نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۲، خرداد– تیر ۱۳۹۵، ص. ۵۹۳-۵۸۱

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 2, May.-Jun. 2016, p. 581-593

سینتیک آزاد شدن روی و مس در خاک آهکی تیمار شده با کود دامی و ورمی‌کمپوست

حمیدرضا متقیان[1*]- علیرضا حسین‌پور[2]- شهرام کیانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۲

چکیده

مصرف کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست یکی از راه‌های افزودن عناصر به خاک‌های کشاورزی با ماده آلی کم است. با این وجود، مصرف این کود می‌تواند بر ویژگی‌های آزاد شدن عناصر کم‌نیاز مؤثر باشد. در این تحقیق سرعت آزاد شدن روی و مس در یک خاک آهکی تیمار شده با سطوح ۰، ۰/۵ و ۱ درصد (وزنی- وزنی) کود گاوی و ورمی‌کمپوست در قالب طرح کاملاً تصادفی مقایسه شد. نمونه‌های خاک به‌روش عصاره‌گیری متوالی و با استفاده از DTPA-TEA در دمای ۱± ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱ تا ۵۰۴ ساعت عصاره‌گیری شدند. نتایج نشان داد که مقدار روی آزاد شده در خاک‌های تیمار شده با کود گاوی و ورمی‌کمپوست افزایش معنی‌داری ($p< ۰/۰۵$) نسبت به خاک شاهد داشت. درحالی‌که مقدار مس آزاد شده در خاک تیمار شده با کود گاوی نسبت به خاک شاهد بدون تغییر ($p> ۰/۰۵$) و در خاک تیمارشده با ورمی‌کمپوست کاهش معنی‌داری ($p < ۰/۰۵$) نسبت به خاک شاهد داشت. همچنین، مقدار روی و مس آزاد شده در خاک‌های تیمار شده با ورمی‌کمپوست در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با کود گاوی کاهش معنی‌داری ($p < ۰/۰۵$) یافت. مقدار روی آزاد شده در خاک‌های تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد کود گاوی و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۲/۵۴، ۲/۹۸، ۲/۱۴ و ۲/۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. مقدار مس آزاد شده در خاک‌های تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد کود گاوی و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۲/۹۲، ۲/۷۲، ۲/۴۱ و ۲/۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. معادله تابع توانی بهترین مدل توصیف کننده مکانیسم آزاد شدن روی و مس در خاک‌های مورد مطالعه بود. همچنین، سرعت آزاد شدن روی و مس در خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست کمتر از خاک تیمار شده با کود گاوی بود. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار و سرعت آزاد شدن روی و مس در خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست در مقایسه با خاک‌های تیمار شده با ماده مورد استفاده در تهیه ورمی‌کمپوست (کود گاوی)، کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تابع توانی، عصاره‌گیری متوالی، عناصر کم‌نیاز، کود آلی

مقدمه

روی در بیش از ۳۰۰ آنزیم درگیر در فرآیندهای متابولیسمی در انسان‌ها، دام و گیاه وجود دارد (۱۸). بنابراین تأمین این عنصر به میزان کافی برای رشد طبیعی انسان‌ها ضروری است. درحالی‌که بیش از ۶۰ درصد خاک‌های قابل کشت در ایران، مقدار روی کمی دارند و موجب کاهش حتی ۵۰ درصدی محصول شده است (۱۹). دلایل عمده کمبود روی در ایران شامل آهکی بودن خاک‌ها که اغلب بیش از ۳۰ درصد کربنات کلسیم و ۱۶ تا ۵۸ درصد کربنات کلسیم فعال دارند، دامنه pH بالا در این خاک‌ها (۷/۹ تا ۸/۵)، کاربرد گسترده کودهای فسفاته و غلظت‌های بالای بی‌کربنات در آب آبیاری و عدم مصرف کودهای روی است. بیش از ۵۰ درصد خاک‌های قابل کشت در ایران کمتر از ۰/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم روی قابل استفاده دارند (۳۱). وقتی‌که تأمین عنصر روی مورد نیاز گیاه کافی نباشد، میزان محصول کاهش خواهد یافت و علاوه بر این کیفیت محصولات تولید شده نیز کاهش می‌یابد (۲).

مس از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان و حیوانات است. عنصر مس در گیاه نقش‌های متعددی از جمله شرکت در ساختمان ترکیبات مختلف، چوبی‌شدن و تشکیل دانه گرده دارد. نقش اصلی این عنصر در گیاهان، فعال‌کردن آنزیم واکنش اکسایش-کاهش است (۱۴). کمبود مس در خاک‌های آلی، خاک‌های شنی که به‌طور معمول مقدار مس کل کمی دارند و در خاک‌های آهکی که مس قابلیت استفاده کمی دارند، عمومیت بیشتری دارد. پژوهش‌های انجام شده در نشان داده است که حدود ۱۳/۳ درصد از خاک‌های زیر کشت در ایران مقدار مس قابل استفاده کمتر از ۰/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم دارند (۳۱).

مصرف موادآلی حاوی عناصر از جمله روش‌های افزایش قابلیت

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار، استاد و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(* - نویسنده مسئول: Email: hrm_61@yahoo.com)

استفاده عناصر برای گیاه است. بنابراین استفاده از موادی مانند کود دامی، لجن فاضلاب، بقایای کشاورزی و صنعتی رو به گسترش است. امروزه برتری استفاده از کودهای آلی در کشاورزی به عنوان منبع با ارزشی از اصلاح‌کننده‌های آلی و عناصر تغذیه‌ای برای گیاه، بر هیچ کس پوشیده نیست به‌طوری‌که با کاربرد مواد آلی هم وضعیت مواد آلی خاک و هم مقدار عناصر غذایی آن بهبود می‌یابد (۶).

از جمله کودهای آلی مورد استفاده در کشاورزی، ورمی‌کمپوست است. ورمی‌کمپوست تهیه‌شده ار منابع مختلف مانند لجن فاضلاب، کود گاوی و بقایای گیاهی رشد گیاه را افزایش می‌دهد (۱۳). ورمی‌کمپوست به مقدار زیادی شبیه به ماده‌آلی با تخلخل، تهویه، زه‌کشی، ظرفیت نگهداری آب و فعالیت میکروبی بالا است که به‌وسیله فعل و انفعالات میان کرم‌های خاکی و ریزجانداران تشکیل می‌شود. ورمی‌کمپوست در واقع کمپوست به‌دست آمده از عملیات تجزیه کرم‌های خاکی بر روی پسماندها و بقایا می‌باشد که نه تنها شامل لاشه و اجساد کرم‌ها است، بلکه مواد بستری و پسماندهای آلی در مراحل مختلف تجزیه را نیز در بر می‌گیرد. این کود دارای ذرات با سطح ویژه بالایی می‌باشد که این باعث بهبود وضعیت فضاهای ریز خاک از نظر فعالیت میکروبی و قابلیت نگهداری بالای عناصر غذایی می‌شود (۱). فراهمی عناصر پرنیاز و کم‌نیاز برای گیاه از خاک تیمارشده با کودهای آلی معمولاً در طی معدنی‌شدن ماده آلی اتفاق می‌افتد که این فرآیند به‌وسیله کرم‌های خاکی تسهیل و تسریع می‌گردد (۵).

برای برآورد مقدار روی و مس قابل استفاده معمولاً از کلات‌کننده‌های DTPA و EDTA استفاده می‌شود (۱۵). این کلات‌کننده‌ها با روی و مس کمپلکس ایجاد کرده و غلظت روی در محلول خاک کاهش می‌یابد، بنابراین جذب عنصر به‌وسیله ریشه‌ها را در دوره رشد گیاه شبیه‌سازی می‌کنند (۷)، اما مقدار عنصر آزادشده با زمان تغییر می‌کند. توانایی خاک در آزادسازی عناصر فاکتور مهمی در کنترل مقدار عناصر در محلول خاک و قابلیت استفاده آنها برای گیاه است. بررسی سرعت آزادشدن روی و مس از خاک‌ها، کانی‌های رسی و اجزاء خاک توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (۳، ۷، ۱۰، ۲۱، ۲۲، ۲۴ و ۲۶).

از آنجایی‌که برای تأمین روی و مس در حد کفایت برای رشد گیاه حفظ سطح عنصر در حد مورد نیاز گیاه ضروری است، بنابراین سرعت آزادشدن روی و مس از خاک عامل بسیار مهمی در تأمین پیوسته عناصر غذایی در خاک تیمار شده است. به‌عبارت دیگر تعیین مقدار عناصر غذایی در کود گاوی و ورمی‌کمپوست و یا خاک تیمار شده با آنها، نمی‌تواند بیانگر فراهمی عناصر در خاک در طی رشد گیاه باشد، زیرا مقدار عنصر آزاد شده با زمان تغییر می‌کند. از طرف دیگر مقایسه تأثیر کود دامی و ورمی‌کمپوست تهیه شده از آن بر سینتیک آزاد شدن روی و مس انجام نشده است. بنابراین مطالعه سینتیک آزاد شدن روی و مس در خاک تیمار شده با کود گاوی و ورمی‌کمپوست حاصل از آن در درک وضعیت قابل استفاده این عناصر در خاک‌های تیمارشده با کود گاوی و ورمی‌کمپوست بسیار مهم است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در یک خاک آهکی انجام شد. بافت خاک به‌روش هیدرومتر (۹)، pH خاک در سوسپانسیون دو به یک آب به خاک (۳۲)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره دو به یک آب به خاک (۲۷)، کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون (۱۷)، گنجایش تبادل کاتیونی با استفاده از استات‌سدیم با pH=۷ (۳۰) و ماده آلی به‌روش اکسیداسیون تر (۲۳) تعیین شد. مقدار کل و قابل استفاده روی و مس به‌ترتیب با استفاده از هضم با اسیدنیتریک ۴ مولار (۲۹) و DTPA-TEA (۱۶) تعیین شد.

ورمی‌کمپوست با استفاده از ۷ کیلوگرم کود دامی (کود گاوی) عبورداده شده از الک ۴ میلی‌متری تهیه شد. سپس به کود تهیه شده، ۲۰۰ عدد کرم خاکی آیزنیا فتیدا (*Eisenia foetida*) اضافه و در مدت ۳ ماه در گلخانه به حالت مرطوب خوابانده شد. محیط قرارگیری کود دامی جهت تهیه ورمی‌کمپوست سبد بود و در طول دوره سعی شد که رطوبت کود ثابت باقی بماند و سطح کود همیشه مرطوب باشد. کود دامی و ورمی‌کمپوست از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شدند. خصوصیات کودها شامل pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره پنج به یک آب به کود، کربن آلی با اکسایش تر و مقادیر کل روی و مس تعیین شد. مقدار ۰/۵ گرم از کودهای آلی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره خاکستر شده و به‌وسیله اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری شد (۴). از عصاره حاصل برای تعیین غلظت کل عناصر روی و مس استفاده گردید. همچنین، مقدار روی و مس محلول با استفاده از نسبت ۱ به ۵ (کود به آب مقطر) پس از ۲ ساعت تکان دادن عصاره‌گیری شد. روی و مس موجود در محلول عصاره‌گیری‌شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل جی‌بی‌سی، ۹۳۲) (دارای حد تشخیص ۰/۰۲۵ و ۰/۰۰۸ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب برای مس و روی) اندازه‌گیری شد.

برای تیمار خاک با ورمی‌کمپوست و کود دامی، ۳ مقدار کود دامی و ورمی‌کمپوست شامل ۰، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی - وزنی (تقریباً معادل ۰، ۱۰ و ۲۰ تن کود در هکتار) به ۴ کیلوگرم خاک در ۳ تکرار اضافه شد و رطوبت خاک‌های تیمار شده و شاهد به حدود ظرفیت مزرعه رسانده و به‌مدت ۳۰ روز در گلخانه خوابانده شدند. در طول دوره خوابانیدن رطوبت خاک‌ها در حدود ظرفیت مزرعه ثابت و پس از دوره خوابانیدن، برای مطالعه سینتیک آزاد شدن روی و مس استفاده شدند.

برای مطالعه سرعت آزاد شدن روی و مس نمونه‌های خاک شاهد و تیمارشده از روش عصاره‌گیری متوالی استفاده شد. ۲ گرم خاک از

نمونه‌ها همراه با ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره‌گیر DTPA-TEA (همراه با چند قطره تولوئن) در لوله‌های سانتریفوژ به‌صورت جداگانه ریخته شد (۲۱ و ۲۲). نمونه‌ها در دستگاه انکوباتور در دمای ۱±۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. ۱۵ دقیقه قبل از قراردادن نمونه‌ها در انکوباتور و ۱۵ دقیقه قبل از پایان هردوره نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه تکان‌دهنده برقی تکان داده شدند. خاک‌ها در زمان‌های ۱، ۸، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴، ۱۶۸، ۳۳۶ و ۵۰۴ ساعت پس از اضافه کردن محلول‌ها عصاره‌گیری شدند. بدین منظور سوسپانسیون با دستگاه سانتریفیوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه صاف، محلول رویی جدا و مقدار لازم از محلول عصاره‌گیر مجدداً اضافه و پس از ۱۵ دقیقه تکان دادن توسط دستگاه تکان‌دهنده برقی، نمونه‌ها به انکوباتور منتقل شدند.

روی و مس موجود در محلول عصاره‌گیری شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، معادلات سرعت مرتبه صفر، مرتبه اول، تابع نمایی، انتشار پارابولیکی و الوویچ‌ساده (جدول ۱) بر داده‌های تجمعی آزاد شدن روی و مس برازش و براساس ضریب تشخیص و خطای استاندارد برآورد بهترین مدل‌ها برای توصیف آزاد شدن روی و مس انتخاب و ضرائب این معادلات تعیین شدند. خطای استاندارد برآورد (SE) از رابطه زیر تعیین شد:

$$SE = \left[\frac{\sum(E-E^*)^2}{(n-2)}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (۱)$$

در این معادله E و E^* به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده روی و مس در زمان t و n تعداد مشاهدات هستند.

تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای بررسی ارتباط بین روی و مس آزاد شده و تیمارها از روش‌های تک‌متغیره و مدل خطی (GLM) به کمک تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. مقایسه میانگین‌های روی و مس آزاد شده در خاک‌های تیمار شده براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ و با استفاده از نرم‌افزار Statistica انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و کودها

خاک مورد مطالعه دارای بافت رسی و مقدار شن، سیلت و رس آن به‌ترتیب ۱۹، ۳۴ و ۴۷ درصد بود. خاک دارای pH قلیایی (۷/۳)، قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۱۳ دسی‌زیمنس بر متر و کربن آلی ۰/۵۵ درصد بود. گنجایش تبادل کاتیونی آن ۲۰ سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک بود. مقدار روی و مس عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA در خاک مورد مطالعه به ترتیب۰/۵۰ و ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین مقدار کل روی و مس این خاک به‌ترتیب ۴۷ و ۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

ویژگی‌های کود گاوی و ورمی‌کمپوست در جدول ۲ نشان داده شده است. کود گاوی مورد استفاده دارای به‌ترتیب ۱۳۸ میلی‌گرم روی در کیلوگرم و ۷/۷ میلی‌گرم مس در کیلوگرم بود. درحالی‌که کود ورمی‌کمپوست دارای ۱۲۱ میلی‌گرم روی در کیلوگرم و ۳/۷ میلی‌گرم مس در کیلوگرم بود.

برخی ویژگی‌های خاک‌های شاهد و تیمار شده پس از دوره انکوباسیون در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار روی کل و عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA در خاک تیمار شده با ۱ درصد کود گاوی بود. همچنین تفاوتی بین مس کل و عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA در خاک‌های مختلف وجود نداشت.

جدول ۱- معادله‌های سینتیکی استفاده شده در این تحقیق

Table 1- Kinetic models used in this study

معادله Equation	مدل* Model	منبع Reference
واکنش مرتبه صفر Zero-order reaction	$(E_0-E_t)= a-K_0\ t$	۲۰
واکنش مرتبه اول First-order reaction	$\ln (E_0-E_t)= a-K_1\ t$	۲۰
انتشار پارابولیکی Parabolic diffusion	$E_t = a + Rt^{0.5}$	۱۱
تابع توانی Power function	$E_t = a\ t^b$	۱۱
الوویچ ساده Simplified Elovich	$E_t= a + 1/\beta \ln t$	۱۱

E_0 : مقدار روی و مس آزادشده ($mg\ kg^{-1}$) بعد از ۵۰۴ ساعت، E_t: مقدار روی و مس آزادشده ($mg\ kg^{-1}$) در زمان t و K_0، K_1، R، b و $1/\beta$ ضرایب سرعت معادله‌ها هستند

E_0: amount of Zn or Cu ($mg\ kg^{-1}$) desorded at 504 h., E_t: amount of Zn or Cu ($mg\ kg^{-1}$) desorbed at time t (h) and a and K_0, K_1, R, b and $1/\beta$ are constants

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده

Table 2- Results of chemical analysis of used organic fertilizer

ویژگی Properties	کود گاوی Cow manure	ورمی‌کمپوست Vermicompost
OC (%)	25	22
EC (dS/m)	24	23
pH	8.3	8.0
روی کل Total Zn ($mg\ kg^{-1}$)	138	121
مس کل Total Cu ($mg\ kg^{-1}$)	7.7	3.7
روی محلول Soluble Zn ($mg\ kg^{-1}$)	0.82	0.24
مس محلول Soluble Cu ($mg\ kg^{-1}$)	0.34	ND

ND: زیر حد تشخیص دستگاه

جدول ۳- برخی ویژگی‌های خاک‌های شاهد و تیمارشده پس از دوره انکوباسیون

Table 3- Some of properties of control and treated soils after incubation period

خاک Soil	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	کل ($mg\ kg^{-1}$)		DTPA-TEA ($mg\ kg^{-1}$)	
			Cu	Zn	Cu	Zn
شاهد Control	0.13	7.3	24.0	47.0	1.64	0.73
۰/۵٪ کود گاوی (0.5% CM)	0.28	7.3	24.0	47.6	1.71	1.06
۱٪ کود گاوی (1% CM)	0.50	7.4	24.0	48.3	1.64	1.30
۰/۵٪ ورمی‌کمپوست (0.5% VC)	0.27	7.4	24.0	47.5	1.60	0.91
۱٪ ورمی‌کمپوست (1% CM)	0.50	7.4	24.0	48.1	1.61	0.93

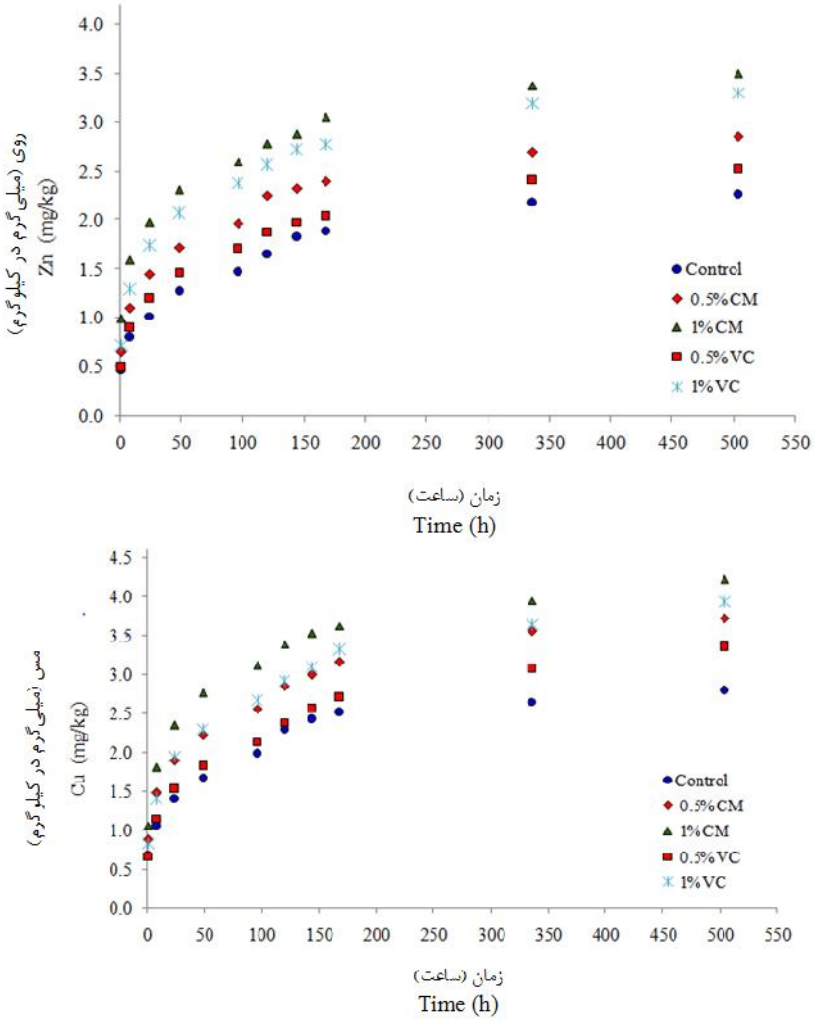
کرم خاکی آیزنیافتیدا به سطح اکولوژیکی اپی‌ژئیک متعلق است و اغلب از مواد آلی و بقایای گیاهی تغذیه می‌کند (۱۲). این جانداران باعث کاهش ماده آلی ذره‌ای و در نتیجه سبب افزایش تجزیه ماده آلی و رهاسازی عناصر غذایی می‌گردند. پانگ و همکاران (۲۷) گزارش کردند که غلظت نیتروژن معدنی با افزایش کرم خاکی آیزنیافتیدا افزایش یافت. نتایج نشان داد که در طی فرآیند تهیه ورمی‌کمپوست، مقدار کل عناصر روی و مس کاهش یافت که می‌تواند به دلیل معدنی‌شدن کود گاوی و آزاد شدن عناصر موجود در آن باشد. در تهیه ورمی‌کمپوست با استفاده از سبد، امکان خروج ترکیبات معدنی از طریق زه‌آب آبیاری نیز وجود دارد. سودایی مشاعی و همکاران (۳) گزارش کردند که درصد نیتروژن معدنی شده از کود گاوی بیش از ورمی‌کمپوست تهیه شده از کود گاوی بود. بنابراین پس از تهیه ورمی‌کمپوست از کود گاوی سرعت تجزیه ماده آلی کاهش می‌یابد.

سینتیک آزاد شدن روی

نمودار مقدار تجمعی روی و مس آزاد شده در مقابل زمان برای خاک‌های شاهد و تیمار شده در شکل ۱ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که مقدار روی و مس آزاد شده در تیمارهای مختلف پس از ۳۳۶ ساعت به حد تقریباً ثابتی رسیده بود.

نتایج تجزیه واریانس مقادیر روی و مس آزاد شده در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که اثر تیمارها بر مقدار روی و مس آزاد شده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود.

مقدار روی تجمعی آزاد شده بر اساس آزمون چند دامنه دانکن در خاک‌های تیمار شده به‌صورت معنی‌داری ($p< ۰/۰۵$) بیشتر از خاک شاهد بود (شکل ۲). مقدار روی آزاد شده در خاک تیمار شده با ۱ درصد کود گاوی نسبت به خاک تیمار شده با ۰/۵ درصد کود گاوی افزایش معنی‌داری ($p< ۰/۰۵$) یافت. روی آزاد شده پس از ۵۰۴ ساعت در خاک تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد کود گاوی دارای مقادیری به ترتیب ۲/۵۴ و ۲/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. همچنین، مقدار روی آزاد شده در خاک تیمار شده با ۱ درصد ورمی‌کمپوست نسبت به خاک تیمار شده با ۰/۵ درصد از همان کود افزایش معنی‌داری ($p< ۰/۰۵$) یافت. در خاک تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد ورمی‌کمپوست، روی آزاد شده پس از ۵۰۴ ساعت دارای مقادیری به ترتیب ۲/۱۴ و ۲/۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. شکل ۲ نشان می‌دهد که روی آزاد شده در خاک تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد ورمی‌کمپوست نسبت به خاک تیمار شده به‌ترتیب با ۰/۵ و ۱ درصد کود گاوی کاهش معنی‌داری ($p< ۰/۰۵$) یافت. روی آزاد شده در تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد کود گاوی و ۰/۵ و ۱ درصد ورمی‌کمپوست نسبت به خاک شاهد به‌ترتیب ۳۰، ۵۳، ۱۰ و ۳۴ درصد افزایش یافت.



شکل ۱- مقدار روی و مس آزادشده در خاک‌های شاهد و تیمارشده

Figure 1- Amount of desorbed Zn and Cu in control and treated soils

جدول ٤– نتایج تجزیه واریانس مقادیر روی و مس آزادشده

Table 4- Results of analysis variance of desorbed Zn and Cu

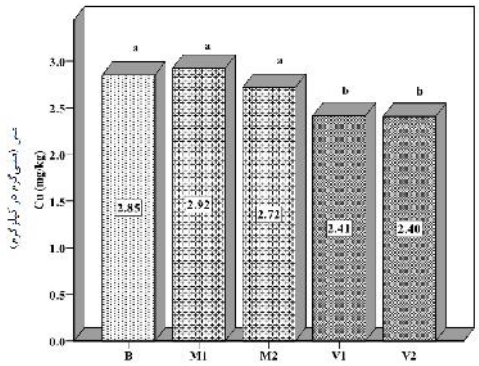
منابع تغییر SV	df	Cu			Zn		
		میانگین مربعات MS	R^2	CV	میانگین مربعات MS	R^2	CV
تیمار Treatments	4	0.368**	0.93	3.7	0.922**	0.94	4.3
خطا Error	10	0.023			0.024		

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

Significant at the 1%

شکل ۲ نشان می‌دهد مقدار مس تجمعی آزاد شده در خاک‌های تیمار شده با دو سطح مختلف کود گاوی نسبت به خاک شاهد تفاوت معنی‌داری ($p> ۰/۰۵$) نداشت. درحالی‌که مس آزاد شده پس از ۵۰۴ ساعت در خاک تیمار شده با دو سطح ورمی‌کمپوست کاهش معنی‌داری ($p< ۰/۰۵$) نسبت به خاک‌های شاهد و تیمار شده با کود گاوی یافت. مس آزاد شده در خاک شاهد، تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد کود گاوی دارای مقادیری به ترتیب ۲/۸۵، ۲/۹۲ و ۲/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. درحالی‌که، مس آزاد شده پس از ۵۰۴ ساعت در خاک تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد ورمی‌کمپوست دارای مقادیری به ترتیب ۲/۴۱ و ۲/۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. مس آزاد شده در تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد ورمی‌کمپوست نسبت به خاک شاهد ۱۵ درصد کاهش یافت.

بنابراین، کاهش روی و مس در خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست در مقایسه با خاک تیمار شده با کود گاوی می‌تواند به دلیل کمتر بودن روی و مس در ورمی‌کمپوست باشد (جدول ۲). به‌علاوه کود گاوی دارای مقدار نسبتاً کم مس (۷/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود که در اثر تیمار خاک با مقادیر مختلف آن تغییری در مس آزاد شده پس از ۵۰۴ ساعت در خاک‌ها مشاهده نشد.



شکل ۲- میانگین روی و مس (میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک‌های شاهد (B) و تیمارشده (V ورمی‌کمپوست و M کودگاوی)

حروف متفاوت برای هر عنصر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد است

Figure 2- Mean of Zn and Cu (mg kg^{-1}) in control (B) and treated soils with (Vermicompost (V) and Cow manure (M))

Different letters for each elements indicated different significant at the 5%

جدول ۵- ضریب تشخیص (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SE) معادلات مختلف مورد استفاده در توصیف روی و مس آزاد شده *

Table 5- Coefficient of determination (R^2) and standard error of the estimate (SE) of various kinetic models for desorbed Zn and Cu

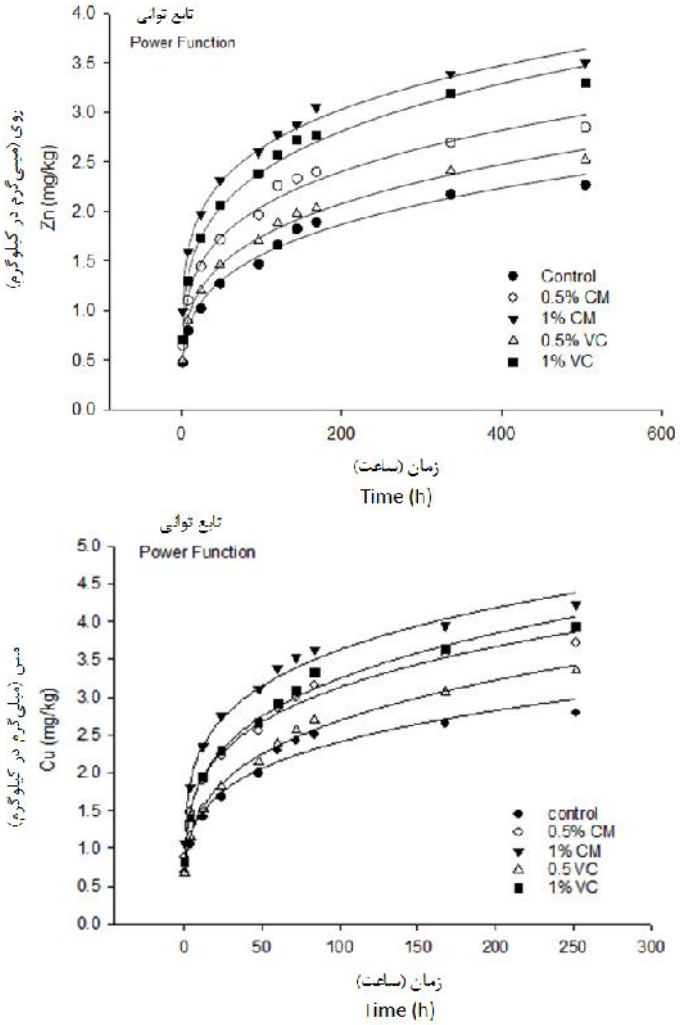
خاک Soil	تابع توانی Power function		الوویچ ساده Simplified Elovich		انتشار پارابولیکی Parabolic diffusion		مرتبه اول First-order		مرتبه صفر Zero-order	
	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2
					Zn					
شاهد Control	0.12	0.99	0.18	0.94	0.79	0.93	0.22	0.93	1.51	0.72
۰/۵٪ کود گاوی 0.5% CM	0.07	0.99	0.20	0.95	0.19	0.96	0.19	0.99	2.05	0.78
۱٪ کود گاوی 1% CM	0.09	0.99	0.14	0.98	0.30	0.91	0.37	0.94	1.99	0.70
۰/۵٪ ورمی‌کمپوست 0.5% VC	0.12	0.99	0.20	0.96	0.99	0.96	1.28	0.98	1.79	0.79
۱٪ ورمی‌کمپوست1% CM	0.07	0.99	0.20	0.94	1.13	0.95	0.28	0.96	1.66	0.75
					Cu					
شاهد Control	0.23	0.98	0.40	0.88	1.37	0.97	0.30	0.98	1.94	0.86
۰/۵٪ کود گاوی 0.5% CM	0.20	0.98	0.37	0.90	1.72	0.96	0.49	0.98	1.87	0.83
۱٪ کود گاوی 1% CM	0.24	0.98	0.37	0.87	1.64	0.97	0.24	0.98	1.10	0.85
۰/۵٪ ورمی‌کمپوست 0.5% VC	0.27	0.96	0.39	0.85	1.22	0.95	1.53	0.95	1.80	0.85
۱٪ ورمی‌کمپوست1% CM	0.16	0.99	0.29	0.90	1.10	0.97	0.22	0.98	1.72	0.84

*) SE برحسب mg kg^{-1} و کلیه ضرایب تشخیص (R^2) در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار هستند

SE, mg kg^{-1}. All coefficients of determination (R^2) are significant at the 5%

نتایج برازش معادله‌های سینتیکی بر داده‌های تجمعی آزاد شدن روی و مس در خاک‌های شاهد و تیمار شده در جدول ۵ نشان داده شده است. در مورد روی، مقایسه ضریب تشخیص (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SE) نشان داد که معادله تابع توانی دارای بیشترین ضریب تشخیص و کمترین خطای استاندارد برآورد برای همه خاک‌های مورد مطالعه بودند و توانایی توصیف سرعت آزاد شدن روی را داشت. در مورد مس، معادله تابع توانی دارای بیشترین ضریب تشخیص و کمترین خطای استاندارد برآورد برای همه خاک‌ها بود (شکل ۳).

توانایی مدل تابع توانی در توصیف آزاد شدن روی در مطالعات بسیاری گزارش شده است (۱۱، ۲۴ و ۲۸). متقیان و حسین‌پور (۲۴) به بررسی سینتیک آزاد شدن روی در ۱۰ خاک آهکی تیمار شده و تیمار نشده با ۱ درصد لجن فاضلاب پرداختند. آنها گزارش کردند که معادله‌های مرتبه اول، انتشار پارابولیکی و الوویچ ساده بهترین مدل‌های توصیف‌کننده آزاد شدن روی بودند. دنگ و همکاران (۱۱) معادله‌های مختلف سینتیکی را برای توصیف آزاد شدن روی در خاک‌های ورتی‌سول بکار بردند. نتایج آنها نشان داد که معادله‌های تابع توانی و انتشار پارابولیکی توانایی توصیف آزاد شدن روی را دارند.



شکل ۳- برازش مدل تابع توانی بر مقدار روی و مس تجمعی آزادشده در خاک‌های شاهد و تیمارشده با مقادیر مختلف کود گاوی (CM) و ورمی‌کمپوست (VC)

Figure 3- Fitting power function model on cumulative desorbed Zn and Cu in control and treated soil with different dosages Cow manure (CM) and vermicompost (VC)

ریحانی‌تبار و گیلکز (۲۸) در مطالعه‌ای بر روی ۱۲ نمونه خاک آهکی جمع‌آوری شده از استان‌های قزوین و تهران به بررسی سینتیک آزاد شدن روی با استفاده از DTPA-TEA به‌مدت ۱۹۲ ساعت پرداختند. ایشان گزارش کردند که تابع توانی بهترین مدل توصیف‌کننده سرعت آزاد شدن روی در همه خاک‌های مورد مطالعه بود. قاسمی فسایی و همکاران (۱۴) به بررسی سینتیک آزاد شدن مس از خاک‌های آهکی جنوب ایران پرداختند. آنها گزارش کردند که معادله‌های تابع توانی و الوویچ ساده بهترین مدل‌های توصیف کننده آزاد شدن مس بودند. بارانی مطلق (۷) گزارش کرد که معادله تابع توانی دارای بیشترین R^2 و کمترین SE و دارای توانایی در توصیف مکانیسم آزاد شدن مس در خاک‌های آهکی شمال ایران بود.

ضرایب سرعت معادلات سینتیکی مورد استفاده در توصیف روی و مس آزاد شده در خاک‌های شاهد و تیمارشده در جدول ۵ نشان داده شده است. ضرایب a، b و a*b در معادله تابع توانی نشان دهنده سرعت آزاد شدن روی و مس است. در مورد روی، بیشترین مقدار ضریب a به‌ترتیب در خاک تیمار شده با ۱ درصد کود گاوی (۱/۰۹۷[1] $mg\ kg^{-}$)، ۰/۵ درصد کود گاوی (۰/۸۸۲ $mg\ kg^{-1}$)، ۱ درصد ورمی‌کمپوست (۰/۸۲۵ $mgkg^{-1}$)، ۰/۵ درصد ورمی‌کمپوست ($mg\ kg^{-1}$۰/۶۵۹) و شاهد (۰/۶۵۳ $mg\ kg^{-1}$) مشاهده شد. همچنین، بیشترین مقدار ضریب b به‌ترتیب در خاک تیمار شده با ۰/۵ درصد ورمی‌کمپوست (۰/۲۶۷ $mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$)، ۱ درصد ورمی‌کمپوست ($mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$۰/۲۶۲)، شاهد (۰/۲۵۱ $mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$)، ۱ درصد کود گاوی ($mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$۰/۲۴۲) و ۰/۵ درصد کود گاوی ($mg\ kg^{-1}\ h^{-}$ ۰/۲۳۱[1]) مشاهده شد. بیشترین مقدار ضریب a*b به‌ترتیب در خاک تیمار شده با ۱ درصد کود گاوی (۰/۲۵۴)، ۱ درصد ورمی‌کمپوست (۰/۲۱۶)، ۰/۵ درصد کود گاوی (۰/۲۱۴)، ۱ درصد ورمی‌کمپوست (۰/۱۷۶) و شاهد (۰/۱۶۴) مشاهده شد.

در مورد مس، بیشترین مقدار ضریب a به‌ترتیب در خاک تیمارشده با ۰/۵ درصد کود گاوی ($۹۱۶mg\ kg^{-1}$ /۰)، شاهد ($mg\ kg^{-1}$۰/۹۰۲)، ۱ درصد کود گاوی ($mg\ kg^{-1}$ ۰/۸۳۴)، ۱ درصد ورمی‌کمپوست ($mg\ kg^{-1}$ ۰/۷۸۷) و ۰/۵ درصد ورمی‌کمپوست ($mg\ kg^{-1}$۰/۷۴۵) مشاهده شد. همچنین، بیشترین مقدار ضریب b به‌ترتیب در خاک تیمارشده با ۱ درصد کود گاوی ($mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۰/۲۶۶)، ۰/۵ درصد کود گاوی ($mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۰/۲۶۴) و ۰/۵ درصد ورمی‌کمپوست ($mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۰/۲۶۴)، شاهد ($mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۰/۲۶۰) و ۱ درصد ورمی‌کمپوست ($mg\ kg^{-1}\ h^{-1}$ ۰/۲۵۳) مشاهده شد. بیشترین مقدار ضریب a*b به‌ترتیب در خاک تیمارشده با ۰/۵ درصد کود گاوی (۰/۲۴۲)، شاهد (۰/۲۳۵)، ۱ درصد کود گاوی (۰/۲۲۲)، ۱ درصد ورمی‌کمپوست (۰/۱۹۹) و ۰/۵ درصد ورمی‌کمپوست (۰/۱۹۷) مشاهده شد.

همانطور که نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد ضریب b در معادله تابع توانی در همه خاک‌ها کمتر از یک بود و نشان دهنده این است که سرعت آزاد شدن روی و مس با زمان کاهش می‌یابد. ضریب a در معادله تابع توانی می‌تواند نشان‌دهنده تعداد سطوحی باشد که امکان آزاد شدن عنصر از آنها وجود دارد به‌عبارت دیگر می‌تواند نشانگر کل عنصر قابل آزاد شدن باشد. همچنین ضریب b در این معادله می‌تواند نشان دهنده تمایل روی و مس برای این سطوح است (۲۸). به عبارت دیگر افزایش مقدار ضریب a و کاهش مقدار ضریب b نشان‌دهنده افزایش سرعت آزادشدن روی و مس در خاک‌ها است (۱۱). در خاک‌های تیمار شده با کود گاوی ضریب a افزایش و ضریب b کاهش یافته بود (جدول ۵). بنابراین سرعت آزاد شدن روی از خاک تیمار شده با کود گاوی بیشتر از خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست بود. در مورد مس، ضریب a در خاک تیمار شده با کود گاوی بیش از خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست بود و بنابراین سرعت آزاد شدن مس از خاک تیمار شده با کود گاوی نسبت‌به خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست بیشتر بود که می‌تواند به دلیل تغییر در اجزاء روی و مس در خاک‌های تیمار شده کود گاوی و ورمی‌کمپوست باشد (۲۳ و ۲۴). دنگ و همکاران (۱۱) گزارش کردند که مقدار ضریب b کمتر یا مساوی با ۰/۲۵ در تابع توانی نشان دهنده این است که بیش از یک سطح انتشار در آزاد شدن عنصر اهمیت دارد. بنابراین، در مورد مس، در خاک‌های مورد مطالعه ضریب b در تابع توانی بیشتر از ۰/۲۵ بود و بنابراین یک سطح انتشار آزاد شدن مس را کنترل می‌کند. درحالی‌که در مورد عنصر روی، در خاک‌های تیمار شده با هر دو سطح کود گاوی ضریب b در تابع توانی کمتر از ۰/۲۵ بود و بنابراین بیش از یک سطح انتشار در آزاد شدن روی اهمیت دارد.

تاکنون در تحقیقی به بررسی سینتیک آزاد شدن روی و مس در خاک‌های آهکی متأثر از ورمی‌کمپوست پرداخته نشده است. علما و همکاران (۲۶) به بررسی اثر کمپوست فاضلاب شهری، کود گوسفندی و بقایای گیاهی بر سینتیک آزاد شدن مس در دو خاک آهکی پرداختند. ایشان گزارش کردند که در اثر استفاده از کود دامی و بقایای گندم سینتیک آزاد شدن مس کاهش و با مصرف کمپوست سرعت افزایش یافت. تحقیقات اندکی در مورد سرعت آزادشدن سایر عناصر از خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست‌ها صورت گرفته است. متقیان و حسین‌پور (۲۴) گزارش کردند که در اثر مصرف ۱ درصد وزنی- وزنی لجن فاضلاب سرعت و مقدار روی آزاد شده پس از ۵۰۴ ساعت افزایش معنی‌داری یافت. ایسلاس- اسپینوزا و همکاران (۱۶) به بررسی سینتیک آزاد شدن فسفر در طی مدت ۶۵ روز در یک خاک اسیدی تحت تأثیر لجن و ورمی‌کمپوست تهیه شده از آن پرداختند. ایشان از ۵ سطح لجن و ورمی‌کمپوست (۱۸، ۳۶، ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ تن

در هکتار) و ده روز خوابانیدن خاک‌های تیمار شده استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که در مدت ۶۵ روز، فسفر آزاد شده از خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست ۶ برابر و از خاک تیمار شده با لجن ۸ برابر خاک شاهد بود.

جدول ٦- ضرایب سرعت معادله تابع توانی مورد استفاده در توصیف روی و مس آزاد شده

Table 6- Rate coefficients of power function used in describing desorbed Zn and Cu

خاک Soil	a mg kg^{-1}	B mg kg^{-1} h^{-1}	a*b
		Zn	
شاهد Control	0.653	0.251	0.164
۰/۵٪ کود گاوی 0.5% CM	0.882	0.242	0.214
۱٪ کود گاوی 1% CM	1.097	0.231	0.254
۰/۵٪ ورمی‌کمپوست 0.5% VC	0.659	0.267	0.176
۱٪ ورمی‌کمپوست 1% CM	0.825	0.262	0.216
		Cu	
شاهد Control	0.902	0.260	0.235
۰/۵٪ کود گاوی 0.5% CM	0.916	0.264	0.242
۱٪ کود گاوی 1% CM	0.834	0.266	0.222
۰/۵٪ ورمی‌کمپوست 0.5% VC	0.745	0.264	0.197
۱٪ ورمی‌کمپوستCM 1%	0.787	0.253	0.199

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار روی و مس آزاد شده در خاک تیمار شده با ورمی‌کمپوست در مقایسه با خاک تیمار شده با کود گاوی کاهش معنی‌داری ($p <$ ۰/۰۵) یافت که می‌تواند به دلیل کاهش مقدار این عناصر در طی فرآیند تهیه ورمی‌کمپوست از کود گاوی باشد. در مراحل تهیه ورمی‌کمپوست در این تحقیق مشابه با روش تجاری مقدار آبشویی به دنبال معدنی‌شدن مواد آلی اتفاق می‌افتد که می‌تواند دلیل کاهش عناصر روی و مس نسبت به بستر اولیه (کود گاوی) باشد. مقدار روی آزاد شده در خاک های تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد کود گاوی به‌ترتیب ۲/۵۴ و ۲/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. درحالی‌که در خاک‌های تیمارشده با ۰/۵ و ۱ درصد ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۲/۱۴ و ۲/۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. مقدار مس آزاد شده در خاک تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد کود گاوی به‌ترتیب ۲/۹۲ و ۲/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. درحالی‌که در خاک‌های تیمار شده با ۰/۵ و ۱ درصد ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۲/۴۰ و ۲/۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نتایج این پژوهش نشان داد که خاک‌های تیمار شده با ورمی‌کمپوست تهیه شده از کود گاوی در مقایسه با خاک تیمارشده با کود گاوی مقدار و سرعت آزاد شدن روی و مس کمتری داشت. همچنین پیشنهاد می‌شود اثر تیمار خاک با کود گاوی و ورمی‌کمپوست بر جزءبندی روی و مس نیز بررسی شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهرکرد که هزینه‌های اجرای این پژوهش را فراهم نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Ahmad Abadi Z., Ghajar Sepanlou M., and Rahimi Alashti S. 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 15(58): 125-137. (in Persian with English abstract)
2- Allowoy B.J. 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Son Ltd. Glascow and London.
3- Barani Motlagh M. 2012. Kinetics and mechanism of copper release from selected agricultural calcareous soils of northern Iran. Soil Research, 50: 312-319.
4- Campbell C.R., and Plank C.O. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. p. 37-50In Y.P. Kalra (ed.) Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group.
5- Cardoso-Vigueros L., and Ramirez-Camperos E. 2002. Vermicomposting of sewage sludge: a new technology for

Mexico. Water Science and Technology, 46:153-158.
6- Courtney R.G., and Mullen G.J. 2007. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. Bioresource Technology, 99: 2913-2918.
7- Dang Y.P., Edwards D.G., and Tiller K.G. 1994. Kinetics of zinc desorption from Vertisols. Soil Science Society of America Journal, 58:1392-1399.
8- Edwards, C.A., and Bohlen P.J. 1996. Biology and Ecology of Earthworms. Chapman and hall publishers, London, UK.
9- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. p. 404-407. In Klute A (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
10- Ghasemi Fasaei R., Tavajjoh M., Oloma V., Molazem B., Maftoun M., Ronaghi A., Karimian N., and Adhami E. 2007. Copper release characteristics in selected soils from southern and northern Iran. Australian Journal of Soil Research, 45:459-464.
11- Havlin J.L., Westfall D.G., and Olsen S.R. 1985. Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soils. Soil Science Society of America Journal, 49: 371-376.
12- Islas-Espinoza M., Solis-Mejia L., and Esteller M.V. 2014. Phosphorus release kinetics in a soil amended with biosolids and vermicompost. Environmental Earth Science, 71: 1441-1451.
13- Jorao C.P., de Andrade R.P., Cotta A.J.B., CeconP. R., Neves J.C.L., Fontes M.P.F., and Fernandes R.B.A. 2013. Copper, nickel and zinc accumulations in lettuce grown in soil amended with contaminated cattle manure vermicompost after sequential cultivations. Environmental Technology, 34: 765–777.
14- Khosgoftarmanesh A.H. 2007. Principles of Plant Nutrition. Isfahan University of Technology.
15- Lindsay W.L., and Cox F.R. 1985. Micronutrient soil testing for the tropics. Fertilizer Research, 7:169-200.
16- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal, 42: 421-428.
17- Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437-474. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
18- Malakouti M., Keshavarz P., and Karimian N. 2008. A Comprehensive Approach towards Identification of Nutrients Deficiencies and Optimal Fertilization for Sustainable Agriculture. Tarbiat Modares University Press.
19- Malakouti M.J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology, 1: 1-12.
20- Martin H.W., and Sparks D.L. 1983. Kinetics of nonexchangeable potassium release from two coastal plain soils. Soil Science Society of America Journal, 47: 883-887.
21- Motaghian H.R., and Hosseinpur A.R. 2013. Evaluation of copper desorption characteristics using DTPA and citric acid for wheat (*Triticum aestivum* L.) rhizosphere of soils amended with sewage sludge. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 176:921-928.
22- Motaghian H.R., and Hosseinpur A.R. 2014. Impact of sewage sludge application on zinc desorption kinetics in some calcareous soils. Environmental Earth Science, 71:4647-4655.
23- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In D.L. Sparks, (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
24- Olama V., Ronaghi A., and Karimian N. 2010. Copper release behavior in two calcareous soils amended with three organic materials. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41: 2448-2458.
25- Pang J.Z., Qiao Y.H., Sun Z.J., Zhang S.X., Li Y.L., and Zhang R.Q. 2012. Effects of epigeic earthworms on decomposition of wheat straw and nutrient cycling in agricultural soils in a reclaimed salinity area: a microcosm study. Pedosphere, 22: 726-735.
26- Reyhanitabar A., and Gilkes R.J. 2010. Kinetics of DTPA extraction of zinc from calcareous soils. Geoderma, 154:289-293.
27- Rhoades J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-435. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
28- Sodaeimashaei S., Aliasgharzadeh N., and Ostan Sh. 2007. Kinetics of mineralization of nitrogen in a soil treated with compost, vermicompost, and cow manure. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 42: 405-414.
29- Sposito G.L., Lund J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46: 260-265.
30- Sumner M.E., and P.M. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. p. 1201-1230. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.

31-Tehrani M.M., Balali, M.R., Moshiri, F., Dariashenas A. 2012. Recommendation and evaluation of fertilizers in Irab, Problem and Solutions. Journal of Soil Researches, 26:123-144. (in Persian with English abstract)
32-Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In D.L. Sparks (ed.), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 2, May.-Jun. 2016, p. 581-593

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۵، ص. ۵۹۳-۵۸۱

Zinc and Copper Release Kinetics in a Calcareous Soil amended with Manure and Vermicompost

H. R. Motaghian[1*]- A. R. Hosseinpur[2]– Sh. Kiani[3]

Received: 14-01-2015
Accepted: 01-02-2016

Introduction: Use of organic fertilizers such as vermicompost in agricultural soils with low organic matter content is almost considered as a one way for adding nutrients in these soils. However, application of these fertilizers may affect micronutrient release characteristics. Micronutrient release Kinetics in soils especially in amended soils give information about potential of amended soils to release these elements into solution. Although it is important to study kinetics of micronutrient release from soils to identify soil micronutrients buffering capacity, little attention has been paid to micronutrients desorption rate studies especially in amended soils. The rate of release micronutrients from soil solid phase by considering micronutrients as adsorbed ions or in mineral forms is an important parameter in nutrition of plants by microelements and a dynamic factor that regulates its continuous supply to growing plants; nonetheless, little attention has been paid to micronutrients kinetics inrelease studies.

Material and Methods: In this study, kinetics of zinc (Zn) and copper (Cu) were compared in one calcareous soil amended with 0, 0.5, and 1% (w/w) of manure and vermicompost in a completely randomized design and then amended and un-amended soils were incubated at field capacity, for 30 days. After incubation period, amended and un-amended soils were air-dried and were prepared to kinetics study. Kinetics of Zn and Cu release were studied by successive extraction with DTPA-TEA solution. Two grams of the amended and un-amended soils, in triplicate, suspended in 20 ml DTPA-TEA solution were equilibrated at 25 ± 1^0C for 1, 8, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 336 and 504 h by shaking for 15 min. before incubation and 15 min. before the suspensions were centrifuged. Seven drops of toluene were added to each 1000 ml of extractant to inhibit microbial activity. Zinc and copper desorption with time was fitted by using different equations (Zero-order, First-order, Parabolic diffusion, Simplified Elovich, and Power function).

Results and Discussion: Results showed that released Zn in soils amended with manure and vermicompost compared to control soil significantly increased ($p<0.05$). While, released Cu in soil amended with manure with respect to control soil did not change ($p>0.05$) and released Cu in soil amended with vermicompost decreased significantly ($p<0.05$) with respect to control soil. Released Zn and Cu in soils amended with vermicompost decreased significantly ($p<0.05$) compared to soils amended with manure. The amount of released Zn in reclaimed soil with 0.5 and 1% manure and vermicompost was 2.54, 2.98, 2.14, and 2.61 mg kg^{-1}, respectively. In addition, the amount of released Cu in amended soil with 0.5 and 1% manure and vermicompost was 2.92, 2.72, 2.41, and 2.40 mg kg^{-1}, respectively. Different mathematical models were tested for their suitability to describe desorption of Zn and Cu from the amended and un-amended soils. Comparisons of R^2 and SE values indicated that the power function equation described the reaction rates fairy well, as evidenced by the high coefficients of determination and low standard error of the estimate. The constant a in the power function may be indicated the number of surface sites available for desorption. In addition, the constant b is a measure of the affinity of elements for these sites with increasing affinity of sites being indicated by the value of 1/b. In the other words, an increase in the value of a decrease in the value of b probably indicates an increase in the rate of metal desorption from the soils with DTPA. The results showed that rate constant of released Zn, a constant in amended soils with 0.5 and 1 % manure were 0.882 and 1.097 mg kg^{-1}, respectively. This constant in amended soils with 0.5 and 1 % vermicompost were 0.659 and 0.825 mg kg^{-1}, respectively. Also, the b constant, ranged from 0.231 (soil amended with 0.5% manure) to 0.267 (soil amended with 0.5% vermicompost) (mg $kg^{-1}h^{-1}$). Rate constant of released Cu, a constant in amended soils with 0.5 and 1 % manure were 0.916 and 0.834 mg kg^{-1}, respectively. This constant in amended soils with 0.5 and 1 % vermicompost were 0.745 and 0.787 mg kg^{-1}, respectively. Also, the b constant, ranged from 0.231 (soil amended with 0.5% manure) to 0.267 (soil amended with 0.5% vermicompost) (mg $kg^{-1}h^{-1}$). Rate constant (a*b) of released Zn in the amended soils with 0.5 and 1 % vermicompost were 0.216 and 0.176, respectively. While this constant in the amended soils with 0.5 and 1 %

1, 2 and 3- Assistant Professor, Professor, and Assistant Professor of Soil Science and Engineering of Agriculture Faculty, Shahrekord University, Iran, Respectively
(*- Corresponding Author Email: hrm_61@yahoo.com)

manure were 0.214 and 0.254 respectively. Moreover, rate constant (a*b) of released Cu in the amended soils with 0.5 and 1 % vermicompost were 0.197 and 0.199, respectively. While this constant in the amended soils with 0.5 and 1 % manure were 0.242 and 0.222, respectively.

Conclusion: Our results revealed that the rate of released Zn and Cu in soils amended with vermicompost was lower than the soils amended with manure. In the other words the difference between rates of release constants indicated that Zn and Cu supplying power of the amended soils with manure was higher than amended soils with vermicompost

Keywords: Micronutrient, Organic Fertilizer, Power Function, Succecive Extraction