

اثر کمپوست زباله شهری و زئولیت بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در یک خاک لومی (مطالعه موردی: کمپوست زباله شهری اراک)

*امیرحسین بقائی

استادیار گروه خاک‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از افزودنی‌های آلی به‌عنوان یک ماده ارزان‌قیمت برای اصلاح خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک رو به افزایش است و در این میان استفاده از کمپوست زباله شهری احتمالاً می‌تواند با افزایش پی‌اچ، درصد کربن آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی باعث کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین خاک نظیر کادمیم شود. از سویی دیگر کاربرد رس‌های طبیعی خاک نظیر زئولیت‌ها احتمالاً می‌تواند با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باعث کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک و گیاه شود، هر چند که قابلیت دسترسی عناصر غذایی خاک نیز ممکن است تحت‌تأثیر قرار گیرد. این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد کمپوست زباله شهری اراک و زئولیت بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در یک خاک با بافت لومی انجام شد.

مواد و روش‌ها: خاکی با بافت لومی، غیرشور با درصد کربن آلی پائین از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اراک نمونه‌برداری شد. این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد کمپوست زباله شهری اراک در مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار بود. خاک با مقادیر ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک از منبع کلرید کادمیم آلوده و به‌مدت یک ماه نگهداری شد. از سویی دیگر زئولیت (از نوع کیلینوپتیلولایت) با مقادیر ۰ و ۱۰ درصد وزنی به خاک اضافه شد. سپس بذر ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) کاشته شد. بعد از گذشت ۶۰ روز از شروع آزمایش، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و غلظت کادمیم در خاک و گیاه ذرت اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج بیانگر آن بود که افزایش کاربرد کمپوست زباله شهری از ۰ به ۳۰ مگاگرم در هکتار باعث افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (۳ واحدی) و پی‌اچ خاک تحت کشت ذرت شد. افزایش کاربرد کمپوست زباله شهری اراک از ۰ به ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار در خاک آلوده به ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و فاقد کاربرد زئولیت به‌ترتیب باعث کاهش ۱۹ و ۳۰ درصدی در مقدار کادمیم قابل‌عصاره‌گیری با DTPA شد. مشابه این نتیجه، غلظت کادمیم ریشه و ساقه نیز کاهش یافت، به‌طوری‌که کاربرد ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری اراک (در خاک آلوده به ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک) و بدون دریافت زئولیت به‌ترتیب باعث کاهش ۳۷ و ۶۶ درصدی غلظت کادمیم ریشه و شاخساره گیاه شد. علاوه بر این، کاربرد زئولیت در مقدار ۱۰ درصد وزنی، در خاک

* مسئول مکاتبه: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

آلوده به کادمیم (۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری باعث کاهش ۷ درصدی مقدار کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA شد. غلظت کادمیم ریشه و شاخساره گیاه نیز به ترتیب ۱۶ و ۲۳ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: کم‌ترین مقدار کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در یک خاک آلوده کادمیم به ۵ میلی‌گرم کادمیم و تیمار شده با ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری و ۱۰ درصد وزنی زئولیت مشاهده شد، این در حالی است که بیش‌ترین مقدار کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA مربوط به خاکی که فاقد دریافت کمپوست زباله شهری و زئولیت و آلوده به ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک بود. نتایج کلی این پژوهش بیانگر آن است که کاربرد زئولیت و کمپوست زباله شهری اراک احتمالاً می‌تواند با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باعث کاهش غلظت کادمیم در خاک یا گیاه شود، هر چند که سایر اثرات کاربرد این افزودنی‌های آلی نیز نباید نادیده گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: کمپوست زباله شهری، کادمیم، زئولیت، ذرت، آلودگی خاک

مقدمه

استفاده از کودهای آلی در باروری زمین‌های کشاورزی از دیرباز مرسوم بوده است. با توجه به کمبود مواد آلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از این کودها باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد. اهمیت کمپوست زباله شهری علاوه بر ارزش غذایی آن به دلیل اصلاح خصوصیت فیزیکی خاک دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد (۳). کمپوست شکل پایداری از مواد آلی خاک را فراهم می‌کند که خصوصیات فیزیکی، ظرفیت نگهداری آب، خلل و فرج کل خاک، پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت به فرسایش و جرم مخصوص ظاهری خاک را اصلاح می‌کند (۲۷). اله‌دادی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی تأثیر کاربرد مقادیر ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری را بر ویژگی‌ها و غلظت عناصر غذایی خاک و رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که با افزایش کاربرد کمپوست زباله شهری در خاک ارتفاع بوته، وزن خشک و عملکرد علوفه‌ای گیاه افزایش یافت که بیش‌ترین مقدار صفات مذکور در اثر کاربرد ۴۵ و ۶۰ تن در هکتار کمپوست به دست آمد (۴). همچنین

نتایج تجزیه خاک نشان داده بود که افزایش کاربرد کمپوست باعث افزایش غلظت عناصر کلسیم، پتاسیم، منیزیم، فسفر خاک و همچنین درصد ماده آلی خاک شده است (۴).

استفاده کودهای آلی نظیر کمپوست زباله شهری در مواردی که این کود غیرآلوده به فلزات سنگین نظیر سرب و کادمیم باشد علاوه بر این که می‌تواند به‌عنوان یک کود آلی مفید و مغذی مورد استفاده قرار گیرد، در بسیاری مواقع احتمالاً می‌تواند با افزایش مکان‌های جذبی بخش جامد خاک، باعث کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین از جمله کادمیم شود (۱۵). عابدینی و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی اثر کاربرد بخش معدنی و آلی لجن فاضلاب بر قابلیت دسترسی سرب در یک خاک لومی آلوده به سرب مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که بخش معدنی و آلی موجود در این ترکیبات باعث کاهش معنی‌داری در مقدار سرب قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک تیمار شده با کود آلی شده است (۲).

شومن و همکاران (۲۰۰۲) در پژوهشی بیان کردند که مصرف ۱۰۰ و ۳۰۰ مگاگرم در هکتار کمپوست

عناصر غذایی گیاه نباید نادیده گرفته شود (۲۳). اسپیرنسی و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که افزایش کانی زئولیت با لجن فاضلاب باعث کاهش غلظت شکل متحرک کادمیم شده است (۴۱). انصاری و همکاران (۲۰۰۷) نیز در پژوهشی تأثیر کاربرد زئولیت بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیم را در خاکی آلوده در استان گیلان مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از این کانی باعث کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در خاک شده است (۶).

تاکنون مطالعات زیادی درباره نقش کاربرد کودهای آلی آلوده به فلزات سنگین بر افزایش قابلیت دسترسی آن‌ها در خاک‌های با آلودگی کم صورت گرفته است (۱۱، ۴۲)، ولی نقش بخش معدنی و آلی این افزودنی‌های آلی بر پالایش خاک آلوده به فلزات سنگین کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است (۳۹)، بنابراین این پژوهش با هدف برهم‌کنش اثر کاربرد کمپوست زباله شهری اراک (غیرآلوده به فلزات سنگین) و زئولیت بر کاهش قابلیت جذب کادمیم به وسیله گیاه ذرت به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در یک گلخانه تحقیقاتی واقع در روستای امان‌آباد واقع در جنوب شرقی شهرستان اراک اجرا شد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار کمپوست زباله شهری اراک در سه سطح ۰، ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار، زئولیت (از معدن سیاه زاغ سمنان) در دو سطح ۰ و ۱۰ درصد وزنی خاک (۱، ۱۲، ۳۱) و کادمیم از منبع کلرید کادمیم در پنج سطح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک (۷، ۱۴، ۲۶، ۳۹) اجرا شد.

توانسته است باعث کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در خاک و به دنبال آن کاهش قابلیت جذب کادمیم به وسیله گیاه شود (۴۰)، هر چند که در این پژوهش به نقش اثر رقت (۲۳) به دلیل رشد و افزایش توان مقاومتی گیاه به عنوان عاملی در جهت کاهش غلظت کادمیم در گیاه اشاره نشده است.

با توجه به پژوهش‌هایی که درباره اثر کاربرد زئولیت بر رشد و عملکرد گیاهان (۲۰، ۲۹) و همچنین جلوگیری از آبهویی نیتروژن صورت پذیرفته است (۲۹، ۳۰)، استفاده از این کانی احتمالاً می‌تواند با تأثیر بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک قابلیت دسترسی فلزات سنگین را تحت تأثیر قرار دهد (۱۸)، هر چند که ممکن است قابلیت دسترسی عناصر غذایی تحت تأثیر قرار گیرد (۴۶). استفاده از مبادله‌کننده‌های معدنی به ویژه انواع طبیعی آن‌ها مدت‌های مدیدی است که مورد توجه دانشمندان محیط زیست قرار گرفته است و تاکنون کاربردهای زیادی در مقیاس صنعتی پیدا کرده است. در میان مبادله‌کننده‌های معدنی، زئولیت‌ها و مخصوصاً انواع طبیعی آن‌ها نظیر کِلینوپتیلولایت به دلایلی چون انتخاب‌گری بالا نسبت به کاتیون‌های مختلف از جمله کاتیون‌های فلزات سنگین، پایداری شیمیایی، فیزیکی و حرارتی مطلوب و قیمت ارزان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۶). سعادت و بارانی‌مطلق (۲۰۱۳) در پژوهشی تأثیر زئولیت کلینوپتیلولیت طبیعی ایران بر جذب سرب و کادمیم لجن فاضلاب کاربردی توسط ذرت را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از کانی زئولیت موجب کاهش معنی‌دار غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت و افزایش معنی‌دار pH خاک شده است (۳۸)، هر چند که نقش افزایش pH خاک بر تغییر قابلیت دسترسی

گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ و همچنین ویژگی‌های کمپوست زباله شهری اراک و زئولیت مورد استفاده به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ذکر شده است.

جهت بررسی نقش کمپوست زباله شهری اراک و زئولیت بر میزان کادمیم قابل دسترس در خاک، خاکی با ده درصد کربنات کلسیم معادل و کربن آلی نسبتاً پائین از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک واقع در شهرک دانشگاهی امیرکبیر انتخاب

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در این پژوهش.

Table 1. Physico-chemical properties of soil used in this research.

ظرفیت تبادل کاتیونی	فسفر قابل استفاده	کادمیم کل	کربنات کلسیم معادل خاک	بافت خاک	کربن آلی	قابلیت هدایت الکتریکی	بج‌اج
CEC (Cmol (+)kg ⁻¹ soil)	Available P (mg kg ⁻¹)	Total Cadmium (mg kg ⁻¹)	Calcium Carbonate Equilibrium(%)	Soil Texture class	OC(%)	EC(dS m ⁻¹)	pH
10.8	20	ND*	10	Loamy	0.1	1.04	7

ND*: قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود

جدول ۲- ویژگی‌های کمپوست زباله شهری اراک مورد استفاده در این پژوهش.

Table 2. Arak municipal waste compost characteristic used in this research.

روی کل	سرب کل	کادمیم کل	فسفر قابل استفاده	نیتروژن کل	درصد کربن آلی	قابلیت هدایت الکتریکی	بج‌اج
Total Zn (mg kg ⁻¹)	Total Pb (mg kg ⁻¹)	Total Cd (mg kg ⁻¹)	Available P (mg kg ⁻¹)	Total N(%)	OC (%)	EC (1:5) dS m ⁻¹	pH(1:5)
100	20	1	172	1.4	16	2.3	7.5

جدول ۳- ویژگی‌های زئولیت مورد استفاده در این پژوهش.

Table 3. Zeolite characteristic used in this research.

ویژگی‌های شیمیایی زئولیت Zeolite chemical properties												
EC	pH	P ₂ O ₅	MnO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	عناصر
dS m ⁻¹	---	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	Elements (W/W)
0.1	7.44	0.08	0.02	2.2	0.1	3.3	5	0.3	4	16.1	68	
ویژگی‌های فیزیکی زئولیت Zeolite physical properties												
رنگ	درصد کانی‌های زئولیت			ظرفیت تبادل کاتیونی				جرم مخصوص حقیقی			جرم مخصوص ظاهری	
color	Zeolite mineral percentage			Cation Exchange Capacity (cmol+ kg ⁻¹ soil)				Particle density (gr cm ⁻³)			Bulk density (gr cm ⁻³)	
سبز روشن	90-94			165-182				2.2			1	

برداشت بوته‌های گیاه ذرت ۶۰ روز پس از کاشت انجام شد. پس از برداشت، نمونه‌های گیاهی ابتدا با آب معمولی و سپس با آب دو بار تقطیر شده شسته شدند. ریشه و اندام هوایی از محل طوقه جدا، کاملاً شستشو داده شده و هر کدام جداگانه وزن و به داخل پاکت کاغذی منتقل گردید. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار داده شد، سپس نمونه‌ها توسط آسیاب برقی به پودر تبدیل شده و در ظروف پلاستیکی نگهداری شد. نمونه‌ها در دمای ۴۸۰ درجه سلسیوس خاکستر و غلظت فلزات سنگین بعد از عصاره‌گیری نمونه‌های با اسید کلریدریک دو نرمال با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شد (۲۴). همچنین میزان کادمیم کل موجود در نمونه خاک (۵) و عناصر سنگین موجود در کمپوست زباله شهری (۴۵) توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شد. هم‌زمان با برداشت گیاه، از خاک گلدان‌های تحت کشت گیاه ذرت جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک، پس از هواخشک شدن و کوبیدن، از الک ۲ میلی‌متری گذرانده و جهت تجزیه مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت اندازه‌گیری مقدار کربن آلی در نمونه خاک یا کمپوست زباله شهری از روش اکسیداسیون تر (۳۴) و ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه خاک از روش کلرید باریم استفاده شد (۳۷). بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۷) اندازه‌گیری شد برای اندازه‌گیری pH و EC کمپوست زباله شهری و ژئولیت به ترتیب از نسبت ۱:۵ کمپوست به آب و ۱:۵ ژئولیت به آب و در مورد نمونه خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شده است (۳۸). ظرفیت تبادل کاتیونی ژئولیت با روش کلرید باریم تعیین شد (۳۷). فسفر

خاک مورد استفاده با روش اسپری در مقادیر فوق‌الذکر به فلز کادمیوم آلوده شد (۲۱). جهت رسیدن به تعادل نسبی، نمونه خاک‌های آلوده شده به مدت یک ماه به حالت خود رها شد (۳۳). ژئولیت نیز در مقادیر ۰ و ۱۰ درصد وزنی به خاک اضافه شد. همچنین کمپوست شهری اراک در مقدار ۰، ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار به خاک آلوده شده به کادمیم اضافه و خاک تیمار شده به مدت یک ماه داخل گلدان پلاستیکی ۵ کیلوگرمی به حال خود رها شد و در این مدت جهت به تعادل رسیدن مرتباً خاک تیمار شده تر و خشک شده تا سیستم به حالت تعادل برسد (۳۲). داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر کاشته شده و بعد از استقرار گیاهان، شمار بوته‌ها به چهار عدد تنک گردید.

به منظور نزدیک کردن به شرایط واقعی مزرعه سعی شد دمای گلخانه تقریباً متناسب با دمای رشد گیاه ذرت در طی فصل رشد گیاه در محیط مزرعه تنظیم گردد. با توجه به این‌که هدف این پژوهش بررسی نقش بخش آلی افزودنی‌های آلی بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در خاک بوده است، سعی شد در دوران رشد جهت کنترل حشرات و بیماری‌ها از هیچ‌گونه سمی استفاده نگردد و تنها از طریق نصب کارت‌های زرد چسبنده در بالای سر گلدان‌ها از بروز آفات نظیر شته‌ها، مگس سفید و ... جلوگیری شد. همچنین برای جلوگیری و کنترل بیماری‌ها رطوبت محیط گلخانه تا حد ممکن پائین نگه داشته شد. در طول دوره رشد گیاه، عملیات آبیاری و وجین علف هرز ۳ تا ۴ روز یکبار به‌طور یکنواخت انجام شد. هر هفته یکبار نیز گلدان‌ها کاملاً جابجا شده تا تمامی گلدان‌ها در شرایط محیطی یکسان (نور و گرما) قرار گیرد.

واحدی درصد کربن آلی خاک شده است (شکل ۱-ب). اصغری پور و رحمانیان (۲۰۱۵) در پژوهشی گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری از طریق افزایش pH خاک تأثیر زیادی بر قابلیت دسترسی کادمیم در خاک داشته است (۸).

اثر برهم کنش کمپوست زباله شهری و زئولیت بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک معنی دار بود (جدول ۴). کاربرد ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری به همراه کاربرد ۱۰ درصد وزنی زئولیت باعث افزایش ۴/۱ واحدی در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نسبت به خاک فاقد کاربرد کمپوست و زئولیت شد (شکل ۲). افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در نتیجه کاربرد هم‌زمان زئولیت و کمپوست زباله شهری اراک احتمالاً می‌تواند با افزایش مکان‌های جذبی خاک، باعث کاهش قابلیت دسترسی کادمیم توسط گیاه (۸، ۴۴) و در نتیجه خطر جذب این فلز توسط گیاه را کاهش دهد (۲۸)، هر چند که نقش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بر تعادل تغذیه‌ای خاک نباید نادیده گرفته شود.

سعادت و بارانی‌مطلق (۲۰۱۳) در پژوهشی اثر کاربرد زئولیت و لجن فاضلاب بر قابلیت دسترسی سرب و کادمیم توسط گیاه ذرت را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در اثر کاربرد زئولیت و لجن فاضلاب عامل مؤثری در میزان سرب و کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA و به دنبال آن جذب کم‌تر توسط گیاه ذرت بوده است (۳۸).

قابل دسترس موجود در نمونه‌های خاک و کود به روش اولسن (۳۶) اندازه‌گیری شد. مقدار کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود (۳۵) تعیین شد. مقدار نیتروژن کمپوست زباله شهری به روش کج‌لدال (۱۳) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS انجام گرفت و مقایسه‌های میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

اثر باقی‌مانده تیمارهای مورد آزمایش: اثر ساده کاربرد تیمارهای کمپوست زباله شهری بر pH و درصد کربن آلی خاک معنی دار بود (جدول ۴). کاربرد ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری باعث افزایش معنی‌داری در pH خاک نسبت به خاک فاقد کاربرد کمپوست شده است (شکل ۱-الف) که افزایش pH خاک تیمار شده احتمالاً می‌تواند تا حدودی یکی از عوامل کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در خاک شود (۲۲) و در نتیجه خطر کاشت گیاه ذرت را در یک خاک آلوده به کادمیم می‌تواند کاهش دهد، هر چند که نقش pH خاک در تغییر قابلیت دسترسی عناصر غذایی نباید نادیده گرفته شود. همچنین کاربرد کمپوست زباله شهری باعث افزایش درصد کربن آلی خاک شده است، به نحوی که کاربرد ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری اراک به ترتیب باعث افزایش ۰/۵ و ۰/۷

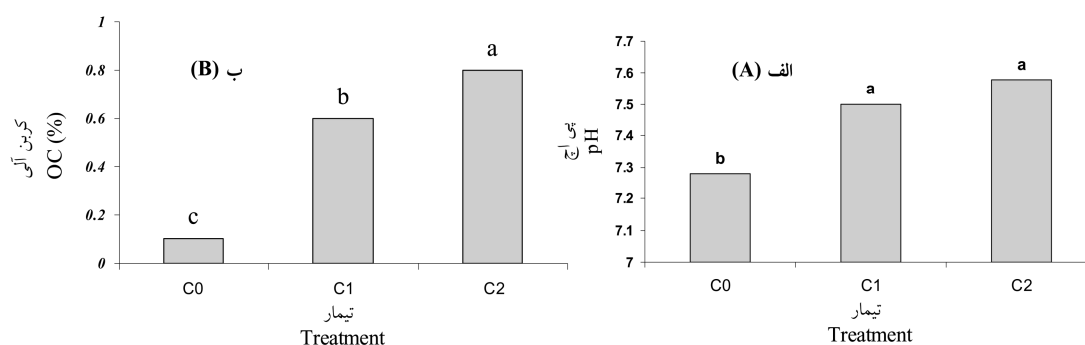
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر کمپوست زباله شهری، زئولیت و کادمیوم بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و غلظت کادمیوم در خاک و گیاه.

Table 4. Analysis of variance effect of municipal waste compost, zeolite and cadmium on soil chemical properties and soil and plant Cd concentration.

میانگین مربعات mean of squares						درجه آزادی df	منابع تغییر Sources of variations
کادمیم شاخساره Shoot Cd	کادمیم ریشه Root Cd	کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA DTPA-extractable Cd	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	کربن آلی OC	بی‌اج pH		
0.096 ^{ns}	26.336**	0.108*	0.003*	0.077 ^{ns}	0.070 ^{ns}	2	بلوک Block
271.404**	21004.010**	125.300**	102.376**	3.646**	1.828**	2	کمپوست compost
88.605*	4258.720*	32.280*	0.026**	0.126 ^{ns}	0.188 ^{ns}	1	زئولیت Zeolite
826.004**	59567.487**	445.687**	0.023 ^{ns}	0.077 ^{ns}	0.101 ^{ns}	4	کادمیم Cd
4.517**	549.736**	0.738**	0.051**	0.116 ^{ns}	0.319 ^{ns}	2	کمپوست × زئولیت Compost × Zeolite
52.336**	1697.726*	13.135**	0.027 ^{ns}	0.084 ^{ns}	0.123 ^{ns}	8	کمپوست × کادمیم Compost × Cd
12.972**	320.249**	3.261*	0.022 ^{ns}	0.091 ^{ns}	0.140 ^{ns}	4	زئولیت × کادمیم Zeolite × Cd
1.791**	166.589**	0.437**	0.014 ^{ns}	0.084 ^{ns}	0.120 ^{ns}	8	کمپوست × زئولیت × کادمیم Compost × Zeolite × Cd
0.137	6.655	0.063	0.013	0.088	0.069	58	خطا Error

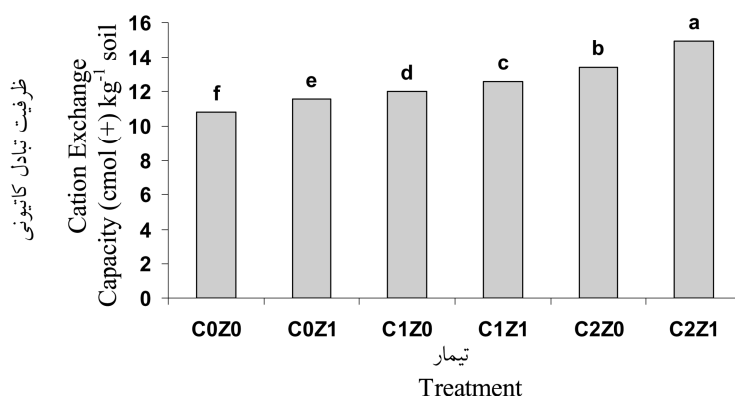
^{ns}, *, ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, *, ** Non-significant, significant at 5 and 1 percent probability level, respectively.



شکل ۱- نتایج کاربرد اثر ساده کاربرد کمپوست زباله شهری بر بی‌اج (الف) و کربن آلی (ب) خاک، C₀، C₁ و C₂ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری می‌باشد. داده‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد از لحاظ آماری بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 1. Primary effect of applying municipal waste compost on soil pH (A) and OC (B), C₀, C₁ and C₂ are applying 0, 15 and 30 Mg ha⁻¹ municipal waste compost, Means followed by the same letter in each column are not significantly different (P=0.05, LSD).



شکل ۲- اثر برهم کنش کاربرد کمپوست زباله شهری و زئولیت بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، C₀، C₁ و C₂ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری، Z₀ و Z₁ کاربرد مقادیر ۰ و ۱۰ درصد وزنی زئولیت می باشد.

Figure 2. Interaction effect of municipal waste compost and zeolite on cation exchange capacity, C₀, C₁ and C₂ are applying 0, 15 and 30 Mg ha⁻¹ municipal waste compost, Z₀ and Z₁ are zeolite applying as 0 and 10% (W/W).

دستگاه نبود. صرف نظر از خاک فاقد کاربرد کادمیم (Cd₀)، کمترین میزان کادمیم قابل عصاره گیری به وسیله DTPA در خاک همراه با ۱۰ درصد وزنی زئولیت همراه با کاربرد ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست و ۵ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک مشاهده شد که این می تواند بیانگر نقش مثبت کاربرد زئولیت (۱۹) و کمپوست در افزایش مکان های جذبی کادمیم در خاک و کاهش قابلیت دسترسی این عنصر توسط گیاه باشد (۲۵).

اثر کاربرد کمپوست، زئولیت و کادمیم بر میزان کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA: نتایج جدول ۴ بیانگر معنی دار بودن اثر برهم کنش کاربرد کمپوست زباله شهری، زئولیت و کادمیم بر مقدار کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA می باشد. بیشترین میزان کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA در خاک فاقد کاربرد زئولیت و کمپوست زباله شهری همراه با کاربرد ۲۰ میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد (جدول ۵).

میزان کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA در خاک های فاقد کاربرد کادمیم قابل اندازه گیری به وسیله

جدول ۵- اثر کاربرد کمپوست زباله شهری، زئولیت و کادمیم بر مقدار کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA.

Table 5. Effect of municipal waste compost, zeolite and cadmium on DTPA-extractable Cd (mg kg⁻¹).

Z ₁ Cd ₂₀	Z ₁ Cd ₁₅	Z ₁ Cd ₁₀	Z ₁ Cd ₅	Z ₁ Cd ₀	Z ₀ Cd ₂₀	Z ₀ Cd ₁₅	Z ₀ Cd ₁₀	Z ₀ Cd ₅	Z ₀ Cd ₀	Treatment
16.1 ^b	12.1 ^f	16.9 ^K	2.6 ^o	ND	17.3 ^a	13.2 ^d	8.1 ^j	3.2 ⁿ	ND*	C ₀
12.8 ^c	10.2 ^h	5.1 ^m	1.4 ^q	ND	14.1 ^c	11.7 ^g	6.8 ^l	2.1 ^p	ND	C ₁
10.2 ^h	7.1 ^k	3.2 ⁿ	0.6 ^r	ND	12.1 ^f	9.2 ⁱ	5.1 ^m	1.3 ^q	ND	C ₂

C₀، C₁ و C₂ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری، Cd₀، Cd₅ و Cd₁₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، Z₀ و Z₁ کاربرد مقادیر ۰ و ۱۰ درصد وزنی زئولیت می باشد، ** اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند و ND*: قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

C₀، C₁ and C₂ are applying 0,15 and 30 Mg ha⁻¹ municipal waste compost, Cd₀، Cd₅ and Cd₁₀ are applying 0, 5 and 10 mg Cd kg⁻¹ soil, Z₀ and Z₁ are zeolite applying 0 and 10 % (W/W), Means followed by the same letter in each column or row are not significantly different (P=0.05, LSD), ND: Not detectable by atomic absorption spectroscopy.

ویژگی‌های جذبی خاک نظیر افزایش مکان‌های تبدیلی خاک کمک شایانی به کاهش اثرات زیست‌محیطی کادمیم از راه کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در خاک کند. نکته قابل ذکر این است که هر چند کودهای آلی می‌تواند با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باعث کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین از جمله کادمیم شود ولی تجزیه آن‌ها در درازمدت گاهی ممکن است باعث رهاسازی مجدد و بالا رفتن قابلیت دسترسی آن‌ها شود، بنابراین استفاده از رس‌های تجزیه‌ناپذیر همانند زئولیت احتمالاً می‌تواند کمک شایانی به جلوگیری از رهاسازی مجدد این فلزات در خاک شود. نتایج این پژوهش بیانگر آن است که کاربرد هم‌زمان کمپوست و رس زئولیت می‌تواند ضمن بالا بردن عناصر تغذیه‌ای گیاه باعث کاهش قابلیت دسترسی فلز سنگین کادمیم در خاک شود.

اثر کاربرد کمپوست، زئولیت و کادمیم بر غلظت کادمیم موجود در ریشه و شاخساره: نتایج جدول ۴ بیانگر معنی‌دار بودن اثر برهم‌کنش کاربرد کمپوست زباله شهری، زئولیت و کادمیم بر غلظت کادمیم در ریشه و شاخساره ذرت می‌باشد. بیش‌ترین غلظت کادمیم ریشه در خاک آلوده به ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و فاقد کاربرد کمپوست و زئولیت مشاهده شد (جدول ۶)، این در حالی است که کم‌ترین غلظت کادمیم قابل اندازه‌گیری ریشه گیاه در خاک آلوده به ۵ میلی‌گرم کادمیم همراه با کاربرد ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست و ۱۰ درصد وزنی زئولیت مشاهده شد. مقدار کادمیم ریشه گیاه در خاک فاقد کاربرد کادمیم (Cd_0) قابل اندازه‌گیری نبود.

اضافه کردن ۱۰ درصد وزنی زئولیت به خاکی با ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری و آلوده به ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک نسبت به خاکی با همین میزان دریافت کمپوست زباله شهری، به‌ترتیب باعث کاهش ۳۷ و ۱۶ درصدی در میزان کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA شده است که دلیل آن را می‌توان به نقش زئولیت در افزایش مکان‌های جذبی خاک و به‌دنبال آن کاهش میزان کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA دانست (۳۰).

کاربرد ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری در خاک فاقد کاربرد زئولیت و حاوی ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب باعث کاهش ۱۹ و ۳۱ درصدی در میزان کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA نسبت به خاکی بدون کاربرد کمپوست زباله شهری و زئولیت شد که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش بخش معدنی و آلی کمپوست زباله شهری در تثبیت فلز سنگین دانست (۹، ۴۷). شریفی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی اثر کاربرد کود گاوی و لجن فاضلاب را بر غلظت کادمیم قابل دسترس در خاک مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بخش معدنی و آلی موجود در این ترکیبات نقش مهمی در کاهش قابلیت دسترسی کادمیم دارد (۳۹).

با توجه به مطالب ذکر شده چنین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کمپوست زباله شهری احتمالاً علاوه بر این‌که می‌تواند به‌عنوان یک کود آلی مغذی مورد استفاده قرار گیرد، با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و نیز افزایش pH خاک، قابلیت دسترسی کادمیم را در خاک آلوده تحت‌تأثیر قرار داده که در این راه افزودن زئولیت توانسته است با افزایش

جدول ۶- اثر کاربرد کمپوست زباله شهری، ژئولیت و کادمیوم بر غلظت کادمیم ریشه گیاه ذرت.

Table 6. Effect of municipal waste compost, zeolite and cadmium on corn root cadmium concentration (mg kg⁻¹).

Z ₁ Cd ₂₀	Z ₁ Cd ₁₅	Z ₁ Cd ₁₀	Z ₁ Cd ₅	Z ₁ Cd ₀	Z ₀ Cd ₂₀	Z ₀ Cd ₁₅	Z ₀ Cd ₁₀	Z ₀ Cd ₅	Z ₀ Cd ₀	Treatment
42.4 ^b	25.4 ^f	16.3 ^h	8.6 ^j	ND	50 ^a	30 ^e	20 ^g	11.2 ⁱ	ND*	C ₀
36.4 ^c	20.2 ^g	11.3 ⁱ	6.4 ^{kl}	ND	41.3 ^b	24.8 ^f	15.8 ^h	8.1 ^j	ND	C ₁
24.3 ^f	15.8 ^h	6.8 ^k	2.1 ^m	ND	31.2 ^d	19.3 ^g	10.3 ⁱ	5.3 ^l	ND	C ₂

C₀, C₁ و C₂ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری، Cd₀، Cd₅ و Cd₁₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، Z₀ و Z₁ کاربرد مقادیر ۰ و ۱۰ درصد وزنی ژئولیت می باشد، ** اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند و ND*: قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

C₀, C₁ and C₂ are applying 0, 15 and 30 Mg ha⁻¹ municipal waste compost, Cd₀, Cd₅ and Cd₁₀ are applying 0, 5 and 10 mg Cd kg⁻¹ soil, Z₀ and Z₁ are zeolite applying 0 and 10 % (W/W), Means followed by the same letter in each column or row are not significantly different (P=0.05, LSD), ND: Not detectable by atomic absorption spectroscopy.

این می تواند نقطه مهمی از لحاظ مطالعات زیست محیطی به حساب آید (۹، ۱۰).

بیشترین غلظت کادمیم شاخساره در خاک آلوده به ۲۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و فاقد کاربرد کمپوست و ژئولیت (C₀Z₀Cd₂₀) مشاهده شد (جدول ۷). کمترین غلظت کادمیم شاخساره گیاه در خاک آلوده به ۵ میلی گرم کادمیم همراه با کاربرد ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست و ۱۰ درصد وزنی ژئولیت مشاهده شد. مقدار کادمیم شاخساره گیاه در تیمارهای فاقد کاربرد کادمیوم (Cd₀) قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

کاربرد ۱۰ درصد ژئولیت در خاک آلوده به ۱۰ میلی گرم کادمیم و بدون کاربرد کمپوست زباله شهری (C₀Z₁Cd₁₀) باعث کاهش ۲۵ درصدی در غلظت کادمیم شاخساره گیاه شد که دلایل احتمالی آن را می توان به نقش کاربرد ژئولیت در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (شکل ۲) و به دنبال آن کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در خاک و ریشه گیاه و متعاقب آن انتقال کم تر کادمیم به شاخساره گیاه دانست، هر چند که نوع و نقش فیزیولوژیکی ریشه گیاه در جذب فلز سنگین را نمی توان نادیده گرفت (۴۳).

کاربرد ۱۰ درصد ژئولیت در خاک آلوده شده به ۵ و ۱۰ میلی گرم کادمیم و فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری به ترتیب باعث کاهش ۲۴ و ۱۹ درصدی در میزان کادمیم ریشه گیاه نسبت به خاک فاقد کاربرد ژئولیت شد که دلایل آن را می توان به نقش ژئولیت در افزایش مکان های جاذبی خاک، کاهش معنی دار کادمیم قابل دسترس خاک و به دنبال آن جذب کم تر کادمیم توسط ریشه گیاه دانست، هر چند که نوع و نقش فیزیولوژیکی ریشه گیاه در جذب فلز سنگین را نمی توان نادیده گرفت (۴۳).

کاربرد کمپوست زباله شهری نیز کاهش معنی داری را در غلظت کادمیم ریشه گیاه ذرت نشان داد. کاربرد ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری در خاک آلوده به ۲۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و فاقد کاربرد ژئولیت به ترتیب باعث کاهش معنی دار ۱۸ و ۳۷ درصدی در میزان غلظت کادمیم ریشه گیاه نسبت به خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری شد که دلیل احتمالی آن را می توان به نقش بخش معدنی و آلی کود آلی در کاهش میزان کادمیم قابل عصاره گیری با DTPA و به دنبال آن کاهش جذب توسط ریشه گیاه دانست که

مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری و ۱۰ درصد وزنی زئولیت نسبت به خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری مشاهده شد که دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش بخش معدنی و آلی کود آلی در کاهش میزان کادمیم ریشه گیاه و به دنبال آن کاهش انتقال کادمیم به شاخساره گیاه ذرت دانست که این می‌تواند نقطه مهمی از لحاظ مطالعات زیست‌محیطی به حساب آید، هر چند که اثرات جانبی اضافه کردن ترکیبات آلی به خاک نباید نادیده گرفته شود.

کاربرد کمپوست زباله شهری کاهش معنی‌داری را در غلظت کادمیم شاخساره گیاه ذرت نشان داد. کاربرد ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری در خاک فاقد زئولیت به ترتیب باعث کاهش معنی‌دار ۲۷ و ۶۵ درصدی در میزان غلظت کادمیم شاخساره گیاه در خاک آلوده به ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک نسبت به خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری مشاهده شد. همچنین کاهش ۷۸ درصدی در غلظت کادمیم شاخساره گیاه ذرت هم‌زمان با کاربرد ۳۰

جدول ۷- اثر کاربرد کمپوست زباله شهری، زئولیت و کادمیم بر غلظت کادمیم شاخساره گیاه ذرت.

Table 7. Effect of municipal waste compost, zeolite and cadmium on corn shoot cadmium concentration (mg kg⁻¹).

Z ₁ Cd ₂₀	Z ₁ Cd ₁₅	Z ₁ Cd ₁₀	Z ₁ Cd ₅	Z ₁ Cd ₀	Z ₀ Cd ₂₀	Z ₀ Cd ₁₅	Z ₀ Cd ₁₀	Z ₀ Cd ₅	Z ₀ Cd ₀	Treatment
2.8 ^b	1.3 ^f	1.2 ^f	0.9 ^g	ND	3.6 ^a	2.1 ^d	1.6 ^e	1.2 ^f	ND*	C ₀
2.1 ^d	0.8 ^{gh}	0.6 ^{ij}	0.4 ^{kl}	ND	2.6 ^c	1.3 ^f	0.9 ^g	0.7 ^{hi}	ND	C ₁
0.6 ^{ij}	0.4 ^{kl}	0.2 ^{mn}	0.1 ^{no}	ND	1.2 ^f	0.9 ^g	0.5 ^{jk}	0.3 ^{mn}	ND	C ₂

C₀, C₁ and C₂ are applying 0, 15 and 30 Mg ha⁻¹ municipal waste compost, Cd₀, Cd₅ and Cd₁₀ are applying 0, 5 and 10 mg Cd kg⁻¹ soil, Z₀ and Z₁ are zeolite applying 0 and 10 % (W/W), Means followed by the same letter in each column or row are not significantly different (P=0.05, LSD), ND: Not detectable by atomic absorption spectroscopy.

فیزیکی و شیمیایی امری ضروری به نظر می‌رسد، امکان استفاده از زباله شهری غیرآلوده به فلز سنگین این شهرستان در جهت کاهش قابلیت دسترسی فلز سنگین در خاک آلوده علاوه بر افزایش درصد ماده آلی خاک می‌تواند به عنوان عامل مفیدی جهت کاهش آلودگی‌های خاک‌های شهرستان به حساب آید. استفاده از ۱۵ و ۳۰ مگاگرم کمپوست زباله شهری اراک به ترتیب باعث افزایش معنی‌داری ۰/۵ و ۰/۷ واحدی در درصدی کربن آلی و تغییر ۰/۳ واحدی در پی‌اچ خاک نسبت به خاک فاقد کاربرد کمپوست زباله شهری شد. کاربرد زئولیت به میزان ۱۰ درصد وزنی خاک در خاک تیمار شده با ۱۵ و ۳۰ مگاگرم

نتیجه‌گیری کلی

امروزه با صنعتی شدن شهرها مدیریت دفن زباله‌های شهری امری ضروری به نظر می‌رسد. در شهرستان اراک روزانه حدود ۴۰۰ مگاگرم زباله شهری جمع‌آوری می‌شود که مدیریت دفن آن‌ها از لحاظ محیط زیست امری ضروری به نظر می‌رسد. از سویی دیگر صنایع موجود در این شهرستان باعث آلوده شدن زمین‌های کشاورزی اطراف به فلزات سنگین از جمله کادمیم شده که با وجود تحرک‌پذیری این عنصر امکان ورود آن به آب‌های زیرزمینی می‌باشد. با توجه به این‌که استفاده از کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی جهت اصلاح ویژگی‌های

در مناطق صنعتی کشور امری لازم اجرا می‌باشد ولی باید جهت کاربردی کردن این پژوهش در محیط مزرعه‌ای علاوه بر در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی مسأله، اثرات جانبی کاربرد زئولیت و کمپوست زباله شهری بر ویژگی‌های خاک از قبیل بررسی وضعیت تعادل تغذیه‌ای عناصر غذایی در خاک، شوری خاک و سایر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک نیز مدنظر قرار گیرد.

کمپوست زباله شهری اراک به ترتیب باعث افزایش ۱/۸ و ۴/۱ واحدی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شد. همچنین کاربرد ۱۵ و ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری اراک (در خاک آلوده به ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در کیلوگرم خاک) و زئولیت به میزان ۱۰ درصد وزنی به ترتیب باعث کاهش ۰/۷ و ۲/۲ واحدی در غلظت کادمیم شاخساره گیاه شد. شایان ذکر است که اگرچه پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین

منابع

1. Abedi-Koupai, J., Mousavi, S.F., and Motamedi, A. 2010. Effect of clinoptilolite zeolite application on reducing urea leaching from soil. J. Water WasteWater. 21: 3. 51-57. (In Persian)
2. Abedini, A., Baghaie, A.H., and Najarch, M. 2014. The effect of manure on the reduction of Pb availability that extracted by EDTA. The 4th international conference on environmental chalanges and dendrochronology Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Sari, Iran. (In Persian)
3. Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N., Muirhead, B., Wright, G., and Bird, M.I. 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendmets: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. Agric. Ecosyst. Environ. 213: 72-85.
4. Allahdadi, I., Memari, A., Akbari, G.A., and Lotfifar, O. 2011. Effect of different amounts of municipal solid waste compost on soil properties and nutrient concentration and growth of corn yield. Plant Prod. Technol. 11: 1. 83-97. (In Persian)
5. Allen, S.E., Grimshaw, H.M., and Rowland, A.P. 1986. Chemical analysis. P 285-344, In: P.D. Moore and S.B. Chapman (Eds.), Methods in Plant Ecology, Blackwell Scientific Publication, Oxford, London.
6. Ansari Mahabadi, A., Hajabbasi, M., Khademi, H., and Kazemian, H. 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite. Geoderma. 137: 3. 388-393.
7. Aram, H., and Golchin, A. 2013. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on nitrogen concentration of berseem clover in contaminated soil with cadmium. J. Chem. Health Risks. 3: 2. 35-38.
8. Asgharipour, M.R., and Rahmanian Koshki, B. 2015. Lentils responses to cadmium pollution from animal manure compost or metal salt. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 19: 71. 349-359. (In Persian)
9. Baghaie, A., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M., and Schulin, R. 2011. The role of organic and inorganic fractions of cow manure and biosolids on lead sorption. Soil Sci. Plant Nutr. 57: 1. 11-18.
10. Baghaie, A.H., Khoshgoftarmanesh, A.H., and Afyuni, M. 2010. Crop effects on lead fractionation in a soil treated with lead organic and inorganic sources. J. Residuals Sci. Tech. 7: 3. 131-138.
11. Baudh, K., and Singh, R.P. 2015. Effects of organic and inorganic amendmets on bio-accumulation and partitioning of Cd in *Brassica juncea* and *Ricinus communis*. Ecol. Eng. 74: 93-100.
12. Bolhasani, N., Ghasemnezhad, A., and Barani Motlagh, M. 2014. Investigation the effect of sewage sludge and zeolite on the absorption by cadmium and lead of roots and leaves of artichoke (*Cynara scolymus* L.). J. Water Soil Cons. 20: 6. 263-273. (In Persian)

13. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. P 1085-1122, In: D.L. Sparks (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 3 , 3rd Ed., Am. Soc. Agron., Madison. WI.
14. Chiang, P.N., Wang, M.K., Chiu, C.Y., and Chou, S.Y. 2006. Effects of cadmium amendments on low-molecular-weight organic acid exudates in rhizosphere soils of tobacco and sunflower. Environ. Toxicol. 21: 5. 479-488.
15. Chirakkara, R.A., and Reddy, K.R. 2015. Biomass and chemical amendments for enhanced phytoremediation of mixed contaminated soils. Ecol. Eng. 85: 265-274.
16. El-Eswed, B.I., Yousef, R.I., Alshaaer, M., Hamadneh, I., Al-Gharabli, S.I., and Khalili, F. 2015. Stabilization/solidification of heavy metals in kaolin/zeolite based geopolymers. Int. J. Miner. Process. 137: 34-42.
17. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. P 383-411, In: A. Klute (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods, American society of agronomy, Madison, WI.
18. Gonzalez, M.R., Pereyra, A.M., Zerbino, R., and Basaldella, E.I. 2015. Removal and cementitious immobilization of heavy metals: chromium capture by zeolite-hybridized materials obtained from spent fluid cracking catalysts. J. Clean. Prod. 91: 187-190.
19. Hamidpour, M., Kalbasi, M., Afyuni, M., Shariatmadari, H., Holm, P., and Hansen, H. 2010. Sorption hysteresis of Cd (II) and Pb (II) on natural zeolite and bentonite. J. Hazard. Mater. 181: 686-691.
20. Ippolito, J.A., Tarkalson, D.D., and Lehrsch, G.A. 2011. Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture and corn growth. Soil Sci. 176: 3. 136-142.
21. Javad-Zarrin, I., and Moteshare zade, B. 2015. Effect of cadmium on concentration of copper, iron, manganese and zinc in shoot of different cultivars of wheat. J. Crops Improv. 17: 1. 27-41. (In Persian)
22. Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants, Fourth ed. Boca Raton, London, New York Washington, DC., Third ed., Boca Raton, London, New York Washington, DC.: CRC Press.
23. Karami, M., Afyuni, M., Rezaee Nejad, Y., and Khosh Gofarmanesh, A. 2009. Cumulative and residual effects of sewage sludge on zinc and copper concentration in soil and wheat. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 12: 46. 639-654. (In Persian)
24. Lee, P.K., Choi, B.Y., and Kang, M.J. 2015. Assessment of mobility and bio-availability of heavy metals in dry depositions of Asian dust and implications for environmental risk. Chemosphere. 119: 1411-1421.
25. Liu, L., Chen, H., Cai, P., Liang, W., and Huang, Q. 2009. Immobilization and phytotoxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost. J. Hazard. Mater. 163: 2-3. 563-567.
26. Lotfolahi, B., Hoodaji, M., and Afyuni, M. 2011. Cadmium phytoextraction efficiency by *Sorghum bicolor* and *Helianthus annuus*. J. Residuals Sci. Tech. 8: 1. 15-20.
27. Lucas, S.T., D'Angelo, E.M., and Williams, M.A. 2014. Improving soil structure by promoting fungal abundance with organic soil amendments. Appl. Soil Ecol. 75: 13-23.
28. Mahar, A., Wang, P., Li, R., and Zhang, Z. 2015. Immobilization of lead and cadmium in contaminated soil using amendments: A review. Pedosphere. 25: 4. 555-568.
29. Malekian, R., Abedi-Koupai, J., and Eslamian, S.S. 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. J. Hazard. Mater. 185: 2. 970-976.
30. Malekian, R., Abedi-Koupai, J., Eslamian, S.S., Mousavi, S.F., Abbaspour, K.C., and Afyuni, M. 2011. Ion-exchange process for ammonium removal and release using natural Iranian zeolite. Appl. Clay Sci. 51: 3. 323-329.
31. Mirzaei, S.M.J., Tabatabaei, S.H., Heidarpour, M., and Najafi, P. 2014. Effect of compost's leachate on some physical and hydraulic characteristics of soil enriched by zeolite. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 17: 66. 37-47. (In Persian)

32. Molaei, S., Shirani, H., Hamidpour, M., Shekofteh, H., and Besalatpour, A.A. 2016. Effect of vermicompost, pistachio kernel and shrimp shell on some growth parameters and availability of Cd, Pb and Zn in corn in a polluted soil. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.* 19: 74. 113-124. (In Persian)
33. Motesharezadeh, B., and Savaghebi, G.R. 2011. Study of sunflower plant response to cadmium and lead toxicity by usage of PGPR in a calcareous soil. *J. Water Soil.* 25: 1069-1079. (In Persian)
34. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 539-579, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
35. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. P 181-197, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
36. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. P 403-430, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
37. Rhoades, J.D. 1982. Cation exchange capacity. P 149-157, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
38. Saadat, K. and Barani Motlagh, M. 2013. Influence of Iranian natural zeolites, clinoptilolite on uptake of lead and cadmium in applied sewage sludge by Maize (*Zea mays*. L.). *J. Water Soil Cons.* 20: 123-143. (In Persian)
39. Sharifi, M., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2010. Effects of sewage sludge, animal manure, compost and cadmium chloride on cadmium accumulation in corn and alfalfa. *J. Residuals Sci. Tech.* 7: 4. 219-225.
40. Shuman, L.M., Dudka, S., and Das, K. 2002. Cadmium forms and plant availability in compost-amended soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 737-748.
41. Sprynskyy, M., Kosobucki, P., Kowalkowski, T., and Buszewski, B. 2007. Influence of clinoptilolite rock on chemical speciation of selected heavy metals in sewage sludge. *J. Hazard. Mater.* 149: 2. 310-316.
42. Tang, X., Li, X., Liu, X., Hashmi, M.Z., Xu, J., and Brookes, P.C. 2015. Effects of inorganic and organic amendments on the uptake of lead and trace elements by *Brassica chinensis* grown in an acidic red soil. *Chemosphere.* 119: 177-183.
43. Tauqeer, H.M., Ali, S., Rizwan, M., Ali, Q., Saeed, R., Iftikhar, U., Ahmad, R., Farid, M., and Abbasi, G.H. 2016. Phytoremediation of heavy metals by *Alternanthera bettzickiana*: Growth and physiological response. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 126: 138-146.
44. Wang, C., Li, J., Sun, X., Wang, L., and Sun, X. 2009. Evaluation of zeolites synthesized from fly ash as potential adsorbents for wastewater containing heavy metals. *J. Environ. Sci.* 21: 1. 127-136.
45. Westerman, R.L. 1990. *Soil testing and plant analysis*. SSSA, No. 3, Madison, Wisconsin, USA.
46. Yılmaz, E., Sönmez, İ., and Demir, H. 2014. Effects of Zeolite on Seedling Quality and Nutrient Contents of Cucumber Plant (*Cucumis sativus* L. cv. Mostar F₁) Grown in Different Mixtures of Growing Media. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 45: 21. 2767-2777.
47. Yin, H., and Zhu, J. 2016. In situ remediation of metal contaminated lake sediment using naturally occurring, calcium-rich clay mineral-based low-cost amendment. *Chem. Eng. J.* 285: 112-120.



Effect of municipal waste compost and zeolite on reduction of cadmium availability in a loamy soil (A case study: Arak municipal waste compost)

***A.H. Baghaie**

Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

Received: 01/06/2016; Accepted: 09/06/2016

Abstract

Background and Objectives: Application of organic amendments as a cheap material is increasing to modify soil physical, chemical and biological properties of arid and semi-arid regions. Applying municipal waste compost can probably increase soil pH, organic carbon percent and cation exchange capacity and thereby decreasing heavy metal availability such as cadmium. On the other hand, applying soil natural clay such as zeolites can probably increase cation exchange capacity that decreases the heavy metal availability in soil and plant. However, this may be affect soil nutrition availability. This research was done to investigate the effect of applying Arak municipal waste compost and zeolite on decreasing cadmium availability in a loamy soil.

Materials and Methods: A loamy, non-saline soil with low organic carbon percent was sampled from soil surface layer (0-15 cm) in the research field of Arak Azad University. A factorial experiment with a randomized complete block design with 3 replications was conducted in greenhouse conditions. Treatments were consisting of applying Arak municipal waste compost at the rates of 0, 15 and 30 Mg ha⁻¹. The soil was polluted with cadmium from cadmium chloride source at the rates of 0, 5, 10, 15 and 20 mg Cd kg⁻¹ soil and incubated for one month. On the other hand, zeolite clay (clinoptilolite) was added to the soil at the rates of 0 and 10% (W/W). Then, corn (*Zea mays* L. single grass 704) seeds were sown. After 60 days from the experiment, soil physio-chemical properties and soil and plant Cd concentration were measured.

Results: The results showed that increasing application of municipal waste compost from 0 to 30 Mg ha⁻¹ significantly increased CEC (3 units) and pH in the soil under growth of corn. Increasing the amount of Arak municipal waste compost from 0 to 15 and 30 Mg ha⁻¹ in a 20 mg Cd kg⁻¹ soil without applying zeolite, caused a significant decrease in DTPA-extractable Cd by 19 and 30%, respectively. Similar to this result, root and shoot Cd concentration were decreased, as, applying 30 Mg ha⁻¹ Arak municipal waste compost (in a soil polluted with 20 mg Cd kg⁻¹ soil) without receiving zeolite caused a significant decrease in root and shoot Cd concentration by 37 and 66%, respectively. In addition, applying 10% (W/W) zeolite clay in a cadmium polluted soil (20 mg Cd kg⁻¹ soil) without municipal waste compost decreased the DTPA-extractable Cd by 7%. Root and shoot Cd concentration was also decreased by 16 and 23%, respectively.

Conclusion: The lowest DTPA-extractable Cd was in a 5 mg cadmium polluted soil treated with 30 Mg ha⁻¹ municipal waste compost and 10% (W/W), while the greatest amount of DTPA-extractable Cd was observed in a polluted soil with 20 mg Cd kg⁻¹ soil without receiving municipal waste compost and zeolite. The result of this experiment showed that applying zeolite and Arak municipal waste compost can increase the cation exchange capacity and thereby decreasing cadmium concentration in soil or plant. However, the other effect of applying organic amendments cannot be ignored.

Keywords: Municipal waste compost, Cadmium, Zeolite, Corn, Soil pollution

* Corresponding Author; Email: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

