



تأثیر کمپوست زباله شهری تهران و زمان بر غلظت روی و مس در خاک و گیاه ذرت

مریم فالاحی مطلق^۱، * عبدالامیر بستانی^۲ و حشمت امید^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شاهد،

^۲استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شاهد، ^۳استادیار گروه زراعت، دانشگاه شاهد

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۲۶

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد کمپوست زباله شهری تهران (MSWC) بر غلظت روی و مس در خاک تحت کشت ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس (۷۰۴)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی (RCBD) با دو عامل مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار) و زمان (اعمال یک مرتبه یا دو مرتبه کمپوست) در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد کمپوست زباله شهری تأثیر معنی‌داری بر کاهش pH و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و کربن آلی خاک داشت. کمپوست زباله شهری باعث افزایش معنی‌دار روی و مس کل خاک و قابل‌عصاره‌گیری با DTPA گردید ($P \leq 0/01$). بیش‌ترین مقدار روی و مس قابل جذب به ترتیب برابر با ۱۰/۸۲ و ۹/۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم، مربوط به تیمار ۶۰ تن در هکتار سال دوم به دست آمد به گونه‌ای که در مقایسه با تیمار شاهد برای روی ۹۷/۹۴ و برای مس ۱۱۰/۰۲ درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان داد کمپوست زباله شهری اثر معنی‌داری بر افزایش غلظت روی و مس در ریشه و اندام هوایی داشت ($P \leq 0/01$). بیش‌ترین مقدار جذب روی و مس در تیمار سال دوم ۶۰ تن بر هکتار مشاهده شد که در مقایسه با شاهد برای عنصر روی در ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۹۲/۳۶ و ۷۰/۲۶ درصد و برای عنصر مس در ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۷۳/۸۷ و ۱۱۸/۶۲ درصد افزایش یافت. کمپوست زباله شهری برای هر دو عنصر روی و مس سبب افزایش فاکتور دسترسی زیستی شد البته این مسأله برای مس مشهودتر بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین روی و مس کل و قابل استخراج با DTPA و غلظت این عناصر در ریشه و اندام هوایی گیاه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، روی، کمپوست زباله شهری تهران، مس

* مسئول مکاتبه: bostani@shahed.ac.ir

مقدمه

ذرت یکی از غلات گرمسیری و از خانواده گندمیان (گرامینه) متعلق به گیاهان تک‌لیه می‌باشد. با توجه به شرایط آب و هوایی مناسبی که کشور ایران برای تولید ذرت دارا می‌باشد در بیش‌تر مناطق کشور نسبت به کاشت این محصول اقدام می‌گردد. همچنین با توجه به کمبود مراتع غنی و تراکم زیاد دام در ایران، تولید ذرت علوفه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد که یکی از کاربردهای آن، استفاده از اندام‌های هوایی این گیاه (به‌صورت تازه، خشک و یا سیلوشده) در تغذیه دام می‌باشد (مستشاری، ۱۹۹۷). در خاک‌های ایران به دلایل متعددی از جمله مقدار کربنات کلسیم معادل^۱ و pH بالا، فقر مواد آلی و حضور بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری، با وجود کافی بودن مقدار کل، اما کمبود شکل قابل دسترس عناصر کم‌مصرف از جمله روی و مس عمومیت دارد (مارشمنز، ۱۹۹۳؛ رفیعی و همکاران، ۲۰۰۵). بیش از ۶۰ درصد خاک‌های ایران، کم‌تر از یک درصد ماده آلی دارند (خدیوی‌بروجنی و همکاران، ۲۰۰۸) و این امر باعث کاهش فراهمی دسترسی عناصر کم‌مصرف در خاک و کمبود این عناصر در گیاهان می‌شود. در تهران، بیش از ۷۰۰۰ تن زباله در روز تولید می‌شود که نزدیک به ۷۰ درصد ترکیب این زباله‌ها را پسماندهای غذایی با فسادپذیری بالا تشکیل می‌دهد (فرزادکیا و همکاران، ۲۰۰۹). با تبدیل این زباله‌ها به کمپوست و اضافه کردن آن‌ها به خاک، علاوه‌بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و تغذیه‌ای خاک‌ها (لاخدار و همکاران، ۲۰۰۹) می‌توان باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی شد (خدیوی‌بروجنی و همکاران، ۲۰۰۸). تحرک و فراهمی عناصر غذایی در خاک‌های تیمار شده با کمپوست زباله شهری، تحت تأثیر فاکتورهایی مانند pH، پتانسیل ریداکس، غلظت و نوع یون‌های رقابت‌کننده برای جذب و حضور لیگاندهای آلی و غیرآلی در خاک قرار دارد (آچیبا و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که مصرف کمپوست زباله شهری در خاک‌های آهکی به‌طور معنی‌دار باعث کاهش pH و افزایش کربن آلی خاک می‌شود (لابوسکی و لامب، ۲۰۰۳؛ آچیبا و همکاران، ۲۰۰۹؛ آچیبا و همکاران، ۲۰۱۰). استونسون (۱۹۹۱) گزارش کرد که عناصر کم‌مصرف کاتیونی در pH‌های بالا رسوب می‌کنند اما این کاتیون‌ها با تشکیل کمپلکس با مواد آلی می‌توانند به‌صورت محلول درآیند. هوموس به‌عنوان مهم‌ترین بخش مواد آلی، به‌طور مستقیم بر رهاسازی و تشکیل کمپلکس با عناصر غذایی، ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت بافری خاک مؤثر است

(چمانی و همکاران، ۲۰۱۲). تشکیل پیوند یون‌های فلزی با مواد هومیکی به pH، نوع و مقدار گروه‌های عاملی اسیدی، طول پیوند و وزن مولکولی آن‌ها بستگی دارد. با افزایش pH و افزایش طول پیوند، کاتیون‌های سه‌ظرفیتی نسبت به کاتیون‌های دو ظرفیتی پیوند بیش‌تری تشکیل می‌دهند (مورتودت و همکاران، ۱۹۹۱). نتایج مطالعات طیف‌سنجی مادون قرمز (IR) نشان می‌دهد که گروه‌های عاملی کربوکسیل اسید هومیک و اسید فولویک، نقش برجسته‌ای در کمپلکس کردن کاتیون‌های دو ظرفیتی و سه‌ظرفیتی دارند (استونسون، ۱۹۹۱). اسید هومیک یک ترکیب پلیمری طبیعی آلی (کشاورزی و چمنی، ۲۰۱۱) بوده و به‌عنوان یک اسید آلی به‌دست آمده از هوموس، از طریق اثرات هورمونی و تشکیل کمپلکس با یون‌های معدنی (کمری‌شاه‌ملکی و همکاران، ۲۰۱۳) سبب بهبود جذب عناصر غذایی می‌شود. توانایی اسید هومیک برای تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف می‌تواند به‌دلیل میزان بالای گروه‌های عاملی محتوی اکسیژن، که شامل COOH، فنولیک-OH، اینولیک-OH، الکل-OH و C=O باشد (استونسون، ۱۹۹۱). به‌دلیل وزن مولکولی پایین و میزان بالای گروه‌های عاملی اسیدی فولویک اسید، کمپلکس فلز با فولویک اسید، حساسیت کم‌تری برای تشکیل رسوب، نسبت به هومیک اسید دارد (استونسون، ۱۹۹۱). مک‌براید (۱۹۸۲) بیان نمود که اجزاء ماده آلی مثل هومیک اسید و فولویک اسید با آهن و مس کمپلکس‌های درون‌کره‌ای^۱ (کمپلکس‌های پایدار) و با روی و منگنز کمپلکس‌های برون‌کره‌ای^۲ (کمپلکس‌های ضعیف) تشکیل می‌دهند. استونسون (۱۹۹۱) گزارش کرد که در محلول خاک عناصر مس و آهن به شکل کمپلکس‌های پایدار و منگنز بیش‌تر به شکل یونی آزاد در محلول خاک حضور دارد و عنصر روی، بین این دو شکل توزیع شده است. پژوهش‌های نشان می‌دهد مس بر خلاف روی کمپلکس‌های پایدارتری با مواد آلی حل شده تشکیل می‌دهد (بوسینلی و همکاران، ۲۰۰۹). ایوانی و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که الکترون‌گاتیوی زیاد Cu^{2+} نسبت به Zn^{2+} نشان می‌دهد که مس، تمایل بیش‌تری برای تشکیل پیوندهای کووالانسی قوی با لیگاندهای آلی دارد. فراهمی روی برای گیاهان در خاک‌های با pH بالا به‌علت جذب سطحی بر سطح رس یا کربنات کلسیم، کاهش می‌یابد و به‌ازای هر واحد افزایش در pH خاک، حلالیت املاح روی ۱۰۰ برابر کاهش می‌یابد (لیندسی، ۱۹۹۲). براساس گزارش اسپیر و

1- Inner Sphere

2- Outer Sphere

همکاران (۲۰۰۴) کاربرد لجن فاضلاب، به مقدار سالانه ۲۰۰ تن در هکتار در خاک لومی شنی سبب افزایش قابل توجه مقدار روی کل و قابل دسترس خاک شد. بررسی های کلباسی و همکاران نشان داد که در خاک های آهکی، روی به صورت کربنات روی رسوب کرده و از دسترس گیاه خارج می شود به همین دلیل کاربرد کودهای آلی با افزایش ماده آلی خاک و همچنین کاهش pH خاک، تا حد زیادی باعث رفع کمبود این عناصر در گیاه می گردند (به نقل از شریفی و همکاران، ۲۰۱۱). معمولاً غلظت فلزات در بافت گیاهی تابعی از غلظت آن ها در محلول خاک می باشد اما این همبستگی مطابق با گونه و بافت گیاه متفاوت می باشد (حسین پور و قاجار، ۲۰۱۲). روی در گیاه عنصری متحرک بوده و به سهولت از ریشه به اندام هوایی گیاه منتقل می شود در حالی که مس و آهن، به طور عمده در ریشه ها باقی می ماند. سازوکارهای گیاه مانند دفع فلزات، محدودیت نقل و انتقال از ریشه به اندام هوایی و اشباع سیستم حامل از جمله عواملی هستند که سبب تجمع این فلزات در ریشه می شوند (حسین پور و قاجار، ۲۰۱۲). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کمپوست زباله شهری و دفعات کاربرد بر غلظت عناصر روی و مس در خاک و گیاه ذرت می باشد.

مواد و روش ها

به منظور بررسی سطوح مختلف کمپوست زباله شهری تهران بر غلظت عناصر روی و مس در خاک و گیاه ذرت، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، به صورت کرت های خرد شده (مقادیر کمپوست در کرت های اصلی و دفعات مصرف در کرت های فرعی) در سه تکرار در سال زراعی ۹۰-۸۹ و ۹۱-۹۰ مدیریت شد. اما با توجه همگنی شرایط در بلوک های آزمایشی و عدم معنی داری خطای کرت های اصلی، تجزیه آماری صفات ارزیابی شده به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی انجام شد. عامل اول چهار سطح تیمار کمپوست شامل شاهد، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار و عامل دوم کاربرد یک ساله و دو ساله در نظر گرفته شد. به این صورت که کرت اصلی در سال اول مشخص و سطوح مختلف تیمار به آن افزوده شد و در سال دوم هر کرت به دو قسمت مساوی تقسیم شد و تنها به یک قسمت آن همان تیمار سال قبل افزوده شد. عملیات آماده سازی و افزودن کمپوست در اردیبهشت و کشت ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) در تیرماه صورت گرفت. تعداد بوته در واحد مترمربع ۱۰ عدد، بذرها به فاصله

۲۰ سانتی متری از هم و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی متر انتخاب شد. ابعاد کرت در سال اول ۱۲ و در سال دوم ۶ مترمربع تعیین شد. کشت به صورت دستی و طبق اصول به‌زراعی و آبیاری به صورت منظم انجام شد. برای هر کرت آبیاری به روش جوی و پشته‌ای به صورت جداگانه و یک بار در هفته آبیاری انجام شد. در پایان فصل رشد از عمق ۲۵-۰ سانتی متری خاک هر کرت یک نمونه مرکب برداشته و پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی متری، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن شامل درصد اشباع، تهیه عصاره اشباع و تعیین هدایت الکتریکی و pH در آن به روش رودز (۱۹۸۲)، بافت خاک با روش هیدرومتر (بایوکاس، ۱۹۶۲)، ماده آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور و همکاران (۱۹۵۲) و کربنات کلسیم به روش کلسیمتر فشاری (نلسون، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های گیاهی از هر کرت به صورت تصادفی در سه تکرار برداشت شدند. ریشه‌ها از عمق ۵۰-۰ سانتی متری و بخش اندام هوایی مرکب از ساقه و برگ نمونه برداری شد. برای اندازه‌گیری روی و مس قابل جذب و کل خاک به ترتیب از روش DTPA (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) و روش اسیدنیتریک، آب اکسیژنه و اسید کلریدریک (گوپتا، ۲۰۰۰) استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت این عناصر در گیاه نیز از هر کرت یک نمونه مرکب از اندام هوایی و ریشه برداشته و پس از آماده‌سازی به روش هضم تر (هضم با اسید نیتریک و پرکلریک) عصاره‌گیری شد (گوپتا، ۲۰۰۰). در نهایت غلظت عناصر با دستگاه جذب اتمی مدل Analytic Jena Contra AA300 قرائت گردید. محاسبه‌های آماری با نرم‌افزار SAS انجام و نمودارها با Excel ترسیم شد. فاکتور انتقال از تقسیم غلظت عنصر در اندام هوایی نسبت به ریشه (کربونل و همکاران، ۲۰۱۱) و فاکتور دسترسی زیستی از تقسیم غلظت قابل دسترس عنصر به غلظت کل آن محاسبه گردید (اسمیت، ۲۰۰۹).

نتایج و بحث

جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این جدول مشخص است بافت خاک به نسبت سبک، دارای مقدار ماده آلی کم بوده و خاک آهکی می‌باشد.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۴) ۱۳۹۳

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی قبل از اعمال تیمارها.

بافت	pH	EC _e	رس	سیلت	شن	SP	OC	CCE*	CEC
-	-	(دسی‌زیمنس بر متر)				(درصد)			(Cmol _e kg ⁻¹)
لوم	۸/۲۸	۱۰/۰۶	۲۴	۴۰	۳۶	۳۱	۱/۱۷	۱۱/۵	۱۲/۱۳

* کربنات کلسیم معادل.

ادامه جدول ۱- غلظت عناصر آهن، منگنز، روی و مس قابل استخراج با DTPA قبل از اعمال تیمارها.

آهن	منگنز	روی	مس
DTPA (میلی‌گرم بر کیلوگرم)			
۲/۷۸	۱۱/۸۹	۴/۸۶	۴/۱۷

جدول ۲ برخی از ویژگی‌های کمپوست زباله شهری مورد استفاده را نشان می‌دهد. با توجه به استانداردهای ارایه شده برای کمپوست توسط مراجعی همچون WHO (سازمان بهداشت جهانی) و EPA (آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا)، به‌جز قابلیت هدایت الکتریکی، سایر پارامترها در شرایط مطلوبی قرار دارند (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های کمپوست زباله شهری مورد استفاده.

K	P	N	C/N	OC	EC (۱:۲)	pH (۱:۲)
		(درصد)			(دسی‌زیمنس بر متر)	-
۰/۵۸	۰/۶۸	۲/۰۵	۱۲/۱	۲۵	۱۰	۷/۲

ادامه جدول ۲- غلظت عناصر آهن، منگنز، روی، مس، نیکل، سرب و کادمیوم کل موجود در کمپوست زباله شهری.

آهن	منگنز	روی	مس	نیکل	سرب	کادمیوم
Total (میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
۱۶۲۰۰	۴۲۶۶	۶۰۹/۵	۳۱۲/۷	۳۹/۷	۱۱۹	۲/۵۴

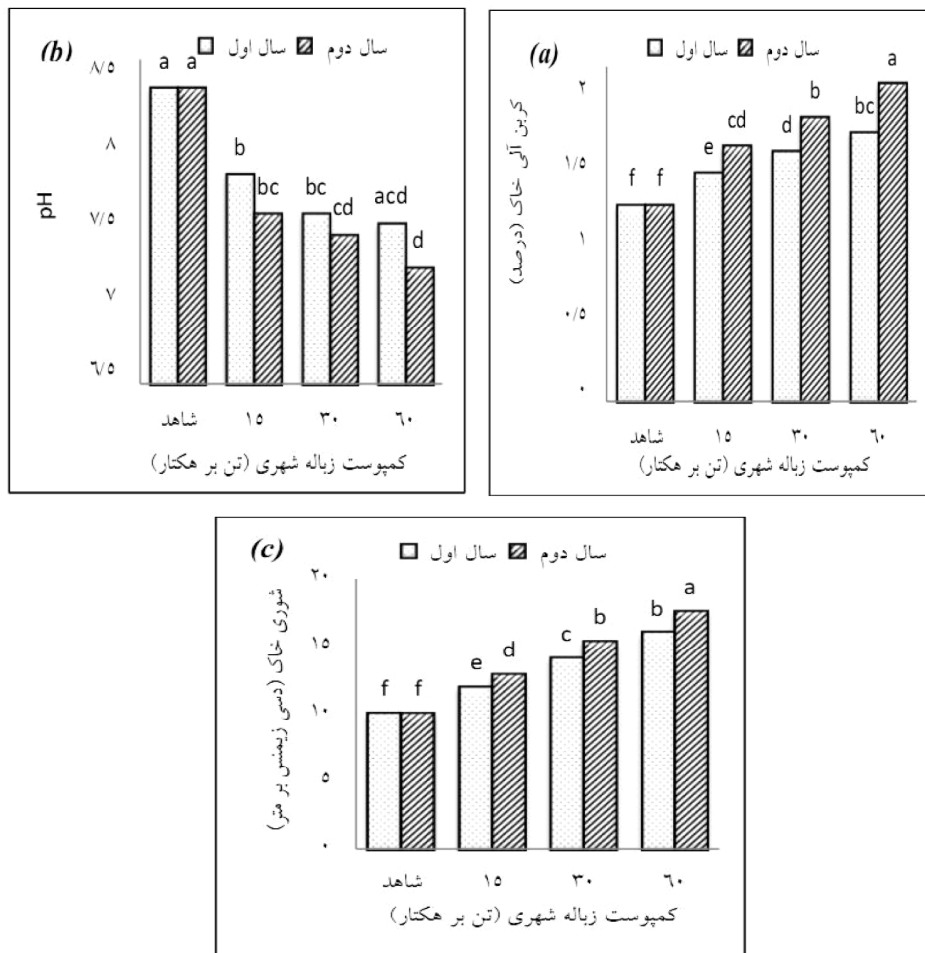
نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس اثر کمپوست زباله شهری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات اعمال تأثیر معنی‌داری بر pH، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل، درصد اشباع و شوری خاک دارد (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس pH، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، درصد اشباع خاک و شوری در خاک در سطوح کمپوست زباله شهری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	pH	CCE	OC (درصد)	SP	EC (دسی زیمنس بر متر)
تکرار	۲	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{ns}	۰/۸۱*
کمپوست زباله شهری	۳	۱/۱۰ ^{**}	۰/۲۱ ^{**}	۰/۳۴ ^{**}	۱۱/۴۹ ^{**}	۵۱/۲۸ ^{**}
دفعات کاربرد	۱	۰/۱۵ [*]	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۱۳ ^{**}	۷/۴۹ ^{ns}	۵/۴۱ ^{**}
کمپوست × دفعات	۳	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۰/۰۱*	۲/۳۹ ^{ns}	۰/۶۹ ^{ns}
خطا	۱۴	۰/۰۳۳	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴	۲/۳۳	۰/۲۲
ضریب تغییرات		۲/۴۱	۱/۱۰	۴/۴۲	۴/۷۴	۳/۵۲

* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیر معنی دار.

شکل ۱، نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات اعمال آن بر کربن آلی و pH را نشان می دهد. نتایج نشان داد که کمپوست، بیشترین تأثیر را بر میزان pH، EC و OC داشته است. میزان کربن آلی در تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار در کرت‌هایی که یکبار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب ۱۶/۱، ۲۷/۱۱ و ۳۶/۴۴ درصد افزایش داشت. این مقادیر برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به ترتیب ۲۹/۶۶، ۴۴/۰۶ و ۶۱/۰۱ درصد به دست آمد. مطالعات مختلف نشان می دهد مواد آلی با داشتن وزن مولکولی پایین، از طریق تشکیل لیگاندهای آلی محلول، کربوکسیلیک اسیدها، اسیدهای آمینه و فلویک اسید، جذب فلزات توسط گیاهان را افزایش می دهند (آچیا و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج نشان داد مقدار کربن آلی در تیمارهای ۳۰ تن بر هکتار سال دوم و ۶۰ تن بر هکتار سال اول و همچنین ۱۵ تن بر هکتار سال دوم و ۳۰ تن بر هکتار سال اول، با یکدیگر اختلاف معنی داری ندارند. این مسأله ابقا و اثربخشی کمپوست زباله شهری بر ویژگی‌های مختلف خاک را برای چند سال متوالی نشان می دهد. همچنین نتایج نشان داد که میزان pH در تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار در کرت‌هایی که یکبار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب ۶/۴۳، ۹/۳۵ و ۱۰/۰۸ درصد کاهش داشت. این مقادیر برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به ترتیب ۹/۳۵، ۱۰/۹۳ و ۱۳/۳۶ درصد بود. لایوسکی و لمب (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که مصرف کمپوست در خاک با گذشت زمان، pH خاک را کاهش می دهد.



شکل ۱- تأثیر سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات اعمال بر میزان کربن آلی (a)، pH (b) و شوری خاک (c).

علاوه بر کربن آلی و pH، شوری نیز تحت تأثیر افزودن کمپوست زباله شهری قرار گرفت. اصلی‌ترین عیب کاربرد کمپوست زباله شهری، افزایش شوری آن می‌باشد. به طوری که برای کرت‌های با اعمال یک مرتبه کمپوست، در تیمارهای شاهد، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار، به ترتیب مقادیر ۱۰/۰۶، ۱۲، ۱۴/۱۳ و ۱۶/۰۶ دسی‌زیمنس بر متر و برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست، به ترتیب مقادیر ۱۰/۰۶، ۱۲/۹۶، ۱۵/۴۰ و ۱۷/۶۷ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود

تأثیر کمپوست بر شوری، روند افزایشی داشته است و این تأثیر برای همه کرت‌های تیمار شده با کمپوست در سال دوم نسبت به سال اول بیش‌تر است. استونسون (۱۹۹۴) بیان کرد که افزایش شوری با افزایش مقدار ماده آلی در خاک ارتباط دارد. میشرا و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش سطوح کمپوست زباله شهری در مقایسه با تیمار شاهد هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت. شیرالپور و همکاران (۱۹۹۲) بیان کردند که افزایش سطوح کمپوست زباله شهری منجر به افزایش هدایت الکتریکی در خاک شد. این پژوهشگران دلیل این افزایش را تجزیه مواد آلی و در نتیجه تولید نمک‌های با غلظت بالا ذکر کردند. فرانکو-اترو و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان کردند که کاربرد کمپوست لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش هدایت الکتریکی خاک گردید. آن‌ها دلیل افزایش هدایت الکتریکی را افزایش نمک‌های محلول و معدنی شدن مواد آلی ذکر کردند. همچنین افزایش شوری در خاک‌های تیمار شده با کمپوست زباله شهری توسط هارگریوز و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش شده است. با توجه به این‌که EC_e کمپوست زباله شهری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد افزایش شوری خاک‌های تیمار شده با کمپوست زباله شهری را می‌توان به املاح موجود در کمپوست نسبت داد. نتایج نشان داد اثر کمپوست زباله شهری بر درصد اشباع خاک (SP) محدودتر بوده به‌گونه‌ای که درصد اشباع از ۳۱ برای تیمار شاهد به ۳۳ و ۳۵/۳ برای تیمار ۶۰ تن بر هکتار به‌ترتیب در سال اول و دوم افزایش یافت ($P \leq 0/05$). این افزایش بین تیمارهای شاهد، ۱۵ و ۳۰ تن بر هکتار معنی‌دار نشد. ظرفیت تبادل کاتیونی نیز با افزایش کمپوست زباله شهری افزایش یافت به‌طوری‌که در تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار نسبت به تیمار شاهد در کرت‌هایی که یک‌بار کمپوست دریافت نمودند به‌ترتیب ۴/۴۵، ۱۲/۰۳ و ۱۵/۵۸ درصد افزایش داشت. این مقادیر برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به‌ترتیب ۱۹/۱۲، ۲۵/۶۳ و ۲۹/۶۷ درصد افزایش نشان داد.

اثر کمپوست زباله شهری بر غلظت روی و مس در خاک: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس اثر سطوح کمپوست زباله شهری، بر غلظت روی و مس کل و قابل استخراج با DTPA در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان داد که بین تیمارهای مختلف کمپوست زباله شهری و دفعات کاربرد بر میزان روی و مس کل و قابل استخراج با DTPA در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۴) ۱۳۹۳

جدول ۴- تجزیه واریانس مقادیر روی و مس کل و قابل استخراج با DTPA در سطوح کمپوست زباله شهری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	روی		مس	
		کل	قابل استخراج با DTPA	کل	قابل استخراج با DTPA
تکرار	۲	۱۱/۴۳ ^{ns}	۱/۸۱ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}
کمپوست زباله شهری	۳	۱۱۹۵/۱۷ ^{**}	۳۰۵/۸۲ ^{**}	۴۲/۱۳ ^{**}	۳۷/۵۴ ^{**}
دفعات کاربرد	۱	۱۲۱۴/۸۳ ^{**}	۶۴۳/۵ ^{**}	۷۵/۲۱ ^{**}	۵۱/۶۴ ^{**}
کمپوست × دفعات	۳	۹۱/۷۸ [*]	۸۶/۲۱ ^{**}	۸/۴ ^{**}	۷/۵۲ ^{**}
خطا	۱۴	۳۰/۴۷	۵/۹۴	۰/۲۸	۰/۵۲
ضریب تغییرات		۶/۲۲	۶/۶۸	۷/۶۹	۱۲/۳۲

* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیر معنی دار.

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر غلظت روی و مس کل و قابل استخراج با DTPA در جدول ۵ ارایه شده است. بیشترین مقدار روی و مس قابل جذب به ترتیب برابر با ۱۰/۸۲ و ۹/۲۹ میلی گرم در کیلوگرم، مربوط به تیمار کمپوست ۶۰ تن در هکتار سال دوم به دست آمد. نتایج نشان داد که غلظت روی کل و قابل دسترس در تیمار ۶۰ تن بر هکتار در مقایسه با شاهد به ترتیب ۳۱/۶۶، ۶۸/۲۳ درصد افزایش یافت. این مقادیر برای مس کل و قابل دسترس به ترتیب ۸۱/۳۰، ۵۸/۰۲ درصد به دست آمد. این نتایج بیانگر تأثیر حدود سه برابری کمپوست زباله شهری بر فرم قابل دسترس در مقایسه با فرم کل برای هر دو عنصر مس و روی می باشد. وارمن و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش سطوح کمپوست زباله شهری، مقدار روی و مس قابل دسترس خاک، به طور معنی داری افزایش یافت. هارگریوز و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که افزودن کمپوست زباله شهری، منجر به افزایش روی کل خاک در مقایسه با تیمار شاهد گردید. کربونل و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که کمپوست زباله شهری، غلظت روی کل را در خاک های شنی لومی افزایش داد. مشابه این نتایج توسط زنگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش شده است. یافته های بالدانتونی و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که اصلاح کننده های کمپوست، بر غلظت قابل دسترس عناصر در خاک، بیش تر از غلظت کل عناصر تأثیر می گذارند.

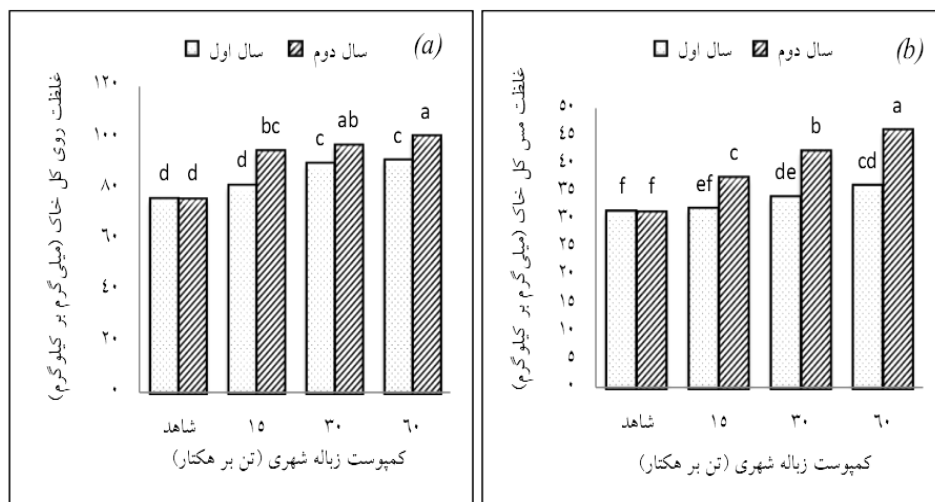
جدول ۵- مقایسه میانگین غلظت عناصر روی و مس کل و استخراج شده با DTPA از خاک در سطوح کمپوست زباله شهری.

کمپوست زباله شهری		کمپوست زباله شهری		مس	روی
(t ha ⁻¹)		Total (میلی گرم بر کیلوگرم)			
شاهد	۷۷/۵۲ ^c	۳۱/۶۴ ^d	۴/۸۶ ^c	۴/۱۸ ^d	۴/۱۸ ^d
۱۵	۸۸/۰۹ ^b	۳۴/۸۸ ^c	۶/۹۱ ^b	۵/۳۴ ^c	۶/۹۱ ^b
۳۰	۹۳/۴۶ ^a	۳۸/۲۹ ^b	۸/۰۳ ^a	۶/۳۰ ^b	۸/۰۳ ^a
۶۰	۹۵/۸۶ ^a	۴۱/۱۴ ^a	۸/۱۸ ^a	۷/۵۹ ^a	۸/۱۸ ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

همچنین نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین مربوط به اثر دفعات اعمال کمپوست بر غلظت روی و مس کل و قابل استخراج با DTPA نشان داد که غلظت این دو عنصر در تیمارهایی که دو مرتبه کمپوست دریافت نموده بودند به‌طور معنی‌داری در مقایسه با کرت‌هایی که یک بار کمپوست دریافت کردند بالاتر بود ($P \leq 0/01$). به‌طوری‌که غلظت روی و مس کل برای تیمارهای دوبار اعمال کمپوست نسبت به یک مرتبه اعمال آن به‌ترتیب ۹/۷ و ۱۷/۸۲ درصد و برای روی و مس قابل استخراج با DTPA به‌ترتیب ۳۴/۱۷ و ۳۳/۷۳ درصد افزایش یافت.

نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کمپوست و دفعات اعمال آن بر غلظت روی و مس کل در شکل ۲ آمده است. نتایج نشان داد که که غلظت روی کل در تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار در کرت‌هایی که یک‌بار کمپوست دریافت نمودند به‌ترتیب ۶/۷۸، ۱۸/۰۴ و ۱۹/۶۲ درصد و برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به‌ترتیب ۲۰/۲۳، ۲۲/۹۸ و ۲۷/۵۳ درصد افزایش داشت. این مقادیر برای مس کل در تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار در سال اول به‌ترتیب ۱/۳۵، ۷/۹۶، ۱۴/۱۵ درصد و برای سال دوم، به‌ترتیب ۱۹/۱۵، ۳۴/۰۷، ۴۵/۸۵ درصد به‌دست آمد. همچنین غلظت روی قابل استخراج با DTPA در تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار در کرت‌هایی که یک‌بار کمپوست دریافت نمودند به‌ترتیب ۱۵/۶۴، ۳۷/۴۵ و ۳۸/۶۸ درصد و برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به‌ترتیب ۶۸/۷۲، ۹۳ و ۹۷/۹۴ درصد افزایش داشت. این مقادیر برای مس قابل استخراج با DTPA در تیمارهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار در سال اول به‌ترتیب ۱۰/۵، ۱۵/۵۱، ۵۲/۲۷ درصد و برای سال دوم، به‌ترتیب ۴۴/۳۹، ۸۵/۶۸، ۱۱۰/۰۲ درصد به‌دست آمد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح کمپوست زباله شهری و تعداد دفعات مصرف بر غلظت روی (a) و مس (b) کل در خاک. میانگین‌های دارای حروف مشترک مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

تأثیر کمپوست زباله شهری بر غلظت روی و مس در گیاه: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر غلظت روی و مس در ریشه و اندام هوایی ذرت در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بین تیمارهای مختلف کمپوست زباله شهری و دفعات کاربرد، در ریشه و اندام هوایی اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P \leq 0.01$) اما اثر تکرار معنی‌دار نشد.

جدول ۶- تجزیه واریانس غلظت روی و مس در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت.

منابع تغییرات	درجه آزادی	روی	مس	روی	مس
		ریشه	ریشه	اندام هوایی	اندام هوایی
تکرار	۲	۸/۵۶ ^{ns}	۱/۶۷ ^{ns}	۳۱/۵۸ ^{ns}	۰/۵۰ ^{ns}
کمپوست زباله شهری	۳	۲۸۲۵/۴۲**	۶۸۲/۱۳**	۲۱۷۵/۰۴**	۳۱/۸۶**
زمان کاربرد	۱	۳۸۶۴/۵۲**	۱۴۱۹/۶۴**	۱۴۸۰/۱۳**	۴/۲**
کمپوست × زمان	۳	۵۴۷/۲۱**	۱۷۳/۵۹**	۲۲۰/۵۵**	۱/۱۴*
خطا	۱۴	۵۴/۳۳	۹/۳۶	۲۸/۰۱	۰/۳۷
ضریب تغییرات		۱۲/۱۳	۸/۸۲	۸/۸۸	۱۴/۴۸

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

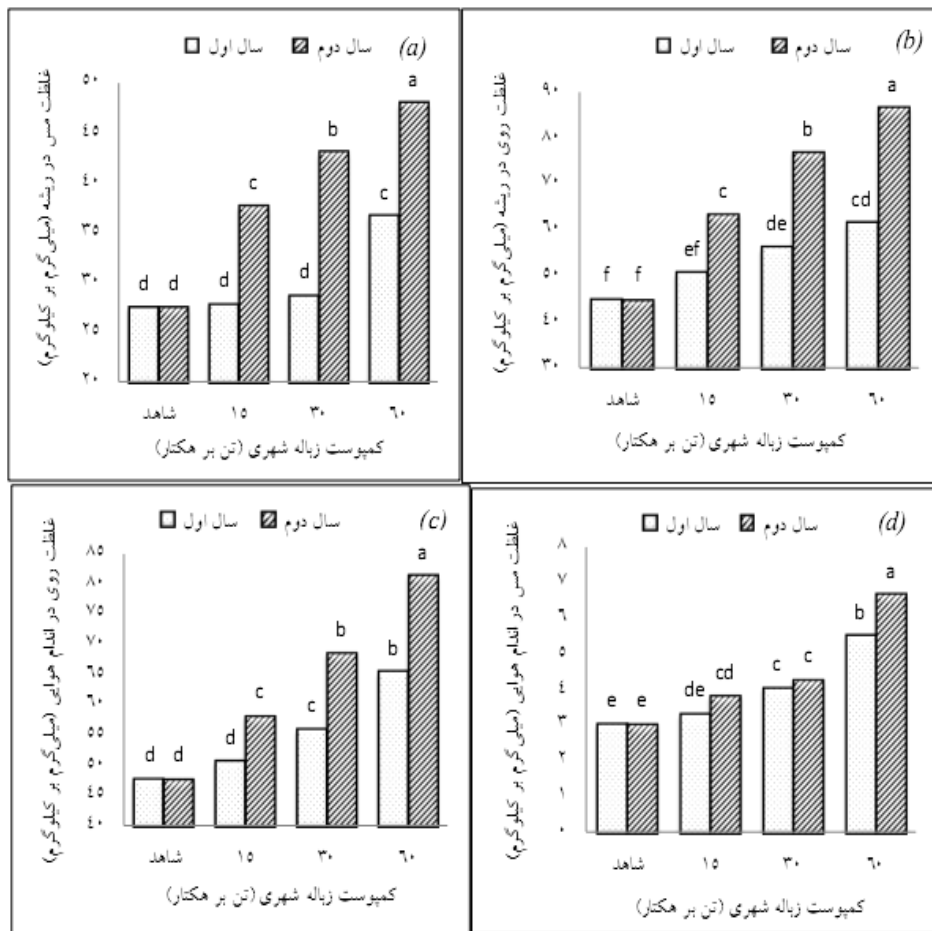
نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر غلظت روی و مس در ریشه و اندام هوایی ذرت در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بر خلاف عنصر روی، بین غلظت مس در ریشه و اندام هوایی اختلاف زیادی وجود دارد. غلظت روی در ریشه و اندام هوایی در تیمار ۶۰ تن بر هکتار کمپوست زباله شهری، نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۶۴/۴۶ و ۵۳/۴۸ درصد افزایش داشت. این افزایش برای مس در ریشه و اندام هوایی، به ترتیب ۵۳/۳۶ و ۹۹/۶۷ درصد به دست آمد. نتایج مطالعات میلواراپو و زیتتی (۲۰۰۹) نشان داد که در بافت گیاه جعفری، غلظت روی در شاهد از ۳۲/۳۱ میلی گرم بر کیلوگرم به ۵۳/۲۵ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری رسید. همچنین غلظت مس در بافت گیاه جعفری از ۳/۵۵ در شاهد به ۶/۷۳ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری افزایش یافت. نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین مربوط به اثر دفعات اعمال کمپوست بر غلظت روی و مس در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت نشان داد که غلظت این دو عنصر در تیمارهایی که دو مرتبه کمپوست دریافت نموده بودند به طور معنی داری در مقایسه با کرت‌هایی که یک بار کمپوست دریافت کردند افزایش یافت ($P \leq 0.01$). به طوری که غلظت روی در ریشه و اندام هوایی برای تیمارهای دو بار اعمال کمپوست نسبت به یک مرتبه اعمال آن به ترتیب ۲۷/۴۳ و ۱۶/۴۸ درصد افزایش یافت. این افزایش برای عنصر مس در ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۲۹/۳۸ و ۱۲/۰۳ درصد به دست آمد. غلظت روی در ریشه و اندام هوایی به ترتیب از ۵۳/۴۰ و ۵۵/۰۲ در سال اول به ۶۸/۰۵ و ۶۴/۰۹ میلی گرم بر کیلوگرم در سال دوم افزایش یافت. این افزایش برای مس از ۳۰/۲۲ و ۳/۹۹ در سال اول به ۳۹/۱۰ و ۴/۴۷ میلی گرم بر کیلوگرم در سال دوم رسید.

جدول ۷- مقایسه میانگین غلظت روی و مس ریشه و اندام هوایی ذرت در سطوح کمپوست زباله شهری.

کمپوست زباله شهری		ریشه		اندام هوایی	
(t ha ⁻¹)		میلی گرم بر کیلوگرم)		میلی گرم بر کیلوگرم)	
مس	روی	مس	روی	مس	روی
شاهد	۴۵/۰۳ ^d	۲۷/۶۰ ^d	۴۷/۸۶ ^d	۳/۰۶ ^d	
۱۵	۵۷/۲۱ ^c	۳۲/۷۹ ^c	۵۴/۵۸ ^c	۳/۵۹ ^c	
۳۰	۶۶/۶۰ ^b	۳۵/۹۲ ^b	۶۲/۳۴ ^b	۴/۱۷ ^b	
۶۰	۷۴/۰۶ ^a	۴۲/۳۳ ^a	۷۳/۴۶ ^a	۶/۱۱ ^a	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

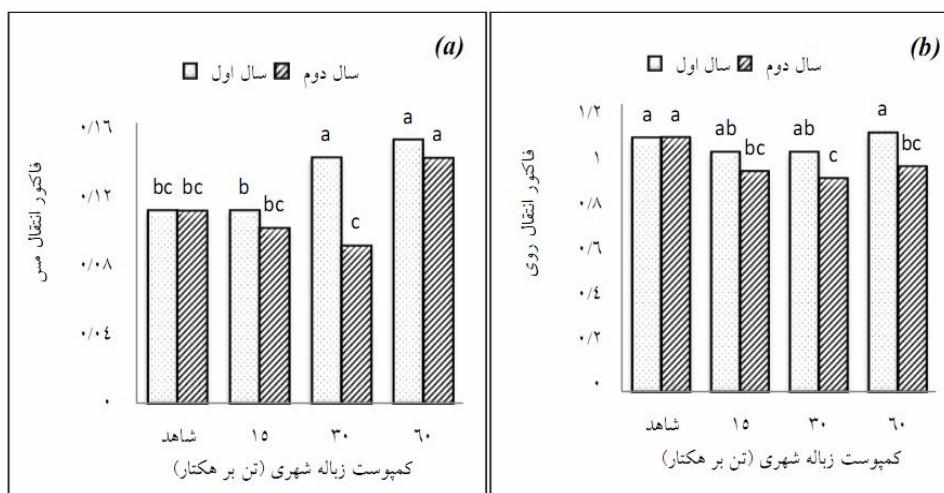
شکل ۳ نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات اعمال آن بر غلظت روی و مس در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در مجموع غلظت این عناصر در ریشه بیش از اندام هوایی، در سال دوم بیش از سال اول و جذب روی بیش از مس است ($P \leq 0/01$). بیش‌ترین مقدار جذب روی و مس در تیمار سال دوم ۶۰ تن بر هکتار مشاهده شد که در مقایسه با شاهد برای عنصر روی در ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۹۲/۳۶ و ۷۰/۲۶ درصد و برای عنصر مس در ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۷۳/۸۷ و ۱۱۸/۶۲ درصد افزایش یافت. نتایج به دست آمده از مطالعات کربونل و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که در خاک‌های تیمار شده با کمپوست زباله شهری، جذب روی در ریشه و ساقه گیاه ذرت، بیش از مس می‌باشد. ابطحی و همکاران (۲۰۱۳) بیان می‌کنند که قابلیت جذب روی به دلیل تمایل کم‌تر آن به تشکیل کمپلکس‌های آلی و تثبیت آن در ساختار کریستالی و کانی‌های خاک نسبت به سایر عناصر بیش‌تر است. تحرک بیش‌تر روی در مقایسه با مس می‌تواند به دلیل ویژگی‌های متفاوت شیمیایی این عناصر مانند الکترونگاتیویته (۱/۶ برای روی و ۱/۹ برای مس) و چگالی (۷/۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب برای روی و ۸/۹ گرم بر سانتی‌مترمکعب برای مس) منجر به تفاوت در جذب این عناصر توسط ریشه شده باشد. ون‌نوردویجک و همکاران (۱۹۹۳) بیان می‌کنند که الکترونگاتیوی زیاد Cu^{+2} نسبت به Zn^{+2} موجب می‌شود که مس تمایل بالاتری برای تشکیل پیوندهای کووالانسی قوی با لیگاندهای آلی داشته باشد. کوربولوسکی و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان داد که روی دارای قابلیت اختلاط بیش‌تری با مواد آلی است و بنابراین نسبت به سایر فلزات سنگین به شکل‌های متنوع‌تری قابل دسترس است. شمنیت (۲۰۰۳) تشکیل کمپلکس‌های آلی را عامل اصلی افزایش قابلیت جذب مس و روی، در نتیجه مصرف پسماندهای آلی معرفی کرده است. براساس اطلاعات ارائه شده توسط حاتم و رونقی (۲۰۱۱) گستره کفایت برای مس ۶-۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک ذرت علوفه‌ای بیان شده است. بنابراین بر طبق اطلاعات ارائه شده می‌توان گفت که غلظت مس در اندام هوایی برای تیمار شاهد، ۱۵ و ۳۰ تن بر هکتار سال اول و دوم و ۶۰ تن بر هکتار سال اول در محدوده کمبود قرار دارد اما با اضافه کردن ۶۰ تن بر هکتار کمپوست زباله شهری در سال دوم به محدوده کفایت رسیده و کمبود مس جبران شده است. این نتایج نشان می‌دهد که کمپوست زباله شهری، کود مناسبی برای تامین مس مورد نیاز گیاه، در خاک‌های آهکی می‌باشد. رفیعی و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که حد بحرانی روی در برگ ذرت ۲۰-۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک می‌باشد.



شکل ۳- اثر سطوح کمپوست زباله شهری و زمان بر فراهمی روی و مس در ریشه (a, b) و اندام هوایی (c, d). میانگین‌های دارای حروف مشترک مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

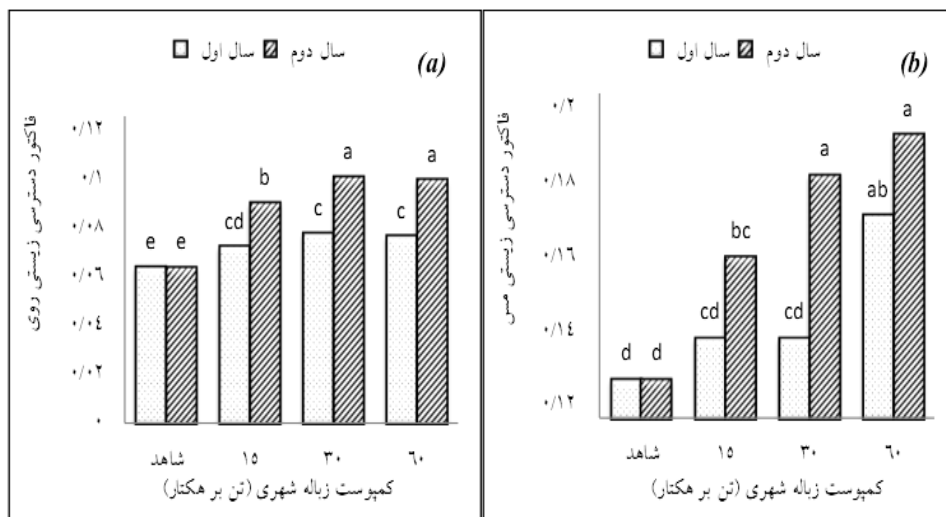
شکل ۴ نتایج مربوط به فاکتور انتقال عناصر روی و مس از ریشه به اندام هوایی گیاه ذرت را نشان می‌دهد. فاکتور انتقال به صورت غلظت عنصر در اندام هوایی نسبت به ریشه تعریف می‌شود (بوس و بهاتاچتی، ۲۰۰۸) که توانایی گیاهان برای انتقال فلزات از ریشه به اندام هوایی را نشان می‌دهد (سینگ و آگراوال، ۲۰۰۷). نتایج نشان داد که فاکتور انتقال برای مس حدود ۱۰ برابر کم‌تر از روی است. به‌گونه‌ای که دامنه تغییر فاکتور انتقال برای مس از ۰/۱۵-۰/۰۹ و برای روی از ۰/۰۸-۰/۸۹ می‌باشد.

نتایج به دست آمده در مورد فاکتور انتقال متفاوت می باشد. لخذر و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که فاکتور انتقال مس و روی از ریشه به ساقه گندم به ترتیب ۱/۱۷ و ۰/۸ میلی گرم بر کیلوگرم در شاهد و ۰/۵۷ و ۰/۸۱ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک تیمار شده با ۸۰ تن بر هکتار کمپوست زباله شهری به دست آمد. آن‌ها علت کاهش فاکتور انتقال برای مس در تیمار ۸۰ تن بر هکتار نسبت به شاهد را مکانیسم سم‌زدایی درونی گیاه گندم دروم بیان کردند. کربونل و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که فاکتور انتقال در ذرت برای مس از ۰/۳۴ در شاهد به ۰/۲۴ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار کمپوست زباله شهری رسید این مقادیر برای روی از ۰/۷ در شاهد به ۰/۸۶ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار کمپوست زباله شهری به دست آمد. به نظر می رسد نوع و غلظت عنصر در خاک و میزان نیاز گیاه نقش اساسی در روند فاکتور انتقال به عهده دارند. به گونه‌ای که در غلظت‌های بالا بر خلاف جذب توسط ریشه اما انتقال آن به اندام هوایی متناسب با نیاز گیاه محدود می شود. حسین پور و قاجار (۲۰۱۲) بیان می کنند روی عنصری متحرک بوده و به سهولت از ریشه به اندام هوایی گیاه منتقل می شود در حالی که مس و آهن، در ریشه‌ها باقی می ماند.



شکل ۴- اثر سطوح کمپوست زباله شهری و زمان بر فاکتور انتقال مس (a) و روی (b) از ریشه به اندام هوایی.

شکل ۵ نتایج مربوط به فاکتور دسترسی زیستی عنصر روی و مس را نشان می‌دهد. کمپوست زباله شهری در مجموع برای هر دو عنصر روی و مس سبب افزایش فاکتور دسترسی زیستی شد البته این مسأله برای مس مشهودتر از روی بود. همچنین نتایج نشان داد فاکتور دسترسی زیستی در سال دوم به‌طور معنی‌داری بیش از سال اول است ($P \leq 0/01$). نتایج نشان داد که فاکتور دسترسی زیستی برای مس از ۰/۱۳-۰/۱۹ و برای روی از ۰/۰۶۵-۰/۰۹۵ متغیر می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح کمپوست و دفعات اعمال آن نشان داد که فاکتور دسترسی زیستی برای روی و مس، در تیمار ۶۰ تن بر هکتار نسبت به تیمار شاهد در کرت‌هایی که یک‌بار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب ۱۲/۳ و ۳۰/۷۶ درصد و برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به ترتیب ۴۶/۱۵ و ۴۶/۱۵ درصد افزایش داشت. اسمیت (۲۰۰۹) گزارش کرد که فاکتور دسترسی زیستی در خاک‌های تیمار شده با کمپوست زباله شهری برای روی و مس، در چغندر و ریحان رشد یافته در خاک‌های لوم شنی در آزمایش گلدانی کاهش یافت آن‌ها دلیل این کاهش را تأثیر ماتریکس کمپوست در جذب فلزات بیان کردند.



شکل ۵- اثر سطوح کمپوست زباله شهری و زمان بر فاکتور دسترسی زیستی روی (a) و مس (b).

جدول ۸ همبستگی روی و مس قابل استخراج با DTPA و کل با غلظت آن‌ها در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بین روی و مس قابل استخراج با DTPA و کل با pH و کربنات کلسیم معادل همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد. این نتایج با مطالعات آبادیا و همکاران (۱۹۸۰)، سینگ و گاپتا (۱۹۸۶) و سکال و همکاران (۱۹۸۲) هم‌خوانی دارد. سدبری و همکاران (۱۹۸۰) بیان کردند در خاک‌های آهکی با pH بالا، پخشیدگی روی ۵۰ برابر کم‌تر از خاک‌های اسیدی است در نتیجه پویایی روی در این خاک‌ها کاهش یافته و احتمال کمبود روی افزایش می‌یابد. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین روی و مس کل و قابل استخراج با DTPA با کربن آلی و درصد اشباع مشاهده شد. این نتایج با یافته‌های آبادیا و همکاران (۱۹۸۰)، سکال و همکاران (۱۹۸۲) و کریمیان و معاف‌پوریان (۱۹۹۹) در خاک‌های آهکی هم‌خوانی دارد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین روی و مس کل و قابل استخراج با DTPA و غلظت این عناصر در ریشه و اندام هوایی گیاه مشاهده شد. نتایج به‌دست آمده از الگالا و همکاران (۱۹۸۷) نیز نشان داد که همبستگی مثبت بین روی قابل استخراج با DTPA و غلظت آن در برگ ذرت وجود داشت.

جدول ۸- همبستگی روی و مس قابل استخراج با DTPA و کل با غلظت آن‌ها در گیاه و برخی ویژگی‌های خاک.

	pH	OC	CCE*	SP	Root Zn	Root Cu	Shoot Zn	Shoot Cu
DTPA-Zn	-۰/۸**	۰/۸۸**	-۰/۵۰**	۰/۶۱**	۰/۸۰**	۰/۸۱**	۰/۷۶**	۰/۶۴**
DTPA-Cu	-۰/۶۹**	۰/۸۸**	-۰/۴۷**	۰/۶۷**	۰/۷۳**	۰/۸۳**	۰/۷۵**	۰/۷۷**
TOTAL-Zn	-۰/۷۱**	۰/۸۱**	-۰/۴۳**	۰/۵۳**	۰/۶۵**	۰/۶۷**	۰/۶۶**	۰/۶۵**
TOTAL-Cu	-۰/۷۴**	۰/۸۲**	-۰/۴۵**	۰/۶۴**	۰/۷۷**	۰/۷۹**	۰/۷۶**	۰/۶۹**

* کربنات کلسیم معادل، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح کمپوست زباله شهری (MSW) و دفعات مصرف بر غلظت عناصر روی و مس در خاک و گیاه ذرت صورت پذیرفت. نتایج نشان داد در مجموع کمپوست زباله شهری سبب کاهش pH خاک و افزایش هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک شد ($P \leq 0/01$). غلظت روی و مس کل و قابل استخراج با DTPA متناسب با سطوح کمپوست زباله شهری افزایش یافت. این افزایش برای سطوح ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار کمپوست زباله شهری در مقایسه با تیمار

شاهد برای روی کل به ترتیب ۱۳/۶۳، ۲۰/۵۶ و ۲۳/۶۶ و مس کل به ترتیب ۱۰/۲۴، ۲۱/۰۲ و ۳۰/۰۲، روی قابل استخراج با DTPA به ترتیب ۴۲/۱۸، ۶۵/۲۳ و ۶۸/۳۱ و مس قابل استخراج با DTPA به ترتیب ۲۷/۷۵، ۵۰/۷۲ و ۸۱/۵۸ درصد به دست آمد. عامل دفعات اعمال نیز بر افزایش غلظت روی و مس در خاک معنی دار بود ($P \leq 0/01$). نتایج نشان داد که ریشه بیش از اندام هوایی عناصر را جذب کرده و مقدار این جذب (مشابه غلظت کل و قابل استخراج با DTPA در خاک) برای روی بیش از مس بود ($P \leq 0/01$). بیشترین جذب روی و مس در تیمار ۶۰ تن بر هکتار سال دوم مشاهده شد که در ریشه و اندام هوایی در مقایسه با تیمار شاهد غلظت روی به میزان ۹۲/۳۶ و ۷۰/۲۶ درصد و غلظت مس به میزان ۷۳/۸۷ و ۱۱۸/۶۲ درصد افزایش یافت.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های این پژوهش از "صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور" تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌نمائیم.

منابع

1. Abadia, J., Millan, E., Montanes, L., and Heras, L. 1980. DTPA and NH_4HCO_3 -DTPA extractable Fe, Mn and Zn Levels in the Ebro Valley. Estacion Experimental de Aula Dei, Zaragoza. 23: 181-193.
2. Abtahi, A., Hoodaji, M., and Afyoni, M. 2013. The Effect of Biosolids (Sewage Sludge, Urban Compost, Manure) On Soil Chemical Properties and Bioavailability of Micronutrients (zinc, iron) by Corn in two Calcareous Soils. Mashhad, J. Water Soil. Resour. 27: 1. 14-23. (In Persian)
3. Achiba, W.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Laing, G.D., Verloo, M., Jedidi, N., and Gallali, T. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. Agriculture, Ecosystems and Environment. 130: 156-163.
4. Achiba, W.B., Lakhdar, A., Gabteni, N., Laing, G.D., Verloo, M., Boeckx, P., Cleemput, O.V., Jedidi, N., and Gallali, T. 2010. Accumulation and fractionation of trace metals in a Tunisian calcareous soil amended with farmyard manure and municipal solid waste compost. J. Hazardous Mater. 176: 99-108.
5. Aivani, R., Mirseyed Hosseini, H.R., Savabeghi, Gh.R., and Moezardalan, M. 2007. The effect of different sources and levels of organic fertilizers on zinc and cadmium bioavailability in soil. M.Sc. Thesis. University of Tehran. Iran, Pp: 17-95. (In Persian)

6. Baldantoni, D., Leone, A., Iovieno, P., Morra, L., Zaccardelli, M., and Alfani, A. 2010. Total and available soil trace element concentrations in two Mediterranean agricultural systems treated with municipal waste compost or conventional mineral fertilizers. *Chemosphere*. 80: 1006-1013.
7. Bose, S., and Bhattacharyya, A.K. 2008. Heavy metal accumulation in wheat plant grown in soil amended with industrial sludge. *Chemosphere*. 70: 1264-1272.
8. Bower, C.A., Reitemeier, R.F., and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*. 73: 251-261.
9. Bowyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 56: 464-465.
10. Businelli, D., Massaccesi, L., Said-Pullicino, D., and Gigliotti, G. 2009. Long-term distribution, mobility and plant availability of compost-derived heavy metals in a landfill covering soil. *Science of the Total Environment*. 407: 1426-1435.
11. Carbonell, G., Miralles de imperial, R., Torrijos, M., Delgado, M., and Rodriguez, J. 2011. Effect of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (*Zea mays* L.). *Chemosphere*. 85: 1614-1623.
12. Chamani, F., Khodabande, N., Habibi, D., Asgharzadeh, A., and Davoodifard, M. 2012. Effects of salinity stress on yield and yield components of inoculated wheat by plant growth promoting bacteria (*Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonase putida*) and humic acid. *J. Agron. Plant Bread. Resour.* 8: 1. 25-37. (In Persian)
13. Ebrahimi, A.H., Pouralagebandan, H., Khazayely, Sh., Shahsavari, A., and Salehi, A. 2008. The first full reference quality organic fertilizer production, the recycling and conversion of municipal waste organization of Isfahan Municipality. *Barin Scholars Science Institute*, 102p. (In Persian)
14. Elgala, A.M., Ismail, A.S., and Ossman, M.A. 1987. Critical levels of Iron, Manganese and Zinc in Egyptian soils. *J. Plant Nutr.* 9: 267-280.
15. Farzadkia, M., Salehi, S., Ameri, A., Joneidi Jafary, A., and Nabizade, R. 2009. Study on the Quality and Comparing of the Compost Produced by Khomain and Tehran Compost Factories, Iran. *J. Health Environ. Resour.* 2: 3. 160-169. (In Persian)
16. Franco-Otero, V.G., Soler-Rovira, P., Hernandez, D., Lopez-de-Sa, E.G., and Plaza, C. 2012. Short-term effects of organic municipal wastes on wheat yield, microbial biomass, microbial activity and chemical properties of soil. *Biol. Fertil. Soils*. 48: 205-216.
17. Gupta, P.K. 2000. *Soil, plant, Water and Fertilizer Analysis*. New Delhi, India.
18. Hargreaves, J.C., Adl, M.S., and Warman, P.R. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 123: 1-14.

19. Hatam, Z., and Ronaghi, A. 2011. The maize growth and nutrient imbalance in the effect of application of copper and manganese in calcareous soil. Iran. J. Soil Res. Resour. 25: 3. 197-206. (In Persian)
20. Hoseinpour, R., and Sepanlou Qajar, M. 2012. Evaluating the effects of integrate municipal waste compost and chemical fertilizers on micronutrient availability in soil and lettuce (*Lactuca sativa* L.). Gorgan J. Water Soil Cons. Resour. 19: 3. 123-140. (In Persian)
21. Kameri Shahmaleki, S., Peyvast, Gh., and Ghasemnezhad, M. 2013. Effect of humic acid on growth and yield of tomato cv. Isabella. Mashhad, J. Hort. Sci. Resour. 26: 4. 358-363. (In Persian)
22. Karimian, N., and Moafpouryan, G.R. 1999. Zinc adsorption characteristics of selected calcareous soils of Iran and their relationship with soil properties. Commun. In Soil Sci. Plant Anal. 30: 1721-1731.
23. Keshavarzi, L., and Chamani, A. 2011. Effects of Hinokitiol, Humic acid, Sucrose, and Silver thiosulfate (STS) as a Short-Time (Pulsing) Treatment on Vase Life of Cut 'Yelloween' Lily Flowers. Iran. J. Hort. Sci. Resour. 42: 4: 393-402. (In Persian)
24. Khadivi Borujeni, E., Shariatmadari, H., Afyuni, M., and Rezainejad, Y. 2008. The Effect of municipal waste compost on chemical forms of zinc and copper in Typic calciargid soil. J. Water Soil Resour. 21: 1. 23-33. (In Persian)
25. Korboulewsky, N., Dupouyet, S., and Bonin, G. 2002. Environmental risk of applying sewage sludge compost to vineyards: Carbon, heavy metals, nitrogen and phosphorous accumulation. J. Environ. Qual. 31: 1522-1527.
26. Laboski, C.A.M., and Lamb, J.A. 2003. Change in soil test phosphorous concentration after application of manure of fertilizer. Soil. Sci. Soc. Amer. J. 67: 544-554.
27. Lakhdar, A., Achiba, W.B., Montemurro, F., Jedidi, N., and Abdelly, C. 2009. Effect of municipal solid waste compost and farmyard manure application on heavy-metal uptake wheat. Communications Soil Science and Plant Analysis. 40: 3524-3538.
28. Lindsay, W.L. 1992. Chemical Equilibria in soil. John Wiley and Sons, New York. 384p.
29. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
30. Marschner, H. 1993. Zinc uptake from soils, P 59-77. In: Robson, A.D. (Ed.), Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Pub. Dordrecht. The Netherlands.
31. McBride, M.B. 1982. Electron spins resonance investigation of Mn²⁺ complexation in natural and synthetic organics. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 1137-1143.
32. Mishra, M., Sahu, R.K., Sahu, S.K., and Padhy, R.N. 2009. Growth, yield and elements content of weat (*Triticum aestivum*) grown in composted municipal solid wastes amended soil. Environ Dev Sustain. 11: 115-126.

33. Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M., and Welch, R.M. 1991. Micronutrients in agriculture, Second Edition. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, Pp: 145-186.
34. Mostashari, M. 1997. Investigate the interactions between phosphorus and micronutrients (iron and zinc) in dominant series of the Qazvin plain soils. M.Sc. Thesis. University of Tehran. Iran, Pp: 1-87. (In Persian)
35. Mylavarapu, R.S., and Zinati, G.M. 2009. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. *Scientia Horticulturae*. 120: 426-430.
36. Nelson, R.E. 1982. Carbonat and gypsum, P 181-196. In: Page, A.L. (ed.), *Methods of soil analysis, part 2. In Carbonat and Gypsum*, ASA, SSSA, Madison, WI.
37. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, P 539-579. In: Page, A.L. (ed.), *Methods of soil analysis, part 2, 2nd ed.* ASA, SSSA, Madison, WI.
38. Rafiee, M., Nadian, H.A., Nour-Mohammadi, G., and Karimi, M. 2005. Effects of Drought Stress, Phosphorous and Zinc Application on Concentration and Total Nutrient Uptake by Corn (*Zea mays* L.). *Iran. J. Agric. Sci. Resour.* 35: 1. 235-243. (In Persian)
39. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts, P 167-179. In: Page, A.L. (ed.), *Method of soil analysis. part2. Chemical and microbiological Properties.* Agronomy Monograph no. 9. 2nd ed. SSSA and ASA, Madison, WI.
40. Sakal, R., Singh, B.P., and Singh, A.P. 1982. Determination of critical limit of zinc in soil and plant for predicting response of rice to zinc application in calcareous soils. *Plant and Soil.* 66: 1. 129-132.
41. Schimdt, U. 2003. Enhancing phytoextraction: The Effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. *J. Environ. Qual.* 32: 1939-1954.
42. Sedberry, J.E., Peterson, F.J., Wilson, F.E., Mengel, D.B., Schiling, P.E., and Brupbacher, R.H. 1980. Influence of soil reaction and applications zinc on yields and zinc contents of rice plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11: 283-295.
43. Sharifi, M., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2011. Effect of Sewage Sludge polyacryl, municipal solid waste compost and manure on the absorption of iron and zinc in soils and its uptake by maize, alfalfa and marigold in greenhouse conditions. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences, Resources.* 15: 56. 141-152. (In Persian)
44. Shiralipour, A., McConnel, D.B., and Smith, W. 1992. Physical and chemical properties of soils as affected by municipal solid waste compost application. *Biomass and Bioenergy.* 3: 261-266.
45. Singh, K., and Gupta, V. 1986. Response of chickpea (*Cicer arietinum*) to zinc fertilization and its critical level in soils of semi-arid tropics. *Fertilizer Research.* 8: 3. 213-218.

46. Singh, R.P., and Agrawal, M. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *Chemosphere*. 67: 2229-2240.
47. Smith, R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*. 35: 142-156.
48. Speir, T.W., Horswell, J., van Schaik, A.P., McLaren, R.G., and Fietje, G. 2004. Composted biosolids enhance fertility of a sandy loam soil under dairy pasture. *Biol. Fertil. Soils*. 40: 49-58.
49. Stevenson, F.J. 1991. Organic matter-micronutrient reactions in soil, P 145-186. In: Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (eds.), *Micronutrients in agriculture*, Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
50. Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*, second ed. John Wiley & Sons, New York. 367p.
51. Van Noordwijk, M., Schhonderbeek, D., and Kooistra, M.J. 1993. Root-Soil contact of grown winter wheat. *Geoderma*. 56: 277-286.
52. Warman, P.R., Burnham, J.C., and Eaton, L.J. 2009. Effect of repeated applications of municipal solid waste compost and fertilizers to three lowbush blueberry fields. *Scientia Horticulture*. 122: 393-398.
53. Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E., and Bittner, E. 2006. A four-year study on the influence of biosolids/MSW compost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. *Compost Sci. Util.* 14: 68-80.



Effect of Tehran municipal solid waste compost and time on zinc and copper concentration in soil and corn plant

M. Fallahi Motlagh¹, *A.A. Bostani² and H. Omid³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Shahed University, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahed University, ³Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Shahed University

Received: 09/08/2013; Accepted: 03/17/2014

Abstract

To evaluate the impact of the application of Tehran municipal solid waste compost (MSWC) on zinc and copper concentrations in the soil under maize (*Zea Mays*. L.) cultivation, a factorial experiment in base randomized complete block design (RCBD) with two different amounts of municipal solid waste compost (zero, 30.15 and 60 t ha⁻¹) and time (compost applied once or twice) was performed with three replications. The results showed that MSWC has a significant effect on reducing pH and increasing cation exchange capacity and organic carbon ($P \leq 0.01$). MSWC significantly increased soil total and DTPA extractable Zn and Cu. ($P \leq 0.01$). The highest amount of DTPA extractable zinc and copper respectively observed were 10.82 and 9.29 mg kg⁻¹, respectively in the 60 T ha⁻¹ second year of treatment. As compared with control 97.94% and 110.02% increase were observed for Zn and Cu, respectively. Results showed that MSWC has a significant effect on increasing Zn and Cu concentration in roots and shoots ($P \leq 0.01$). The highest amount of zinc and copper uptake was observed in the 60 T ha⁻¹ in second year of treatment, As compared with control respectively 92.36 and 70.26 percent for zinc and 73.87 and 118.62 percent for copper in root and shoot were observed. MSWC for both zinc and copper caused an increase in bioavailable factor, although this was more pronounced for copper. There were significant positive correlation between total and DTPA-extractable Zn and Cu and concentrations of these elements in root and shoot.

Keywords: Corn, Zinc, Tehran municipal solid waste compost, Copper

* Corresponding Authors; Email: bostani@shahed.ac.ir