husk in three levels: 12.5, 25 and 50 g per kg of soil, zeolite in three levels: 50, 100 and 150 g per kg of soil, phosphate rock mine of asfordi in three rates: 10, 30 and 50 g per kg of soil, triple superphosphate in three ratios: 75, 150 and 300 g per kg of soil accompanied with control treatment. The incubation period was performed at 18-25 ºC and in field capacity moisture. After the incubation period the heavy metals concentration in soil were measured and the radish was planted. After harvesting the shoot the concentration of lead, zinc, iron and manganese in the shoot of radish were measured. The results of data Analysis of Variance (ANOVA) showed that treatments had significant effect on reduction of iron, manganese and lead concentration in soil (extractable by nitric acid) and radish shoot ($P<0.01$). The most effective treatment on reduction of soil iron concentration was in the second level of rice husk. The reduction in manganese and lead concentration was observed in the third level of zeolite. The lowest concentration in radish shoot was observed in third level of bagasse treatment (460.7 mg/kg), manganese in third level of zeolite treatment (370 mg/kg) and lead (14.43 mg $kg^{-1}$) in third level of rice husk. According to the organic and zeolite treatment on heavy metal fixation in soil and reduction of plant uptake this treatment can be used to amend the lead polluted soil.

***Keywords:*** Bagasse, Radish, Zeolite, Rice husk, Heavy metals

* Corresponding Authors; Email: moteshare@ut.ac.ir