



## تأثیر مقادیر و دفعات مصرف کمپوست زباله شهری بر غلظت سرب، نیکل و کادمیوم در خاک و گیاه ذرت

ندا صفاری انارکی<sup>۱</sup>، \* عبدالامیر بستانی<sup>۲</sup> و حشمت امید<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شاهد تهران، آستادیار گروه علوم خاک،

دانشگاه شاهد تهران، آستادیار گروه زراعت، دانشگاه شاهد تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۲۱

### چکیده

در این مطالعه تأثیر مقادیر و دفعات مصرف کمپوست زباله شهری بر غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم در خاک و گیاه ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) رقم سینگل گراس (۷۰۴) مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشگاه شاهد به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۲ عامل مقادیر کمپوست زباله شهری (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار) و دفعات مصرف (مصرف یک یا دو ساله کمپوست) در ۳ تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که کمپوست کاربردی باعث افزایش معنی‌دار سرب و نیکل کل خاک و قابل‌عصاره‌گیری با DTPA گردید ( $P \leq 0/01$ ) به طوری که غلظت سرب کل و قابل دسترس در تیمار ۶۰ تن بر هکتار در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱/۳۸ و ۱/۸۹ برابر افزایش یافت. این مقادیر برای نیکل به ترتیب ۱/۲۷ و ۴/۲۱ برابر به دست آمد. در تمام تیمارها مقدار کادمیوم کمتر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود. تعداد دفعات مصرف نیز بر غلظت سرب و نیکل در خاک اثر معنی‌دار داشت ( $P \leq 0/01$ ) به طوری که تیمارهایی که ۲ سال متوالی کمپوست دریافت کرده بودند بیش از تیمارهایی که تنها یک مرتبه کمپوست به آن‌ها افزوده شده بود سرب و نیکل تجمع کردند، این افزایش در مورد غلظت نیکل و سرب کل به ترتیب ۴/۴ و ۷/۲ درصد بود. نتایج مربوط به تجمع فلزات سنگین در گیاه ذرت نشان داد که ریشه بیش از بخش هوایی فلزات سنگین را جذب کرده است و این تجمع در مورد نیکل بیش از سرب بود ( $P \leq 0/01$ ) به طوری که

\* مسئول مکاتبه: [bostani@shahed.ac.ir](mailto:bostani@shahed.ac.ir)

غلظت سرب و نیکل ریشه در تیمار ۶۰ تن بر هکتار در سال دوم در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱/۹ و ۲/۹ برابر افزایش یافت. فاکتور انتقال برای سرب ۰/۳۰۲ و نیکل ۰/۲۸۴ به دست آمد. تغییرات این فاکتور برای سرب تدریجی ولی برای نیکل کاملاً مشهود بود.

**واژه‌های کلیدی:** کمپوست زباله شهری، فلزات سنگین، فاکتور انتقال

### مقدمه

در اراضی خشک و نیمه‌خشک، معمولاً مقدار ماده آلی خاک بسیار کم است. در ایران مقدار ماده آلی در بیش از ۶۰ درصد اراضی کم‌تر از ۱ درصد می‌باشد (بای‌بوردی و همکاران، ۲۰۰۰). افزودن ماده آلی به خاک‌های این مناطق به سبب تعدیل اثرات pH، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و افزایش فراهمی عناصر، برای اصلاح خاک ضروری به نظر می‌رسد. به این منظور استفاده از ضایعات آلی شهری یکی از راه‌های تأمین ماده آلی خاک است (شریفی و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعات نشان می‌دهد زباله شهری تولید شده به‌طور روزافزون در کل دنیا در حال بازیافت است تا به‌صورت کمپوست در کشاورزی استفاده شود. کمپوست زباله شهری دارای چندین برتری به این شرح است: تأمین برخی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان (تجادا و همکاران، ۲۰۰۱)، کاهش pH (بنگستون و کورنت، ۱۹۷۳)، جلوگیری از فرسایش خاک، افزایش جانداران مفید خاک، کاهش نیاز به کودهای معدنی و حشره‌کش‌ها، بهبود وضعیت فیزیکی و بیولوژیکی خاک، کمک به از بین بردن زباله‌های شهری و به دنبال آن کمک به محیط زیست (پیناموتی و همکاران، ۱۹۹۷). با وجود برتری‌های بالا کمپوست زباله شهری دارای عیب‌هایی نیز می‌باشد که مهم‌ترین آن‌ها، حضور فلزات سنگین در این ترکیب است که می‌تواند باعث افزایش این فلزات در خاک و گیاه شود. گزارش سازمان بهداشت جهانی (۱۹۹۸) نشان می‌دهد که از بین فلزات سنگین آرسنیک، جیوه، کادمیوم و سرب مهم‌تر هستند. دسترسی زیستی این عناصر برای گیاهان وابسته به ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مثل pH، مقدار ماده آلی، پتانسیل ریداکس، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت خاک و مقدار رس است. جذب فلزات توسط گیاه تحت تأثیر ویژگی‌های خود گیاه نیز می‌باشد که موضوع پیچیده‌ای است و به راحتی قابل بررسی نیست (پرابپای و همکاران، ۲۰۰۹). پژوهشگران متعددی افزایش غلظت کل فلزات سنگین در خاک را پس از استفاده از کمپوست زباله شهری گزارش کرده‌اند (وارمن و

همکاران، ۱۹۹۷). اکبرنژاد و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهش خود، افزایش معنی‌دار آهن، روی، مس، سرب و نیکل قابل دسترس در خاک و نداشتن اثر معنی‌دار کمپوست را بر فراهمی منگنز و کادمیوم گزارش کردند. در پژوهشی پس از افزودن کمپوست طی ۳ سال، اگرچه مقدار کمپوست مصرفی در حد متوسط و مقدار فلزات کمپوست زیر حد بحرانی بود ولی باعث افزایش معنی‌دار فلزات سنگین در خاک، در مقایسه با شاهد شد (مادرید و همکاران، ۲۰۰۷). در رابطه با کاربرد چندساله کمپوست، بافت خاک پارامتری است که می‌تواند نتایج متفاوتی را ایجاد کند به طوری که در یک مطالعه مشخص شد بیش‌ترین غلظت روی و کادمیوم کل و نیز غلظت سرب، کادمیوم و روی قابل دسترس در یک خاک لومی شنی و مقدار کم‌تری از غلظت قابل دسترس عناصر نام‌برده در یک خاک رسی با ماده آلی کم مشاهده شد (بالدونتینی و همکاران، ۲۰۱۰). عباسی‌زاده (۲۰۰۷) نشان داد که کاربرد کمپوست زباله شهری باعث افزایش جذب فلزات سنگین در گیاه ذرت شد البته این تجمع در اندام‌های مختلف گیاه یکسان نبود به گونه‌ای که دانه و میوه کم‌تر از ریشه و ساقه، این فلزات را ذخیره کردند. میرلس و همکاران (۲۰۰۴) بیان نمودند که مقدار جذب فلزات سنگین توسط گیاه به مقادیر قابل جذب آن‌ها در خاک بستگی دارد. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که افزودن مقادیر کم کمپوست زباله شهری اصفهان (۲ درصد وزن خاک خشک) باعث افزایش جزئی و کم‌تر از حد بحرانی غلظت سرب در قسمت‌های هوایی گیاه و نداشتن افزایش معنی‌دار نیکل و کبالت شد. در این مطالعه غلظت کادمیوم در تمام تیمارها در بخش‌های هوایی گیاه زیر حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود (رجبی و کلباسی، ۱۹۹۲). کربونل و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند سیستم ریشه ذرت به‌عنوان یک سد برای عبور عناصر سرب، نیکل، کروم و جیوه عمل می‌کند، بنابراین جذب فلزات سنگین و انتقال آن‌ها به قسمت‌های هوایی گیاه کم‌تر خواهد بود. امبارکی و همکاران (۲۰۰۸) با افزودن ۴۰ تن بر هکتار کمپوست به خاک دریافتند که این مقدار کود حداکثر تأثیر را بر رشد گیاه یونجه دارد. آنان بیان نمودند که این مقدار کمپوست، تجمع فلزات سنگینی مثل مس، سرب و روی در بافت‌های گیاهی بیش از مقادیر مجاز را در پی نداشت. اسمیت (۲۰۰۹) عنوان کرد که تأثیر pH بر جذب فلزات سنگین از خاک توسط گیاه و قابلیت زیست فراهمی آن‌ها بسیار مهم است به طوری که در pH های قلیایی انتقال فلزات سنگین از خاک به بافت‌های گیاهی بسیار کم است و کاهش pH تحرک و پویایی این فلزات را در خاک افزایش می‌دهد. در تأیید این یافته گیگلیوتی و همکاران (۱۹۹۶) نیز دریافتند که با افزودن ۹۰ تن بر هکتار کمپوست زباله شهری طی ۶ سال به زمینی آهکی با pH برابر ۸/۳ تحت کشت ذرت، جذب فلزات

سنگین توسط گیاه بسیار کم و در محدوده مجاز برای سلامت انسان قرار داشت. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر سطوح و دفعات مصرف کمپوست زباله شهری تهران (یک یا دو بار کاربرد کمپوست) بر تجمع فلزات سنگین (سرب، نیکل و کادمیوم) در خاک و گیاه ذرت می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی سطوح مختلف کمپوست زباله شهری تهران بر غلظت عناصر روی و مس در خاک و گیاه ذرت، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده (مقادیر کمپوست در کرت‌های اصلی و دفعات مصرف در کرت‌های فرعی) در ۳ تکرار در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ و ۹۱-۱۳۹۰ مدیریت شد. اما با توجه به همگنی شرایط در بلوک‌های آزمایشی و غیرمعنی‌داری خطای کرت‌های اصلی، تجزیه آماری صفات ارزیابی شده به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. عامل اول ۴ سطح تیمار کمپوست شامل شاهد، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار (اکبرنژاد و همکاران، ۲۰۱۰؛ بالدونتینی و همکاران، ۲۰۱۰) و عامل دوم کاربرد یک‌ساله 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 آماده‌سازی و افزودن کمپوست در اردیبهشت و کشت ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل گراس ۷۰۴ در تیرماه صورت گرفت. ابعاد کرت در سال اول ۱۲ و در سال دوم ۶ مترمربع تعیین شد. کشت به صورت دستی و طبق اصول به زراعی و آبیاری به صورت منظم انجام شد. پس از رشد کامل رویشی و زایشی در مهرماه سال ۹۱ از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری خاک هر کرت یک نمونه مرکب برداشته و پس از هوا خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل درصد اشباع، عصاره اشباع، تعیین هدایت الکتریکی و pH در آن به روش رودز (رودز، ۱۹۸۲)، بافت خاک با روش هیدرومتر (بویوکوس، ۱۹۶۲)، کربن آلی به روش والکی و بلاک (نلسون و سومرس، ۱۹۸۲) و کربنات کلسیم معادل به روش کلسیتر فشاری (نلسون، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سرب و نیکل کل و قابل دسترس خاک به ترتیب از روش اسید نیتریک، آب اکسیژنه و اسید کلریدریک (گاپتا، ۲۰۰۰) و روش Diethylene Triamine Pentaacetic Acid- DTPA (لیندسی و نورول، ۱۹۷۶) و برای اندازه‌گیری غلظت این عناصر در گیاه نیز از هر کرت یک نمونه مرکب از بخش هوایی و ریشه برداشته و پس از آماده‌سازی به روش هضم تر (هضم با اسید نیتریک و

## ندا صفاری انارکی و همکاران

پرکلریک) عصاره‌گیری شد (گاپتا، ۲۰۰۰). در نهایت غلظت عناصر با دستگاه جذب اتمی مدل Analytic Jena Contra AA300 قرائت گردید. محاسبه‌های آماری با نرم‌افزار SAS و نمودارها با Excel ترسیم شد.

### 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 بوده و خاک آهکی می‌باشد.

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

بافت	pH	رس	سیلت	شن	SP	OC	CCE*	نیکل	سرب	نیکل	سرب
-	-	-	-	-	درصد	-	-	Total	قابل استخراج با DTPA	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)
لوم	۸/۲۸	۲۴	۴۰	۳۶	۳۱	۱/۲	۱۱/۵	۲۳/۳	۲۷/۳	۰/۴۱	۵/۶۹

\* کربنات کلسیم معادل

جدول ۲ برخی ویژگی‌های کمپوست زباله شهری مورد استفاده را نشان می‌دهد. با توجه به استانداردهای ارایه شده برای کمپوست توسط WHO (سازمان بهداشت جهانی) و EPA (آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا) که حد ماده آلی را در کمپوست بین ۳۰-۱۰ و pH آن را بین ۶-۹ در نظر گرفته‌اند، کمپوست مورد مطالعه با ۲۵ درصد کربن آلی و pH ۷/۶ در محدوده استانداردهای ارایه شده قرار دارد بنابراین با توجه به تقسیم کیفیت کمپوست در ایران، به دو نوع درجه اول و دوم، این کمپوست به دلیل داشتن قابلیت هدایت الکتریکی بالا از نوع درجه دو محسوب می‌گردد (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های کمپوست زباله شهری مورد استفاده.

pH (۱:۲)	EC (۱:۲)	OC	سرب	نیکل	کادمیوم
-	دسی‌زیمنس بر متر	درصد	Total	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
۷/۶	۱۰	۲۵	۱۱۹	۳۹/۷	۲/۵۴

در جدول ۳ برخی ویژگی‌های خاک پس از افزودن سطوح مختلف کمپوست زباله شهری نشان داده شده است. نتایج جدول نشان می‌دهد که افزودن کمپوست pH خاک را طی ۲ سال یک واحد کاهش داد. این کاهش در خاک‌های آهکی بسیار دارای اهمیت است. لیندسی و ویلارد (۱۹۲۶) بیان می‌کنند که با کاهش یک واحد pH قابلیت دسترسی آهن ۱۰۰۰ برابر و منگنز و روی ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد. بیش‌ترین کاهش pH در کرت‌هایی که ۶۰ تن در هکتار و ۲ سال متوالی کمپوست دریافت کرده بودند مشاهده گردید. کاهش pH خاک در اثر افزودن پسماندهای آلی به زمین‌های کشاورزی توسط نیلسون و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش شده است. از دیگر نتایج مثبت افزودن کمپوست بر ویژگی‌های خاک، افزایش کربن آلی است که در تیمار ۶۰ تن در هکتار سال دوم نسبت به شاهد ۵۸/۳ درصد افزایش یافته است به‌نظر می‌رسد صرف‌نظر از فلزات سنگین، مهم‌ترین عامل محدودکننده استفاده از کمپوست زباله شهری، شوری آن می‌باشد. نتایج نشان داد در تمام سطوح و دفعات مصرف، کمپوست زباله شهری سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی خاک شده است به‌گونه‌ای که قابلیت هدایت الکتریکی در مقایسه با شاهد در تیمار ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار سال اول به‌ترتیب ۱۹/۲، ۴۰/۴ و ۵۹/۶ درصد افزایش یافت. این مقادیر برای سال دوم مصرف کمپوست به‌ترتیب ۲۸/۸، ۵۳ و ۷۵/۲ درصد به‌دست آمد.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های تجزیه ویژگی‌های خاک پس از کاربرد سطوح مختلف کمپوست.

SP	OC	CCE*	pH	EC	دفعات تیمار	
					کمپوست	t ha <sup>-1</sup>
	درصد		-	دسی‌زیمنس بر متر		
۳۱ <sup>b</sup>	۱/۲ <sup>f</sup>	۱۱/۵ <sup>a</sup>	۸/۲ <sup>a</sup>	۱۰/۰۶ <sup>f</sup>	۰	
۶/۳۰ <sup>b</sup>	۱/۴ <sup>e</sup>	۱۱/۳ <sup>ab</sup>	۷/۷ <sup>b</sup>	۱۲ <sup>e</sup>	۱۵	یک بار مصرف
۶/۳۱ <sup>b</sup>	۱/۵ <sup>de</sup>	۱۱/۳۴ <sup>ab</sup>	۷/۴۶ <sup>bc</sup>	۱۴/۱۳ <sup>c</sup>	۳۰	
۳۳ <sup>ab</sup>	۱/۶۳ <sup>bc</sup>	۱۱/۲ <sup>bc</sup>	۷/۴۰ <sup>bcd</sup>	۱۶/۰۶ <sup>b</sup>	۶۰	
۳۱ <sup>b</sup>	۱/۲ <sup>f</sup>	۱۱/۵ <sup>a</sup>	۸/۲ <sup>a</sup>	۱۰/۰۶ <sup>f</sup>	۰	
۳۲ <sup>b</sup>	۱/۵۳ <sup>dc</sup>	۱۱/۳ <sup>ab</sup>	۷/۴۶ <sup>bc</sup>	۱۲/۹۶ <sup>d</sup>	۱۵	دو بار مصرف
۳۳ <sup>ab</sup>	۱/۷۰ <sup>b</sup>	۱۱/۱ <sup>c</sup>	۷/۳۳ <sup>dc</sup>	۱۵/۴ <sup>b</sup>	۳۰	
۳۵ <sup>a</sup>	۱/۹۰ <sup>a</sup>	۱۱/۱ <sup>c</sup>	۷/۱۳ <sup>d</sup>	۱۷/۶۳ <sup>a</sup>	۶۰	

\* کربنات کلسیم معادل

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

اثر کمپوست زباله شهری بر غلظت فلزات سنگین در خاک: جدول ۴ نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر غلظت سرب و نیکل کل و قابل استخراج با DTPA را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بین تیمارهای مختلف کمپوست، دفعات مصرف و اثر متقابل آن‌ها، در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد اما اثر تکرار معنی‌دار نشد.

جدول ۴- تجزیه واریانس میانگین مربعات مقادیر سرب و نیکل کل و قابل استخراج با DTPA در سطوح کمپوست زباله شهری در ۲ سال.

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیکل	سرب	نیکل	سرب
		Total	قابل استخراج با DTPA	نیکل	سرب
تکرار	۸	۰/۶۵۸ <sup>ns</sup>	۰/۷۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۸۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۲۸ <sup>ns</sup>
کمپوست زباله شهری	۳	۱۳۰/۴۶**	۴۰۰/۶۹**	۰/۰۴۴**	۴/۰۹**
دفعات مصرف	۱	۲۳/۸۱**	۹۵/۶۵**	۰/۱۳۶**	۵/۹۳**
کمپوست × دفعات	۳	۳/۱۲**	۱۸/۴۷**	۰/۰۱۵**	۰/۸۲**
خطا	۵۶	۰/۵۳۸	۱/۰۲	۰/۰۰۰۷۷	۰/۰۴۶
ضریب تغییرات		۲/۷۴	۳/۰۶	۱۹/۵۷	۴/۴۰

\* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و <sup>ns</sup> غیر معنی‌دار.

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین‌های اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر غلظت سرب و نیکل کل و قابل استخراج با DTPA در جدول ۵ ارایه شده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطح کمپوست زباله شهری غلظت کل و قابل دسترس این عناصر به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد به گونه‌ای که غلظت سرب کل و قابل دسترس در تیمار ۶۰ تن بر هکتار در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱/۳۸ و ۱/۸۹ برابر افزایش یافت. این مقادیر برای نیکل به ترتیب ۱/۲۷ و ۴/۲۱ برابر به دست آمد. این نتایج با یافته‌های آجیبا و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. همچنین نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر دفعات مصرف کمپوست بر غلظت سرب و نیکل کل و قابل استخراج با DTPA نشان داد که غلظت این دو عنصر در تیمارهایی که دو مرتبه کمپوست دریافت کرده بودند به طور معنی‌دار در مقایسه با کرت‌هایی که یک بار کمپوست دریافت کردند بالاتر بود ( $P < 0/01$ ) به طوری که غلظت سرب و نیکل کل و قابل استخراج با DTPA برای تیمارهای دو بار مصرف کمپوست به ترتیب ۷/۲ و ۴/۴ درصد و ۲۳ و ۱۸۴/۸ درصد بیش از یک مرتبه مصرف آن به دست آمد.

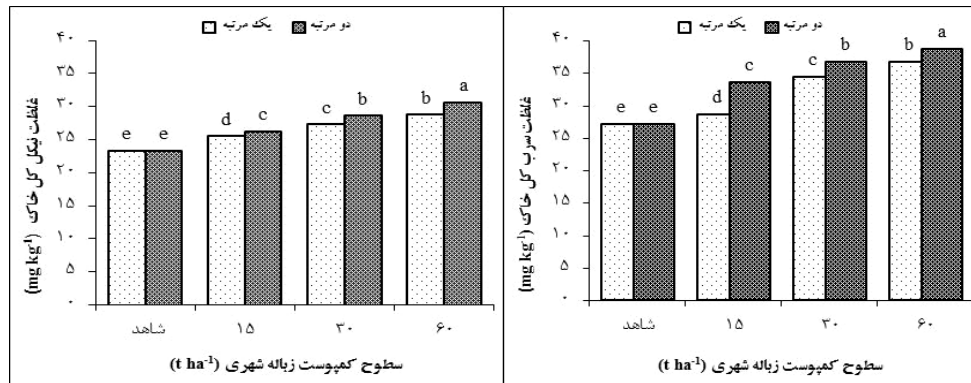
جدول ۵- مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین کل و استخراج شده با DTPA از خاک در سطوح کمپوست زباله شهری.

کمپوست زباله شهری (تن در هکتار)		Total	
سرب	نیکل	سرب	نیکل
قابل استخراج با DTPA	قابل استخراج با DTPA		
۵/۶۹ <sup>d</sup>	۰/۴۱ <sup>d</sup>	۲۷/۳۲ <sup>d</sup>	۲۳/۳۵ <sup>d</sup>
۷/۷۳ <sup>c</sup>	۱/۱۶ <sup>c</sup>	۳۱/۲۳ <sup>c</sup>	۲۶/۰۶ <sup>c</sup>
۸/۵۳ <sup>b</sup>	۱/۵۲ <sup>b</sup>	۳۵/۷۶ <sup>b</sup>	۲۷/۸۲ <sup>b</sup>
۱۰/۷۶ <sup>a</sup>	۱/۷۳ <sup>a</sup>	۳۷/۸۸ <sup>a</sup>	۲۹/۶۸ <sup>a</sup>

\* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و <sup>ns</sup> غیر معنی دار.

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح کمپوست و دفعات مصرف آن بر غلظت سرب و نیکل کل در شکل ۱ آمده است. نتایج نشان داد که در مجموع درصد تجمع سرب کل بیش از نیکل کل در سطوح و دفعات مصرف کمپوست زباله شهری می‌باشد ( $P < 0.01$ ) به عنوان نمونه در سال دوم تیمار ۶۰ تن بر هکتار سرب کل ۳۴/۹ درصد بیش تر از نیکل تجمع یافته است. نتایج پژوهش‌های آیری و همکاران (۲۰۱۰) نیز بالاتر بودن غلظت سرب کل را در مقایسه با نیکل کل در اثر افزودن کمپوست زباله شهری نشان می‌دهد. از طرفی براساس نتایج به دست آمده از جدول ۵ با افزایش کمپوست زباله شهری افزایش نیکل قابل استخراج با DTPA به طور معنی دار بیش از سرب قابل استخراج با DTPA است به عنوان نمونه در تیمار ۶۰ تن بر هکتار نسبت به شاهد نیکل قابل استخراج ۲/۲ برابر سرب قابل استخراج با DTPA در مقایسه با شاهد است به نظر می‌رسد که تحرک بالاتر نیکل در مقایسه با سرب عامل اصلی بروز این پدیده باشد. نتایج مشابهی در مطالعه روغنیان و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان داد که غلظت دو عنصر سرب و نیکل کل در سال دوم تیمار ۳۰ تن بر هکتار با غلظت این دو عنصر در سال اول تیمار ۶۰ تن بر هکتار بسیار به هم نزدیک بود به گونه‌ای که اختلاف معنی داری بین آن‌ها وجود نداشت (شکل ۱). این نتایج بیانگر تحرک حداقلی فلزات سنگین به ویژه در خاک‌های آهکی می‌باشد. بر این اساس به نظر می‌رسد که افزودن کمپوست زباله شهری در دفعات زیاد باعث افزایش تجمعی این فلزات در خاک شده و با گذشت زمان با وجود تجزیه مواد آلی کمپوست، فلزات سنگین در خاک باقی می‌ماند که این می‌تواند در درازمدت آلودگی خاک را در پی داشته باشد. در تمام تیمارها مقدار کادمیوم کل و قابل استخراج با DTPA کم تر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود.





شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثر سطوح کمپوست زباله شهری و تعداد دفعات مصرف بر غلظت نیکل و سرب کل در خاک. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

آچپیا و همکاران (۲۰۰۹) با مطالعه کاربرد پنج‌ساله متوالی کمپوست و کود دامی در یک خاک آهکی مشاهده نمودند که با وجود افزایش معنی‌دار غلظت فلزات سنگین در ۲۰ سانتی‌متری خاک سطحی، افزایش غلظت این عناصر در لایه‌های پایین‌تر معنی‌دار نشد که این مسأله تحرک ناچیز این عناصر را به‌ویژه در خاک‌های آهکی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد بیش‌ترین اختلاف در تجمع نیکل و سرب کل، بین شاهد و تیمار ۶۰ تن سال دوم مشاهده شد که به ترتیب ۳۱/۲ و ۴۲/۱ درصد افزایش را در پی داشت. نتایج پژوهشی نشان داد که در لایه سطحی خاک (۰-۲۵ سانتی‌متری) با کاربرد ۱۲۰ تن کمپوست در هر هکتار، کادمیوم ۱۴۰، سرب ۸۲ و نیکل ۲۹ درصد افزایش یافت (آچپیا و همکاران، ۲۰۰۹). پرز و همکاران (۲۰۰۷) نیز به این نتیجه رسیدند که بعد از اولین مرتبه افزودن کمپوست زباله شهری به خاک، افزایش قابل‌توجهی در مقادیر سرب، مس و کروم مشاهده شد. البته تغییرات فلزات سنگین به دنبال افزودن کمپوست بستگی به مقدار کمپوست اضافه شده و ویژگی‌های آن داشت. زانگ و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند که کاربرد کمپوست زباله شهری در یک خاک لوم اسیدی در یک مطالعه مزرعه‌ای تأثیری بر مقادیر آرسنیک، کادمیوم، کروم، نیکل و جیوه نداشت ولی کاربرد مکرر کمپوست مقدار کل فلزات سنگین را در لایه سطحی خاک افزایش داد.

تأثیر کمپوست زباله شهری بر تجمع فلزات سنگین در گیاه: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر غلظت سرب و نیکل در ریشه و بخش هوایی ذرت در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بین تیمارهای مختلف کمپوست، دفعات مصرف و اثر متقابل آن‌ها، در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد اما اثر تکرار معنی‌دار نشد.

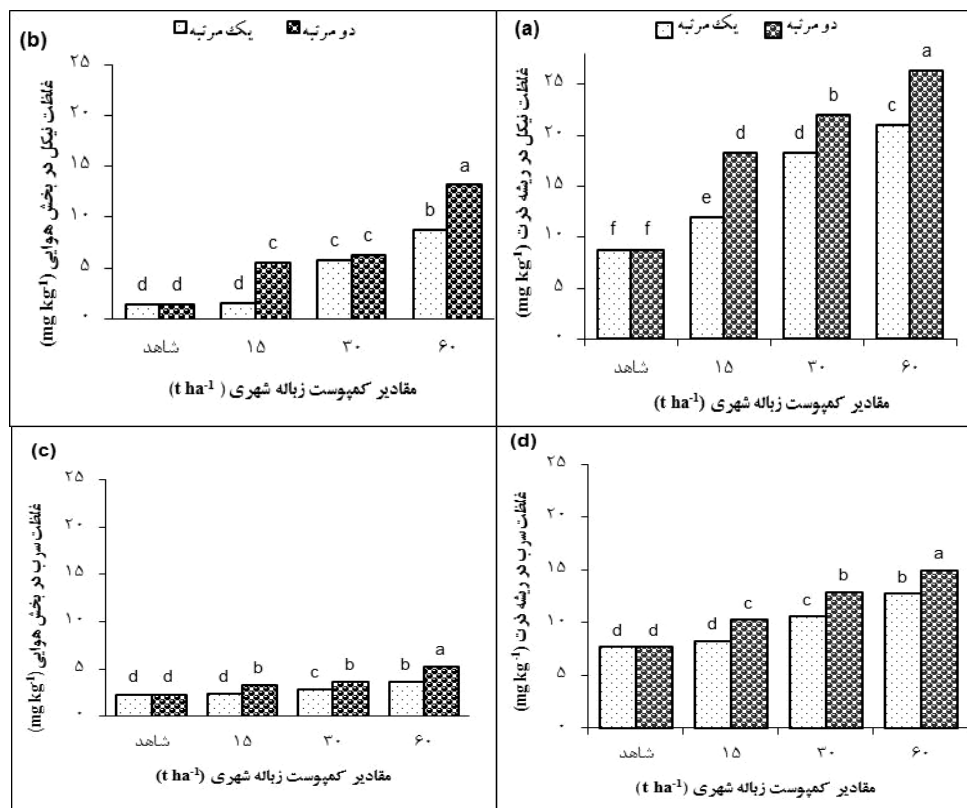
جدول ۶- تجزیه واریانس میانگین مربعات غلظت سرب و نیکل در ریشه و بخش هوایی گیاه ذرت.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ریشه		بخش هوایی	
		سرب	نیکل	سرب	نیکل
تکرار	۸	۰/۹۸۶ <sup>ns</sup>	۰/۲۷۱ <sup>ns</sup>	۲/۲۲۲ <sup>ns</sup>	۰/۱۴۲ <sup>ns</sup>
کمپوست زباله شهری	۳	۱۳۲/۱۸ <sup>**</sup>	۷۵۴/۲۹ <sup>**</sup>	۳۰۳/۸۲ <sup>**</sup>	۱۴/۳۴ <sup>**</sup>
دفعات مصرف	۱	۴۷/۴۶ <sup>**</sup>	۲۶۹/۰۸ <sup>**</sup>	۸۷/۴۹ <sup>**</sup>	۱۲/۱۹ <sup>**</sup>
کمپوست × دفعات	۳	۵/۳۵ <sup>**</sup>	۳۵/۰۹ <sup>**</sup>	۲۳/۵۴ <sup>**</sup>	۱/۹۶ <sup>**</sup>
خطا	۵۶	۰/۵۵	۱/۲۶	۰/۸۰	۰/۱۶
ضریب تغییرات		۷/۰۰۷	۶/۶۲	۱۶/۳۵	۱۲/۴۵

\* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و <sup>ns</sup> غیرمعنی‌دار.

شکل ۲ نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین‌های اثر سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات مصرف آن بر غلظت سرب و نیکل در ریشه و بخش هوایی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که برای هر دو عنصر در ریشه و اندام هوایی میزان جذب در سال دوم بیش از سال اول است. این مسأله با بیش‌تر بودن غلظت سرب و نیکل کل خاک در سال دوم نسبت به سال اول تطابق دارد (شکل ۱). تجمع سرب و نیکل در ریشه ذرت در تیمار ۶۰ تن بر هکتار کمپوست زباله شهری در سال اول در مقایسه با شاهد به ترتیب افزایشی ۱/۶ و ۱/۹ برابری نشان داد، این افزایش برای تیمار نام‌برده در سال دوم به ترتیب ۲/۳ و ۲/۹ برابر به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که تجمع فلزات در ریشه بیش از بخش هوایی بود ( $P < 0/01$ ). تجمع سرب و نیکل در بخش هوایی ذرت در تیمار ۶۰ تن بر هکتار کمپوست زباله شهری در سال دوم در مقایسه با شاهد به ترتیب افزایش ۲/۲ و ۹/۲ برابری داشت. از طرفی نتایج نشان داد که جذب نیکل توسط گیاه بیش‌تر از سرب است این در حالی است که غلظت کل و قابل استخراج سرب با DTPA بیش از نیکل می‌باشد (جدول ۵). به نظر می‌رسد تحرک بیش‌تر

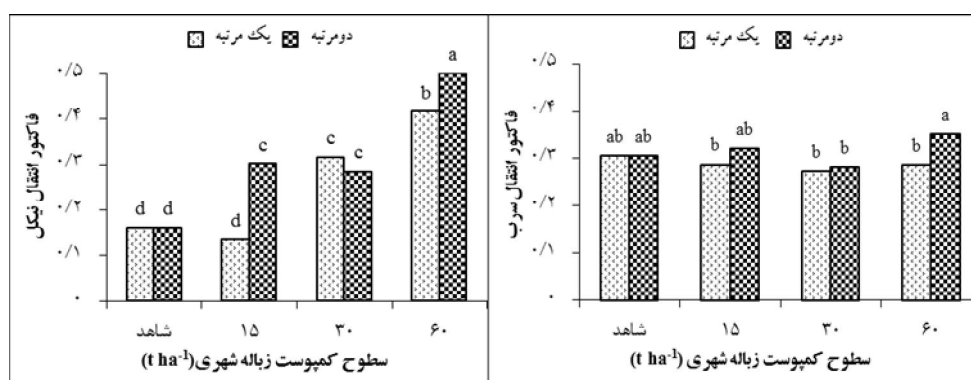
نیکل در مقایسه با سرب (کاشم و همکاران، ۲۰۱۱) به دلیل ویژگی‌های متفاوت شیمیایی این عناصر مانند جرم اتمی (۵۸/۷ برای نیکل و ۲۰۷/۲ برای سرب)، الکترونگاتیویته (۱/۸ برای نیکل و ۲/۳۳ برای سرب) و چگالی (۸/۹ گرم بر سانتی مترمکعب برای نیکل و ۱۱/۳۵ گرم بر سانتی مترمکعب برای سرب) منجر به تفاوت در جذب این عناصر توسط ریشه شده باشد. در تمام تیمارهای گیاه مقدار کادمیوم زیر حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود.



شکل ۲- اثر سطوح کمپوست زباله شهری و زمان بر فراهمی نیکل در ریشه و بخش هوایی (a,b) سرب در ریشه و بخش هوایی (c,d).

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

شکل ۳ نتایج مربوط به فاکتور انتقال عناصر سرب و نیکل از ریشه به بخش هوایی را نشان می‌دهد. فاکتور انتقال به صورت غلظت عنصر در ساقه نسبت به ریشه تعریف می‌شود (کربونل و همکاران، ۲۰۱۱) همان‌گونه که مشخص است برای هر دو عنصر فاکتور انتقال کم‌تر از یک می‌باشد که این خود نشان‌دهنده تجمع بیش‌تر فلزات سنگین در ریشه نسبت به ساقه است. پراپیی و همکاران (۲۰۰۹) با افزودن نسبت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد کمپوست زباله شهری به خاک و کشت ذرت در خاک تیمار شده، در مورد تجمع فلزات سنگین در دانه ذرت عنوان کردند که به‌جز کادمیوم، نیکل و روی بقیه فلزات سنگین (سرب، آرسنیک، کروم، منگنز، مس و سلنیوم) موجود در دانه، تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان ندادند. همچنین نتایج نشان داد که در مجموع فاکتور انتقال برای سرب (۰/۳۰۲) اندکی بیش از نیکل (۰/۲۸۴) بود. این نتایج با یافته‌های کربونل و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد از طرفی نتایج نشان می‌دهد که تغییرات فاکتور انتقال برای عنصر سرب در سطوح کمپوست و دفعات مصرف آن بسیار کم‌تر از نیکل است به طوری که بر خلاف روند به‌نسبت ثابت سرب، با افزایش سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات مصرف آن، انتقال نیکل از ریشه به بخش هوایی نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۳- فاکتور انتقال نیکل و سرب از ریشه به بخش هوایی ذرت.

مطالعات نشان می‌دهد که میزان تحرک و پویایی عناصر بسته به نوع گیاه، مقدار ماده آلی، pH خاک، غلظت فلز در خاک و مرحله رشد گیاه تغییر می‌کند. جذب و انتقال عناصر در گیاهان مختلف یکسان نیست. معمولاً یک گونه گیاهی با توجه به فیزیولوژی خاص خود ممکن است نسبت به انتقال یک فلز مشخص، اختصاصی‌تر عمل کند در نتیجه مقدار جذب و انتقال آن فلز را افزایش دهد.

مطالعات زیادی نشان داد که نوع گیاه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر انتقال فلزات در سیستم‌های خاک و گیاه می‌باشد (شریفی و همکاران، ۲۰۰۹).

### نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات مصرف بر تجمع فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم در خاک و گیاه ذرت صورت پذیرفت. نتایج نشان داد در مجموع کمپوست زباله شهری سبب کاهش pH خاک و افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک شد ( $P < 0/01$ ). غلظت سرب و نیکل 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 سرب کل به ترتیب ۱۴/۲۹، ۳۰/۸۵، ۳۸/۶۰ و نیکل کل به ترتیب ۱۰/۸۶، ۱۹/۷۲، ۲۷/۱۱، سرب قابل استخراج با DTPA به ترتیب ۲۹/۵۳، ۴۹/۹۱، ۸۹/۱۰ و نیکل قابل استخراج با DTPA به ترتیب ۱۸۲/۹۳، ۲۷۰/۷۳ و ۳۲۱/۹۵ درصد به دست آمد. اثر عامل دفعات مصرف نیز بر افزایش تجمع سرب و نیکل در خاک معنی‌دار بود ( $P < 0/01$ ). در مورد تجمع فلزات نام‌برده در گیاه ذرت، نتایج نشان داد که ریشه بیش از بخش هوایی فلزات سنگین را تجمع می‌کند و این تجمع (بر خلاف غلظت کل و قابل استخراج با DTPA در خاک) در مورد نیکل بیش از سرب بود ( $P < 0/01$ ). بیش‌ترین جذب سرب و نیکل در تیمار ۶۰ تن بر هکتار سال دوم مشاهده شد که در ریشه و بخش هوایی در مقایسه با تیمار شاهد غلظت سرب به میزان ۹۴/۳۳ و ۱۲۳/۰۶ درصد و غلظت نیکل به میزان ۱۹۹/۰۴ و ۸۲۸/۷۳ درصد افزایش یافت. در تیمارهای خاک و گیاه مقدار کادمیوم کم‌تر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی بود. فاکتور انتقال برای سرب ۰/۳۰۲ و نیکل ۰/۲۸۴ به دست آمد. تغییرات این فاکتور برای سرب تدریجی ولی برای نیکل کاملاً مشهود بود.

### منابع

1. Abasizadeh, A. 2007. Effects of sewage sludge compost on nutrient requirements of the crop, maize yield and soil pollution by heavy metals. M.Sc. Thesis. Department of Soil Science. Isfahan University of Technology. (In Persian)
2. Achiba, V.B., Gabteni, N., Lakhdar, A., Du Laing, G., 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. J. Agri. Eco. Environ. 130: 156-163.

3. Akbarnejad, F., Astaraiie, A.R., Fotovat, A., and Nasiri Mahalati, M. 2010. Effect municipal solid compost and sewage sludge on yield and concentration of Pb, Ni and Cd in soil and medicinal plant *Nigella Sativa*. *J. Agroecol.* 2: 600-608. (In Persian)
4. Ayari, F., Hamd, H., Jedidi, N., Gharbi, N., and Kossai, R. 2010. Heavy metal distribution in soil and plant in municipal solid waste compost amended plots. *Int. J. Environ. Sci. Tec.* 7: 465-472.
5. 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.
6. Baybordi, M., Malakoti, M.G., Amir Makri, H., and Nafisi, M. 2000. Production and optimal use fertilizer purposes permanent agriculture. Iran University Press, Karaj. (In Persian)
7. Bengtson, G.W., and Cornette, J.J. 1973. Disposal of composted municipal waste in a plantation of young slash pine: effects on soil and tree. *J. Environ.* 2: 441-444.
8. Bowyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *J. Agron.* 56: 464-465.
9. Carbonell, G., Miralles de Imperial, R., Torrijos, M., Delgado, M., and Rodriguez, J. 2011. Effects 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.
10. 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. 102p. (In Persian)
11. Gigliotti, G., Businelli, D., and Giusquiani, P. 1996. Trace metals uptake and distribution in corn plants grown on a 6-year urbanwaste compost amended soil. *J. Agric. Ecosyst. Environ.* 58: 199-206.
12. Gupta, P.K. 2000. *Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis*. New Delhi, India.
13. Kashem, A., Singh, R., Huq, S.M., and Kawai, A. 2011. Fractionation and mobility of cadmium, lead and zinc in some contaminated and non-contaminated soils of japan. *Soil Sci. Environ. Manage.* 3: 241-249.
14. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *J. Soil Sci. Soc. Am.* 42: 421-428.
15. Lindsay, W. 1926. *Chemical equilibria in soils.*, New York, 423p.
16. Madrid, F., Lopez, R., and Cabrera, F. 2007. Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions. *J. Agric. Ecosyst. Environ.* 199: 249-256.

17. Mbarkı, S., Mahmoud, H., Jedid, N., Abdelly, C., and Labid, N. 2008. Contrasting effects of municipal compost on alfalfa growth in clay and sandy soils, N, P, K content and heavy metal toxicity. *J. Biores. Technol.* 99: 6745-6750.
18. Mireles, A., Andrade, S.C., Lagunas-Solar, M., and Pina, C. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico City. Sixteenth International Conference on Ion Beam Analysis. Pp: 187-190.
19. Nelson, R.E. 1982. Carbonat and gypsum, Methods of soil analysis, part 2. In Carbonat and gypsum. ASA, SSSA, Madison, WI. Pp: 181-196.
20. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, P 539-579. In: Page, A.L. et al. (Ed.), Methods of soil analysis, part 2, 2<sup>nd</sup> ed. ASA, SSSA, Madison, WI.
21. Nielson, G., Hogue, E.J., Nielson, D., and Zearth, B.J. 1998. Evaluation of organic wastes as soil amendmets for cultivation of carrot and chard on irrigated sandy soils. *J. Soil Sci.* 78: 217-225.
22. Perez, D., Alcantra, S., Ribeiro, C., Ereira, R., Fontes, G., Wasserman, M., Venezuela, T., Meneguelli, N., and Parradas, C. 2007. Composted municipal waste effects on chemical properties of Brazilian soil. *Biores. Technol.* 98: 525-533.
23. Pinamonti, F., Stringari, G., Gasperi, F., and Zorzi, G. 1997. The use of compost: its effects on heavy metal levels in soil and plants. *Resources, Conservation and Recycling.* 21: 129-143.
24. Prabpai, S., Charentanyarak, L., Siri, B., Moore, M.R., and Noller, N. 2009. Effects of residues from municipal solid waste landfill on corn yield and heavy metal content. *J. Waste Manage.* 29: 2316-2320.
25. Rajabi, G., and Kalbasi, M. 1992. Effects of compost on soil salinity and pollution levels of heavy metals from soil and uptake heavy metals by corn plants. M.Sc. Thesis. Department of Soil Science. Isfahan University of Technology. (In Persian)
26. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts, P 167-179. In: Page, A.L. (Ed.), Method of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological Properties. Agronomy monograph no. 9. 2nd ed. SSSA and ASA, Madison, WI.
27. Roghanian, S., Mirsyed Hosseini, H., Savaghebi, G.H., Halajian, L., Jamei, M., and Etesam, H. 2012. Effects of composted municipal waste and its leachate on some soil chemical properties and corn plant responses. *J. Agric: Res. Rev.* 2: 801-814.
28. Sharifi, M., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2009. Effect of sewage sludge, municipal solid compost and manure on growth and yield of Fe, Mn, Zn and Ni in Marigold. *J. Sci. Technol. Greenhouse Cul.* 2: 43-53.
29. Smith, R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *J. Environ.* 35: 142-156.

30. Tejada, M., Dobao, M.M., Benitez, C., and Gonzalez, J.L. 2001. Study of composting of cotton residues. *Biores. Technol.* 79: 199-202.
31. Warman, P.R., Murphy, C., Burnham, J., and Eaton, L. 2004. Soil and plant response to MSW compost applications on lowbush blueberry fields in 2000 and 2001. *Small Fruits Rev.* 3: 19-31.
32. Weggler-Beaton, K., McLaughlin, M.J., and Graham, R.D. 2000. Salinity increases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with biosolids. *Aust. J. Soil Res.* 38: 37-45.
33. WHO. 1989. Evaluation of certain food additives and contaminants. Thirty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive. World Health Organisation Technical Report Series 776.
34. Zhang, H., He, P., and Shao, L.M. 2008. Implication of heavy metals distribution for a municipal solid waste management system-a case study in Shanghai. *Sci. of the total environ.* 402: 257-267.





## **Effect of amounts and times of replication of municipal solid waste compost on concentration of Pb, Ni and Cd in soil and maize plant (*Zea mays* L.)**

**N. Safari Anaraki<sup>1</sup>, \*A.A. Bostani<sup>2</sup> and H. omidi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Shahed University, Tehran,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahed University, Tehran,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Shahed University, Tehran

Received: 09/08/2013; Accepted: 03/12/2014

### **Abstract**

In this study effects of amounts and times of replication of municipal solid waste compost (MSWC) on the concentration of heavy metals Pb, Ni and Cd, in soil and maize plant (*Zea mays* L.) were evaluated. For this purpose an experiment was performed in a factorial randomized complete block design (RCBD) with two factors, different amounts of municipal solid waste compost (0, 15, 30 and 60 t ha<sup>-1</sup>) and number of replication times (one or two years) with three replications in Shahed university research farm. The results showed that MSWC significantly increased total and DTPA extractable lead and nickel in soil in all treatments ( $P \leq 0.01$ ) so that the concentrations of total and DTPA extractable lead in the treatment of 60 t ha<sup>-1</sup> compared to control 1.38 and 1.89 times was increased. These concentrations for nickel was 1.27 and 4.21 times, respectively. In all treatments amount of cadmium was less than those determined by atomic absorption. The number of application time of MSWC had significant effect on concentration of lead and nickel in soil ( $P \leq 0.01$ ) so that treatments that received MSWC two consecutive years, accumulated more than those of one time. This increasing for total Ni and Pb was obtained 4.4 and 7.2 percentage respectively. The results from accumulation of heavy metals in maize indicated that root could uptake these metals more than shoots. This accumulation for nickel was more than lead ( $P \leq 0.01$ ) So that concentration of lead and nickel in root in 60 t ha<sup>-1</sup> second year treatment, compared to control, increased 1.9 and 2.9 times respectively. Transfer factor was 0.302 for Pb and 0.284 for Ni and this factor had a gradual variation for lead, but it was quite evident to nickel.

**Keywords:** Municipal solid waste compost (MSWC), Heavy metals, Transfer factor

---

\* Corresponding Authors; Email: [bostani@shahed.ac.ir](mailto:bostani@shahed.ac.ir)

