اثر کمپوست زباله شهری، کود مرغی و گاوی بر دسترسی عناصر سنگین در سه بافت خاک مختلف

عیسی ابراهیمی[1*]، قاسم رحیمی[2]، صلاح الدین مرادی[3]، محسن یاری[4]، لیلا جهانبان[3]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۷)

چکیده

مواد آلی یکی از مهم‌ترین عوامل در باروری خاک هستند. منابع مختلفی در تأمین مواد آلی خاک نقش دارند. از جمله می‌توان به کمپوست زباله شهری، کودهای مرغی و گاوی اشاره کرد. این کودها در بسیاری از موارد حاوی مواد سمّی و عناصر سنگینی بوده که برای سلامت انسان و حیوانات بسیار مضر می‌باشند. خطر و سمیّت عناصر سنگین در خاک به شکل و مقدار آن‌ها بستگی دارد. این پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در استان همدان اجرا شد. در این پژوهش ابتدا اثر کود آلی کمپوست زباله شهری در سه بافت مختلف رسی، لومی و لوم شنی بر قابلیت استفاده از عناصر سنگین بررسی شد. سپس تأثیر دو کود آلی گاوی و مرغی نیز در یک بافت لوم شنی مطالعه شد. تیمارهای اعمال شده صفر، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ تن در هکتار کودهای آلی بودند. غلظت قابل استفاده و کل عناصر روی، مس، نیکل، کادمیم، سرب و منگنز در هر تیمار اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که با افزایش مقدار کودهای آلی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و مقدار کل و قابل استفاده عناصر سنگین نیز افزایش یافتند. میزان قابل استفاده عناصر سنگین نسبت به میزان کل عناصر در سطح بسیار پایین‌تری قرار داشت. به‌طور کلی افزایش عناصر سنگین ناشی از کودهای آلی در خاک رسی بیش‌تر از دو بافت دیگر بود که دلیل آن ظرفیت بالای بافت رسی برای جذب عناصر سنگین بود. در بین سه کود آلی مورد استفاده، کمپوست زباله شهری بیش‌ترین تأثیر در افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک را داشته و بعد از آن کود مرغی تأثیر بالائی در افزایش غلظت عناصر سنگین به خاک را دارا بود.

واژه های کلیدی: آلودگی خاک، روی، منگنز، مواد آلی، نیکل

۱-باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران (مکاتبه کننده)
۲-استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۳-گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران
۴-کارشناسی‌ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
*پست الکترونیک مکاتبه کننده: Ebrahimi.soilphysic@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

مواد آلی به‌عنوان یکی از ارکان‌های مهم باروری خاک محسوب می‌شوند. عمده‌ترین منابع تأمین کننده مواد آلی، فضولات دامی، بقایای گیاهی، لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری[1] (MSWC) بوده که امروزه با توجه به اهمیّت کشاورزی ارگانیک و کاهش مشکلات زیست محیطی در کشاورزی پایدار، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Sihag & Singh, 1997). در سال‌های اخیر استفاده از کودهای شیمیایی منجر به آلودگی هوا، آب و خاک شده که باقیمانده این مواد شیمیایی در مواد غذایی اثرات زیان‌باری بر سلامت انسان‌ها و حیوان‌ها دارد. لذا با توجّه به اثرات مضر کودهای شیمیایی و آفات‌کش‌ها، پژوهشگران به سمت استفاده از کودهای آلی سوق داده شده‌اند (Joshi *et al.*, 2015). هم‌چنین مطالعات نشان داده است که مصرف بیش از حد و نامتعادل کودهای شیمیایی در بلند مدت، باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی، فعالیت‌های زیستی و ویژگی‌های فیزیکی خاک، تجمع نیترات و عناصر سنگین و در نهایت پیامدهای زیست محیطی و افزایش هزینه‌های تولید شده است. در سال‌های اخیر به دلیل توجه هر چه بیش‌تر به تولید محصولات سالم، استفاده از کودهای زیستی و مواد آلی به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش کیفیت محصولات و نیز حفظ پایداری و حاصلخیزی خاک بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است (Aqhvany *et al.*, 2016).

به طور کلی کودهای آلی ضمن بهبود ویژگی‌های خاک، کاهش فرسایش خاک، بالا بردن استقرار و ماندگاری گیاه، به شکل آلی درآوردن فلزات سنگین و هم‌چنین بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک را نیز موجب می‌شوند (Alexander, 1999; Stratton *et al.*, 2000). کمپوست با تأمین مواد آلی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، و زیستی خاک‌های فقیر می‌شود. علاوه بر این، کمپوست کردن مواد، جایگزین خوبی برای دفع و سوزاندن زباله‌ها بوده که به موجب آن انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید (CO_2) و آلاینده‌های جوی کاهش پیدا می‌کند (Almendro-Candel *et al.*, 2014). کاربرد کمپوست بر عوامل اقتصادی و محیطی هم‌چون کاهش هزینه انتقال و دفن آن، حمایت از قوانین محیط زیست، کاهش استفاده از کودهای معدنی و بهبود ویژگی‌های خاک‌های زراعی مؤثر است (Hargreaves *et al.*, 2008). هم‌چنین کمپوست غنی شده یا کودهای شیمیایی در مزرعه قابلیت دسترسی عناصر پر مصرف را توسط محصولات افزایش داده و موجب بالا بردن حاصلخیزی و بارآوری خاک می‌شود (Ramadass & Palaniyandi, 2007). در کنار ویژگی‌های مثبت کمپوست، این ترکیبات می‌توانند حاوی عناصر سمی نیز باشند. بنابراین تمام کودهای تولید شده به‌عنوان کمپوست مفید نبوده و لذا باید در خصوص استاندارد آن‌ها دقت کافی صورت گیرد (Robin *et al.*, 2001). دل کاستیلو (Del Castilho & Salomons, 1993) چنین گزارش کردند که حلّالیت روی و کادمیم در یک خاک لومی تیمار شده با کود دامی تا حدود ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد. آن‌ها دلیل این افزایش را کاهش اسیدیته خاک در اثر فرآیند نیترات‌سازی، افزایش قدرت یونی و محلول بیان کردند. عوامل افزایش دهنده حلّالیت عناصر سنگین در خاک تیمار شده با مواد آلی، امکان افزایش جذب به وسیله گیاه و آبشویی آن‌ها در خاک را فراهم می‌کند. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر سه نوع کود آلی شامل کمپوست زباله شهری، کود مرغی[2] (PM) و کود گاوی[3] (CM) بر مقدار کل و قابل استفاده عناصر سنگین در سه بافت خاک مختلف است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان همدان و در گلخانه پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. برای انجام این آزمایش از سه نوع بافت خاک لومی، لوم شنی و خاک رسی استفاده شد. هم‌چنین از سه نوع ماده آلی شامل کمپوست زباله شهری، کود مرغی و کود گاوی استفاده شد. این پژوهش بر پایه‌ی طرح کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. به این صورت که ابتدا کود کمپوست زباله شهری به سه بافت مختلف (لومی، لوم شنی و رسی) به صورت جداگانه و سپس به بافت لوم شنی نیز سه کود آلی مورد بررسی (کمپوست زباله شهری، کود مرغی و کود گاوی) تاضافه شد (کودهای گاوی و مرغی فقط در بافت لوم شنی استفاده شدند). بدین منظور، گلدان‌هایی با ظرفیت ۱۰ کیلوگرم و ارتفاع ۳۰

1-Municipal solid waste compost (MSWC)

2-Poultry (Chicken) manure (PM)

3-Cow manure (CM)

Archive of SID

www.SID.ir

سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. برای تثبیت کودهای آلی در خاک، به مدت یک ماه گلدان‌ها در گلخانه و حد رطوبتی ظرفیت زراعی نگهداری شدند. تیمارهای کمپوست زباله شهری، کود مرغی و کود گاوی صفر، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ تن در هکتار مورد بررسی قرار گرفتند. اسیدیته خاک (pH) در عصاره ۱:۵ به روش توماس (Thomas *et al.*, 1996)، رسانایی الکتریکی خاک (EC) در عصاره ۱:۵ با به روش رودس (Rhoades *et al.*, 1996)، مواد آلی خاک به روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934) و ضرب در عامل ون-بملن (۱/۷۲۴)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) به روش باور (Rowell, 1994)، بافت خاک به روش گی و اور (Gee & Or, 2002) و هم‌چنین کاتیون‌های محلول شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم توسط دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شدند (Page & Miller, 1982). برای سنجش مقدار فسفر از روش اولسن استفاده شد (Olsen & Wanatabe, 1957). تعیین غلظت قابل استفاده عناصر سنگین در خاک با استفاده از عصاره‌گیر DTPA انجام شد (Lindsay & Norvell, 1978). غلظت کل عناصر سنگین با استفاده از اسید نیتریک (HNO_3) چهار نرمال عصاره‌گیری شد (Spositoet *al.*, 1982). غلظت عناصر سنگین توسط دستگاه جذب اتمی مدل واریان ۲۲۰ اندازه‌گیری شد. برای انجام محاسبات آماری از نرم افزار SAS 9 استفاده شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد و ترسیم نمودارها نیز توسط نرم افزار Excel 2013 انجام شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک‌های اولیه در جدول ۱ نشان داده شده است. میزان کل عناصر سنگین روی، مس، سرب و منگنز در خاک با بافت رسی و میزان نیکل در خاک لوم بیش‌ترین مقدار را دارا بودند. در جدول ۲، ویژگی‌های سه نوع کود آلی کمپوست زباله شهری، کود مرغی و کود گاوی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که میزان کادمیم در هر سه نوع کود آلی صفر بوده است (در حد تشخیص دستگاه نبوده است). بنابراین در ادامه پژوهش از اندازه‌گیری و تفسیر آن صرف نظر شده است. در جدول ۳، تجزیه واریانس مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمارهای بافت خاک (لومی، رسی و لوم شنی) و سطوح کودی کمپوست زباله شهری نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود اثر بافت و سطح کودی بر هر دو ویژگی‌های خاک معنی‌دار است، اما اثر متقابل تیمارها بر هر دو ویژگی مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی اثر معنی‌داری نداشته است.

جدول Error! No text of specified style in document.-۱ ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1. Physical and chemical characteristics of the studied soils

Variation	Loamy	Clay	Sandy loam	Variation	Loamy	Clay	Sandy loam
Clay (%)	48	29	28	Ni_{Total}	12	43	6
Silt (%)	1.68	1.51	1.40	Cd_{Total}	37	19	30
Sand (%)	15	22	15	Pb_{Total}	51	38	64
OC (%)	308	421	250	Mn_{Total}	1.15	1.11	0.94
pH	1.33	1.02	2.36	$Zn_{available}$	7.8	6.98	7.33
EC (ds/m)	1.89	2.80	1.98	$Cu_{available}$	0.29	0.25	0.19
$P_{available}$	0.62	0.77	0.59	$Ni_{available}$	6.02	6.52	5.31
$K_{exchangeable}$	0.00	0.00	0.00	$Cd_{available}$	156	178	150
Zn_{Total}	2.21	2.17	1.16	$Pb_{available}$	51	91	30
Cu_{Total}	18.50	19.1	8.73	$Mn_{available}$	45	46	35

The concentration of elements is in mg kg^{-1} غلظت عناصر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کمپوست زباله شهری، کود گاوی و کود مرغی

Table 2. Chemical characteristics of municipal waste compost, cow and poultry manure

variation	PM	CM	MWC	variation	PM	CM	MWC
pH	720.64	225.75	862.36	Mg	7.30	8.27	6.90
EC (ds m^{-1})	113.87	100.54	319.87	Zn_{total}	5.15	3.68	6.10
OC (%)	45.89	33.85	145	Cu_{total}	50.95	32.95	47.50
C/N	24.89	25.26	35.87	Ni_{total}	21.35	17.33	19.70
P_{total}	0.00	0.00	0.00	Cd_{total}	59.62	50.28	47.84
K	1.43	1.41	30.89	Pb_{total}	698.35	950.35	703.45
Na	100.15	78.80	180.50	Mn_{total}	95.32	35.65	53.63
Ca	220.37	658.33	1002.58	-	-	-	-

The concentration of elements is in mg kg^{-1} — غلظت عناصر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است

MWC: Municipal Waste Compost; PM: Poultry Manure; CM: Cow Manure — کود گاوی:CM، کود مرغی؛ PM کمپوست زباله شهری

جدول.Error! No text of specified style in document ۳- تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در تیمار بافت‌های خاک و سطوح کودی کمپوست زباله شهری

Table 3. Analysis of variance of some soil chemical properties at soil textures and municipal waste compost fertilizer levels treatment

Source of variation	Cation exchangeable capacity	Organic matter	df
Texture	9.64^{*}	0.059^{**}	2
Levels of fertilizer	9.85^{**}	0.14^{**}	4
Levels of fertilizer * Texture	1.87^{ns}	0.01^{ns}	8
Error	1.85	0.008	30

*معنی‌دار در سطح پنج درصد،**معنی‌دار در سطح یک درصد، nsعدم معنی‌داری

*Significant at 5%, **significant at 1%, nsnot significant

در جدول ۴، تجزیه واریانس ویژگی‌های مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی تحت اثر تیمارهای نوع کود (کمپوست زباله شهری، کود مرغی و کود گاوی) و سطوح مختلف کود (پنج سطح) نمایش داده شده است. اثر نوع کود بر ظرفیت تبادل کاتیونی معنی‌دار بوده اما روی مواد آلی اثر معنی‌داری نداشت. از طرفی، سطوح کودی بر هر دو ویژگی تأثیر معنی‌داری داشت. در مورد اثر متقابل نیز،روی ظرفیت تبادل کاتیونی اثر معنی‌داری داشته و در حای‌که تأثیر معنی‌داری روی مواد آلی وجود نداشت.

جدول ۴- تجزیه واریانس مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی با بافت لوم شنی در تیمار نوع کودهای آلی و سطوح کود

Table 4. Analysis variance of OM and CEC in sandy loam texture at organic fertilizer type and fertilizer levels treatment

Source of variation	Cation exchangeable capacity	Organic matter	df
Fertilizer type	1.41^{**}	0.006^{ns}	2
Levels of fertilizer	6.09^{**}	0.190^{**}	4
Levels of fertilizer * Fertilizer type	0.29^{**}	0.019^{ns}	8
Error	0.017	0.014	30

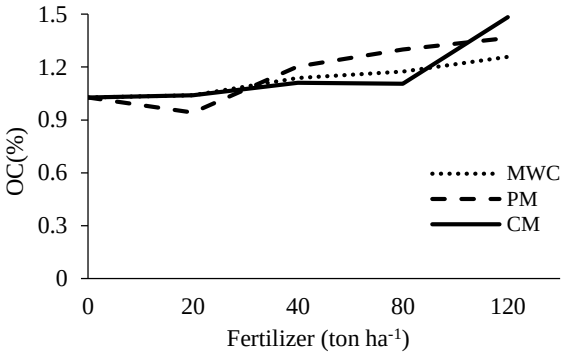
*معنی‌دار در سطح پنج درصد،**معنی‌دار در سطح یک درصد، nsعدم معنی‌داری

*Significant at 5%, **significant at 1%, nsnot significant

در شکل ۱، رابطه بین سه نوع کود آلی مصرف شده در افزایش کربن آلی خاک نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است، افزایش میزان کود باعث افزایش میزان کربن آلی در خاک شدهکه این افزایش در کود گاوی بیش‌تر بود. البته در تیمار ۸۰ تن در هکتار، کود گاوی کم‌تر از دو کود دیگر بود. به دلیل بالا بودن میزان مواد آلی در کمپوست زباله شهری، کود گاوی و کود مرغی، افزودن آن‌ها به خاک سبب افزایش مواد آلی شد. این امر غالباً در خاک‌های با دریافت بیش‌ترین میزان مواد آلی دیده شد (تیمار ۱۲۰ تن در هکتار) و در خاک‌های با میزان کم استفاده از این کودهای آلی،تفاوت قابل ملاحظه‌ای نسبت به خاک شاهد ایجاد نشد. افزایش میزان مواد آلی با افزایش کودهای آلی در خاک در بسیاری از پژوهش‌ها مشاهده شده است (Zhou *et al.*, 2005; Mbarki *et al.*, 2008).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- رابطه سطوح مصرفی کودهای آلی و کربن آلی خاک

Figure 1. Relationship between organic fertilizer and soil organic carbon

MWC: Municipal Waste Compost; PM: Poultry Manure; CM: Cow Manure

در جدول ۵، نتایج تجزیه واریانس غلظت‌های عناصر سنگین مختلف تحت تأثیر بافت و سطوح کود کمپوست نمایش داده شده است. این جدول برای پنج عنصر در دو حالت کل و قابل استفاده نمایش داده شده است. تأثیر بافت بر عناصر روی کل و سرب کل معنی‌دار بوده اما در سایر موارد دارای اثر معنی‌داری نبود. برخلاف بافت سطح کود بر تمام حالات (به استثنای منگنز قابل استفاده) تأثیر معنی‌داری داشته است. اثر متقابل بافت در سطح کود کمپوست نیز فقط بر عنصر روی قابل استفاده در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده و در سایر عناصر تأثیر معنی‌داری نداشت. در مورد شکل قابل استفاده و کل عناصر سنگین بایستی بیان کرد که عناصر سنگین پس از افزوده شدن به خاک، بیش‌ترین زیست‌فراهمی را داشته که با گذشت زمان به اشکال با حلّالیت پایین‌تر دگرگون شدند (Rajaie *et al.*, 2006). این فرآیند بستگی به فاکتورهایی چون اسیدیته، نوع کانی‌ها، بافت و مقدار مواد آلی خاک و هم‌چنین منشأ و مقدار عناصر سنگین و مدّت زمان تماس عنصر سنگین با خاک دارد. عناصر سنگین در محصولات کشاورزی و بدن جانداران تجمع یافته و باعث تخریب و تغییر وظایف فیزیولوژیکی بدن انسان یا حیوان می‌شوند (Dudka *et al.*, 1994; Otte *et al.*, 1993; Soderstrom, 1998).

جدول ۵- تجزیه واریانس غلظت فلزهای سنگین خاک در تیمار بافت‌های گوناگون خاک و سطوح مختلف کمپوست

Table 5. Analysis of variance of soil heavy metals concentration in different soil textures and compost levels treatment

Source of variation	df	Mn		Pb		Ni		Cu		Zn	
		Available	Total	Available	Total	Available	Total	Available	Total	Available	Total
Texture	2	10.17^{ns}	4699^{ns}	0.30^{ns}	149^{**}	0.006^{ns}	1.58^{ns}	1.21^{ns}	69.20^{ns}	1.68^{ns}	2526^{**}
Levels of fertilizer	4	78.26^{ns}	26642^{**}	3.31^{**}	320^{**}	0.30^{*}	947^{*}	13.27^{**}	401.8^{ns}	7.85^{**}	4807^{**}
Levels of fertilizer * Texture	8	49.35^{ns}	2292^{ns}	0.72^{ns}	9.09^{ns}	0.081^{ns}	464.6^{ns}	2.88^{ns}	59.60^{ns}	0.75^{ns}	714^{*}
Erorr	30	74.33	3605	0.66	17.56	0.08	348.50	2.66	60.93	809	338

*معنی‌دار در سطح پنج درصد،**معنی‌دار در سطح یک درصد، ^{ns}عدم معنی‌داری

*Significant at 5%, **significant at 1%, ^{ns} not significant

در جدول ۶، تجزیه واریانس غلظت‌های عناصر سنگین تحت تأثیر تیمارهای نوع کود (سه نوع) و سطح کود (پنج سطح) نمایش داده شده است. در این جدول تأثیر نوع کود فقط بر عنصر روی بر دو حالت کل و قابل استفاده و نیکل کل معنی‌دار بوده است. تأثیر سطوح پنج‌گانه کودی در همه عناصر در دو حالت کل و قابل استفاده معنی‌دار بوده است. اثر متقابل نوع کود در سطح کود نیز فقط در عنصر روی معنی‌دار بوده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۶- تجزیه واریانس غلظت فلزهای سنگین خاک لوم شنی در تیمار سطوح مختلف کودهای آلی

Table 6. Analysis of variance of sandy loam soil heavy metals concentration in different organic fertilizer levels treatment

Source of variation	df	Zn		Cu		Ni		Pb		Mn	
		Total	Available	Total	Available	Total	Available	Total	Available	Total	Available
Fertilizer type	2	1187**	14.55**	1.05ns	0.25ns	687*	0.01ns	8.65ns	0.07ns	1060ns	58.4ns
Levels of fertilizer	4	3672**	3.35**	471**	15.89*	667*	0.78**	197**	3.98*	26350**	301*
Levels of fertilizer * Fertilizer type	8	1172**	1.27**	76.19ns	1.75ns	318ns	0.11ns	18.07ns	0.45ns	5062ns	39.08ns
Erorr	30	214.28	0.37	36.41	4.25	253.26	0.08	9.23	1.07	3327	80.19

*معنی‌دار در سطح پنج درصد،**معنی‌دار در سطح یک درصد، nsعدم معنی‌داری

*Significant at 5%, **significant at 1%, ns not significant

روی

الف) اثر کمپوست زباله شهری بر دگرگونی روی کل و قابل استفاده در سه بافت خاک مختلف

در این مطالعه غلظت روی کل در خاک‌هایی که درصد متفاوتی کمپوست زباله شهری دریافت کرده بودند در مقایسه با خاک شاهد به‌طور چشم‌گیری (P<۰/۰۱) افزایش یافت (جدول ۷). بیش‌ترین میزان غلظت روی کل در تیمار ۱۲۰ تن در هکتار خاک با بافت رسی مشاهده شد (۱۴۸/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، که کم‌تر از حد استاندارد فلز روی در خاک بود (جدول ۱). در کشور آلمان و ایتالیا حد استاندارد برای عنصر روی در خاک رسی ۲۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شده است (Bavnick, 1989; Bidlingmeier & Barth, 1993). با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که غلظت کل عناصر بعد از اضافه شدن کود به خاک‌ها در بافت رسی نسبت به دو بافت دیگر بیش‌تر است. علت این مسئله را می‌توان به بیش‌تر بودن سطوح باردار، سطح ویژه و مهیا بودن شرایط برای تجزیه کودهای آلی در خاک‌های رسی نسبت داد. هم‌چنین تیمار ۲۰ تن در هکتار خاک لوم شنی تفاوت معنی‌داری با خاک شاهد نداشته که این پیامد در خاک با بافت لومی نیز مشاهده شد. با توجه به نتایج جدول ۶، دگرگونی بافت خاک پیامد معنی‌داری بر غلظت قابل استفاده روی نداشت ولی افزایش میزان کمپوست زباله شهری سبب افزایش میزان غلظت روی شد. به طور کلی می‌توان بیان کرد که با افزایش مقدار کود آلی غلظت عناصر سنگین در هر سه بافت خاک افزایش یافت ، اما این افزایش در خاک لومی نسبت به دو خاک دیگر بیش‌تر بوده و فقط در تیمار ۱۲۰ تن کود در خاک رسی باعث شده است که غلظت عنصر روی بیش‌تر از خاک لومی شود (شکل ۲). آچیبا و همکاران (Achiba *et al.*, 2009) مشاهده نمودند که افزایش در سطوح کودی کمپوست، سبب افزایش غلظت‌های کل و قابل استفاده روی در خاک‌های با بافت لوم شنی و رسی شد که با نتایج حاصل از این تحقیق در یک راستا هستند. برخلاف این پژوهش، بالدانتونی و همکاران (Baldantoni *et al.*, 2010) مشاهده نمودند که افزایش قابلیت استفاده عناصر سنگین تحت تیمار کمپوست در خاک با بافت رسی کم‌تر است و دلیل آن به مواد آلی اولیه کم‌تر در خاک‌های مورد مطالعه بر می‌گردد.

جدول ۷- مقایسه میانگین غلظت روی کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار بافت‌های گوناگون خاک و سطوح مختلف کمپوست

Tale 7. Compare means of total Zn concentration (mg kg^{-1}) in various soil textures and different levels of compost treatment

Organic fertilizer (ton ha^{-1})	Sandy loam	Loamy	Clay
0	48.69^{e}	45.75^{e}	61.74^{de}
20	55.30^{e}	51.63^{e}	82.18^{bcde}
40	69.14^{cde}	49.94^{e}	98.09^{bc}
80	97.23^{bc}	95.46^{bcd}	113.64^{ab}
120	133.18^{a}	81.86^{bcde}	148.99^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری (p<۰/۰۵) ندارند

Means with similar letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test (p<0.05)

Archive of SID

www.SID.ir

ب) غلظت روی در خاک لوم شنی تحت تیمار کودهای آلی (کود گاوی، مرغی و کمپوست)

نتایج جدول ۸، مقایسه میانگین غلظت روی کل در بافت لوم شنی در سه کود آلی کمپوست زباله شهری، کود گاوی و کود مرغی را نشان می‌دهد. کود کمپوست زباله شهری نسبت به دو کود گاوی و مرغی سبب افزایش بیش‌تر در غلظت روی کل در خاک شد. بیش‌ترین افزایش در غلظت کل روی، در تیمار ۱۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری به میزان ۱۳۳/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم رخ داد. هم‌چنین تیمار ۸۰ تن در هکتار کودهای کمپوست زباله شهری و کود مرغی نیز به‌ترتیب به میزان ۹۷/۰۳ و ۸۰/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سبب افزایش غلظت روی کل در خاک لوم شنی شدند (جدول ۸). نتایج این آزمایش نشان داد که فقط تیمار ۱۲۰ تن در هکتار کود کمپوست زباله شهری سبب ایجاد سمیت فلز روی در خاک شد. در حالی‌که، سایر تیمارها اثر سمیت در خاک نداشتند.

جدول ۸- مقایسه میانگین غلظت روی کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در کودهای آلی مختلف

Table 8. Compare means of total Zn concentration (mg kg^{-1}) in various organic fertilizer

Organic fertilizer (ton ha^{-1})	Municipal solid waste compost	Cow manure	Poultry manure
0	37.25^{e}	37.25^{e}	37.25^{e}
20	55.30^{cde}	67.74^{cd}	60.84^{cde}
40	69.14^{cd}	51.74^{de}	75.93^{bcd}
80	97.03^{b}	69.71^{bcd}	80.60^{bc}
120	133.18^{a}	78.81^{bcd}	76.49^{bcd}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری (p<۰/۰۵) ندارند

Means with common letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test (p<0.05)

جدول ۹، نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر کودهای آلی مختلف بر قابلیت استفاده غلظت روی را نشان می‌دهد. بیش‌ترین دگرگونی در غلظت روی قابل استفاده در تیمارهای ۸۰ و ۱۲۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری به ترتیب به میزان ۴/۱۷ و ۴/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. آچیبا و همکاران (Achiba *et al.*, 2009) گزارش کردند که به دلیل وجود اسید فولویک در کمپوست، زیست فراهمی روی افزایش پیدا می‌کند. کود گاوی و کود مرغی سبب دگرگونی کم‌تری نسبت به کمپوست زباله شهری در روی قابل استفاده خاک شدند و تفاوتی بین تیمار شاهد با تیمارهای ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کود گاوی مشاهده نشد (جدول ۹). هم‌چنین در تیمار ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کود مرغی، زیست‌فراهمی روی نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد ولی در تیمارهای بالاتر (۸۰ و ۱۲۰ تن در هکتار) غلظت روی زیست‌فراهم افزایش پیدا کرد.

جدول ۹- مقایسه میانگین غلظت روی قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار کودهای آلی مختلف و سطوح کود

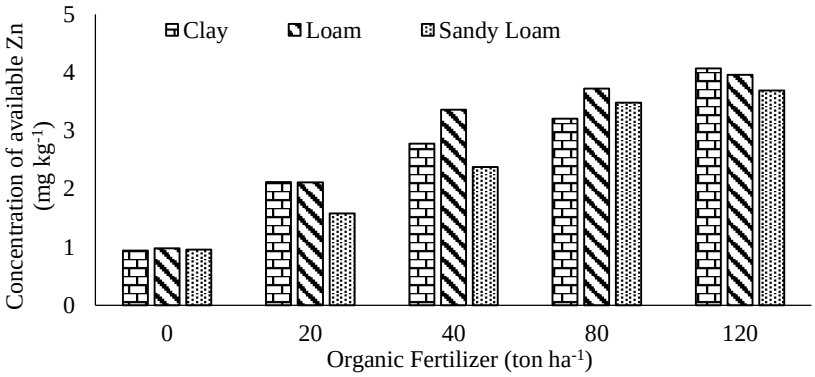
Table 9. Compare means of available Zn concentration (mg kg^{-1}) in various type and levels of organic fertilizer

Organic fertilizer (ton ha^{-1})	Municipal solid waste compost	Cow manure	Poultry manure
0	1.79^{e}	1.79^{de}	1.79^{de}
20	3.54^{ab}	1.32^{de}	0.97^{e}
40	3.21^{abc}	1.32^{de}	0.98^{e}
80	4.17^{a}	2.47^{bcd}	1.81^{de}
120	4.25^{a}	3.24^{abc}	2.30^{cd}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری (p<۰/۰۵) ندارند

Means with similar letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test (p<0.05)

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲- غلظت روی قابل استفاده در بافت‌های مختلف تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کمپوست زباله شهری

Figure 2. Concentration of available Zn in different soil textures affected by various concentration of municipal solid waste compost

مس

الف) اثر کمپوست زباله شهری بر دگرگونی غلظت مس کل و قابل استفاده

در سه بافت خاک مختلف در جدول ۱۰، مقایسه میانگین غلظت کل عناصر سنگین مختلف در سطوح مختلف کود کمپوست زباله شهری نشان داده شده است. با افزایش مقدار کمپوست زباله شهری میزان مس کل در خاک لوم شنی افزایش یافت. بیش‌ترین میزان غلظت مس کل در تیمار ۸۰ و ۱۲۰ تن در هکتار خاک (به ترتیب به میزان ۴۹/۰۶ و ۵۱/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. هم‌چنین تیمارهای ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری تفاوت معنی‌داری با خاک شاهد در دگرگونی غلظت مس کل نداشت. کم‌ترین میزان غلظت مس در تیمار شاهد به میزان ۳۷/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد. مادرید و همکاران (Madrid *et al.*, 2006) مشاهده نمودند که با افزایش سطوح کودی کمپوست زباله شهری، حتی در خاک با بافت لوم شنی نیز تجمع مس صورت می‌پذیرد که به دلیل وجود مس در ماده اولیه کمپوست می‌باشد. میانگین مقدار مس در خاک‌های مناطق مختلف جهان بسیار متفاوت بوده و بین ۱۴ تا ۱۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است. مقدار مس خاک با بافت خاک همبستگی دارد به طوری که پایین ترین مقدار آن در خاک‌های شنی و لوم شنی و بیش‌ترین مقدار در خاک‌های لومی وجود دارد، بنابراین مقدار رس تأثیر قابل توجهی بر میزان مس در خاک دارد (Kabata-Pendias, 2010). به‌طور کلی مس در چند سانتی‌متری فوقانی خاک تجمع می‌یابد، اما به علت ترکیب شدن با مواد آلی، کربنات‌ها، کانی‌های رس و اکسیدهای آهن و منگنز در لایه‌های عمیق‌تر خاک نیز دیده می‌شود (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

در شکل ۳، غلظت مس قابل استفاده در سه بافت خاک تحت تأثیر تیمارهای مختلف کود کمپوست زباله شهری نشان داده است. به‌طور کلی با افزایش مسزان مصرف کود، غلظت مس نیز افزایش یافته که این افزایش در سه تیمار اول ناچیز بود. به‌طور کلی خاک لوم شنی نسبت به سایر خاک‌ها دارای میزان کم‌تری از مس بود (به استثنای تیمار شاهد که به میزان اندکی بیش‌تر از خاک لوم بود).

ب) غلظت مس در خاک لوم شنی تحت تیمار کودهای آلی (کود گاوی، مرغی و کمپوست)

بیش‌ترین میزان افزایش غلظت کل در سطح کودی ۱۲۰ تن در هکتار به میزان ۴۹/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین میزان در خاک شاهد و سطح کودی ۲۰ تن در هکتار، به ترتیب با مقادیر ۳۱/۱۲ و ۴۱/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد (جدول ۱۲). غلظت قابل استفاده مس در اثر متقابل نوع و سطوح کود در سطح اطمینان ۹۹ درصد، معنی‌دار نبود. ولی در کل سطوح کودی اثر معنی‌داری بر دگرگونی غلظت مس قابل استفاده ایجاد کرد. بیش‌ترین میزان مس قابل استفاده در سطوح کودی ۱۲۰، ۸۰ و ۴۰ تن در هکتار و کم‌ترین در تیمار شاهد مشاهده شد (به ترتیب ۶/۵۵، ۵/۸۷، ۵/۷۷ و ۳/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم؛ جدول ۱۳).

Archive of SID

www.SID.ir

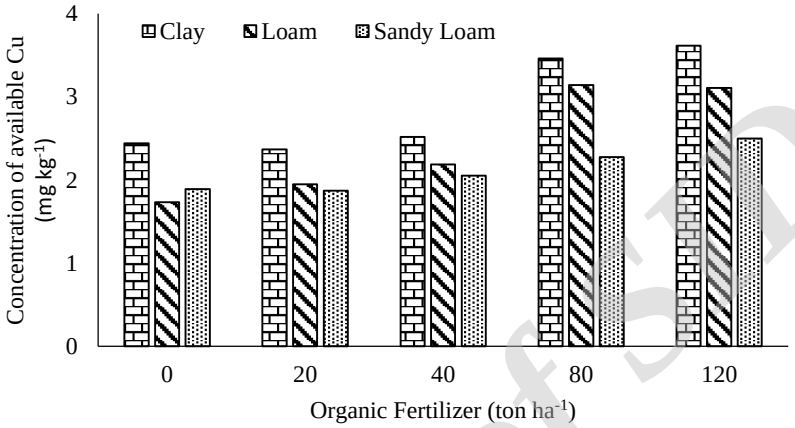
جدول ۱۰- مقایسه میانگین غلظت کل فلزهای سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار سطوح کمپوست

Table 10. Compare means of heavy metal concentration (mg kg^{-1}) in compost levels treatment

Organic fertilizer (ton ha^{-1})	Pb	Mn	Ni	Cu
0	16.25^{c}	254.46^{c}	37.81^{b}	37.27^{b}
20	18.52^{c}	269.88^{bc}	54.25^{ab}	38.25^{b}
40	19.51^{c}	324.94^{ab}	59.83^{a}	40.08^{b}
80	24.25^{b}	357.21^{a}	63.43^{a}	49.06^{a}
120	31.28^{a}	380.45^{a}	60.54^{a}	51.85^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) ندارند

Means with similar letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test ($p<0.05$)



شکل ۳- غلظت مس قابل استفاده در بافت‌های مختلف تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کمپوست زباله شهری

Figure 3. Concentration of available Cu in different soil textures affected by various concentration of municipal solid waste compost

نیکل

الف) اثر کمپوست زباله شهری بر دگرگونی غلظت نیکل کل و قابل استفاده

در سه بافت خاک مختلف همانطور که در این مطالعه مشاهده شد، سطوح گوناگون کودی اثر معنی‌داری بر دگرگونی غلظت نیکل کل و قابل استفاده در خاک داشت، ولی بافت خاک سبب تغییرات معنی‌داری در غلظت نیکل کل خاک نشد (جدول ۵). هم‌چنین با توجه به نتایج جدول ۹، هیچکدام از تیمارهای کود کمپوست زباله شهری سبب ایجاد سمیت فلز نیکل در خاک نشد. بیش‌ترین میزان غلظت نیکل کل در سطوح کودی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ تن در هکتار به ترتیب به میزان ۵۹/۸۳، ۶۳/۴۳ و ۶۰/۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمده است. هم‌چنین کم‌ترین میزان نیکل در تیمار شاهد مشاهده شد (۳۷/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم؛ جدول ۱۱).

جدول ۱۱- مقایسه میانگین غلظت قابل استفاده عناصر سنگین در تیمار بافت‌های گوناگون خاک و سطوح کمپوست

Table 11. Compare means of available concentration of heavy metals in different soil textures and compost levels treatment

Organic fertilizer (ton ha^{-1})	Pb	Ni	Zn	Cu
0	2.13^{c}	0.54^{b}	1.61^{c}	4.26^{c}
20	2.27^{c}	0.82^{a}	2.79^{b}	4.55^{c}
40	2.68^{bc}	0.96^{a}	2.42^{bc}	5.37^{bc}
80	3.17^{ab}	0.93^{a}	3.66^{a}	6.34^{ab}
120	3.57^{a}	0.98^{a}	3.90^{a}	7.15^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) ندارند

Means with similar letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test ($p<0.05$)

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۶، در مورد نیکل می‌توان بیان کرد که سطوح کودی مختلف سبب دگرگونی غلظت نیکل قابل استفاده در خاک شد ولی از لحاظ آماری، بافت خاک و اثر متقابل بافت و سطوح

Archive of SID
www.SID.ir

مختلف کمپوست زباله شهری پیامدی بر دگرگونی نیکل قابل استفاده در خاک نداشت. تمامی سطوح کودی نسبت به شاهد سبب افزایش معنی‌دار در غلظت نیکل قابل استفاده در خاک شده که بیش‌ترین میزان غلظت نیکل قابل استفاده در سطح ۱۲۰ تن در هکتار و به میزان ۰/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۱۱). نتایج این پژوهش هم راستا با نتایج مادرید و همکاران (Madrid *et al.*, 2006)و آچیبا و همکاران (Achiba *et al.*, 2009)بود.

ب) غلظت نیکل در خاک لوم شنی تحت تیمار کودهای آلی (کود گاوی، مرغی و کمپوست)

در جداول ۱۲ و ۱۳ به ترتیب مقایسه میانگین غلظت‌های کل و قابل استفاده عناصر سنگین در خاک لوم شنی نشان داده شده است. در هر دو شکل کل و قابل استفاده، با افزایش میزان کود آلی میزان عنصر نیکل نیز افزایش یافت. کمپوست زباله شهری نسبت به دو کود دیگر سبب افزایش بیش‌تر در غلظت نیکل کل در خاک لوم شنی شد (با میانگین غلظت کل ۶۲/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، که می‌تواند به علت غلظت اولیه بیش‌تر نیکل در کود کمپوست زباله شهری باشد. میانگین غلظت نیکل در کود کود مرغی و کود گاوی به ترتیب ۵۲/۷۳ و ۴۹/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. وجود نیکل در کودهای حیوانی توسط نیکولسونا و همکاران (Nicholsona *et al.*, 1999) نیز مشاهده شده است. در شکل ۴، تأثیر سه نوع کود آلی بر میزان نیکل کل در خاک لوم شنی نشان داده شده است. به‌طور کلی تفاوت چندانی بین سه نوع کود آلی مشاهده نشد. با این حال، تمامی سطوح کودی نسبت به شاهد سبب افزایش در غلظت نیکل کل در خاک لوم شنی شد. در این بین، کود گاوی به‌طور موقت می‌تواند بر فرآیند معدنی شدن اثر گذاشته و قابلیت استفاده عناصر سنگین را در خاک کاهش داده و باعث تشکیل نمک‌های محلول در خاک شود (Walker*et al.*, 2004). هم‌چنین در شکل ۵، غلظت نیکل قابل استفاده در سه بافت مختلف خاک تحت تأثیر کود کمپوست زباله شهری نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، میزان نیکل قابل استفاده در خاک رسی بیش‌تر از دو خاک دیگر و خاک لومی نیز بیش‌تر از خاک لوم شنی بود.

جدول ۱۲- مقایسه میانگین غلظت کل عناصر سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک لوم شنی و تیمار کودهای آلی

Table 12. Compare means of total concentration of heavy metals (mg kg^{-1}) in sandy loam soil and organic fertilizers treatment

Organic fertilizer (ton ha^{-1})	Pb	Mn	Ni	Cu
0	12.20^{c}	207.63^{b}	39.87^{b}	31.12^{b}
20	18.57^{c}	322.67^{a}	55.91^{a}	41.18^{b}
40	20.69^{bc}	320.81^{a}	59.56^{a}	46.85^{ab}
80	22.27^{ab}	324.77^{a}	57.76^{a}	46.06^{ab}
120	24.46^{a}	340.92^{a}	61.22^{a}	49.39^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری (p<۰/۰۵) ندارند

Means with similar letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test (p<0.05)

جدول ۱۳- مقایسه میانگین غلظت قابل استفاده عناصر سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک لوم شنی،تیمار کودهای آلی

Table 13. Compare means of available concentration of heavy metals (mg kg^{-1}) in sandy loam soil and organic fertilizers treatment

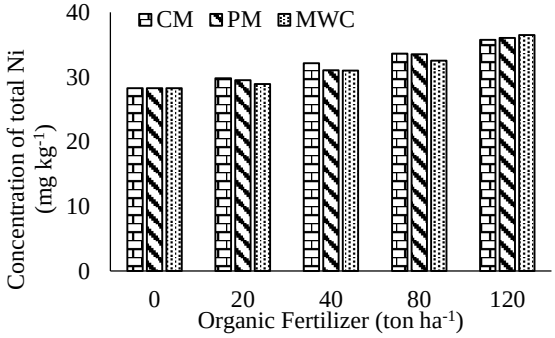
Organic fertilizer(ton ha^{-1})	Pb	Mn	Ni	Cu
0	1.54^{b}	14.96^{b}	0.45^{b}	3.09^{b}
20	2.48^{ab}	16.22^{b}	0.62^{bc}	5.01^{ab}
40	2.88^{a}	18.21^{b}	0.88^{ab}	5.77^{a}
80	2.93^{a}	21.17^{ab}	1.11^{a}	5.87^{a}
120	3.27^{a}	29.48^{a}	1.10^{a}	6.55^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری (p<۰/۰۵) ندارند

Means with similar letters have no significant difference according to Duncan's multiple range test (p<0.05)

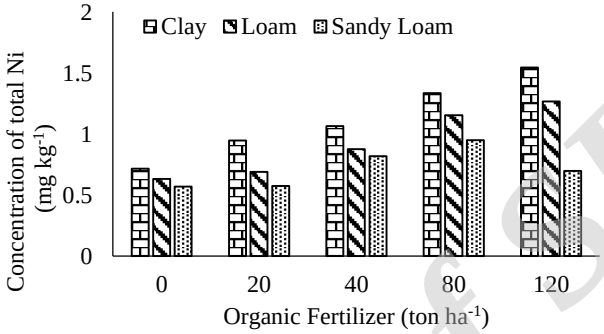
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴- غلظت نیکل کل در خاک لوم شنی تحت تیمار کودهای آلی مختلف و سطوح مختلف کودی

Figure 4. Total Ni concentration in sandy loam soil at various organic fertilizers and different fertilizer levels treatment



شکل ۵- غلظت نیکل قابل استفاده در بافت‌های مختلف تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کمپوست زباله شهری

Figure 5. Available Ni concentration in various soil textures affected by different concentration of municipal solid waste compost

سرب

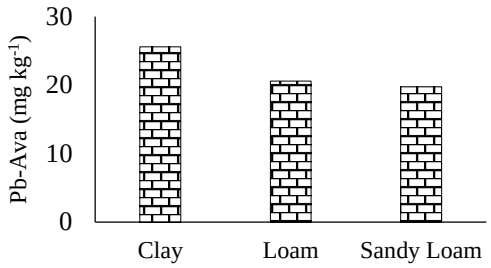
الف) اثر کمپوست زباله شهری بر دگرگونی غلظت سرب کل و قابل استفاده در سه بافت خاک مختلف

در این مطالعه غلظت سرب کل در خاک‌هایی که درصد متفاوتی کمپوست زباله شهری دریافت کرده بودند در مقایسه با خاک شاهد به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) تغییر یافت (جدول ۵). بافت خاک و سطوح کود اثر معنی‌داری بر دگرگونی سرب در خاک داشتند، ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. بیش‌ترین غلظت سرب کل در سطوح کودی ۸۰ و ۱۲۰ تن در هکتار به‌ترتیب به میزان ۲۴/۲۵ و ۳۱/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. هم‌چنین در جدول ۹ میزان قابل استفاده عنصر سرب قابل مشاهده است. با توجه به نتایج این جدول، بین تیمارهای کود کمپوست زباله شهری بر میزان قابلیت استفاده عنصر سرب تفاوت معنی‌داری وجود داشته که بیش‌ترین میزان قابلیت استفاده در تیمار ۱۲۰ تن کود بدست آمد. تجمع سرب در خاک با بافت رسی نیز بیش‌تر از دو بافت دیگر بود که بیش‌ترین میزان تجمع سرب به میزان ۲۵/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بین بافت لوم شنی و لومی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۶). سطح کودی ۱۲۰ تن در هکتار سبب بیش‌ترین افزایش غلظت سرب قابل استفاده در خاک شد (۳/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کم‌ترین میزان غلظت سرب قابل استفاده در تیمار شاهد و سطح کودی ۲۰ تن در هکتار به ترتیب به میزان ۲/۱۳ و ۲/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۱۱). کاباتا پندیاس (Kabata-Pendias, 2010) گزارش کرد که در خاک‌های با بافت سنگین‌تر، سرب به میزان بیش‌تر در خاک تجمع می‌یابد که به دلیل ایجاد کمپلکس با رس در خاک می‌باشد. ویژگی‌های ژئوشیمیایی سرب تا حدودی شبیه فلزهای قلیایی دو ظرفیتی است، از این رو می‌تواند جایگزین عناصری مثل پتاسیم، باریم و یا حتی کلسیم شود. سیپوس و پوکا (Sipos & Poka, 2005) نشان دادند که مواد آلی خاک نقش زیادی را در جذب سطحی سرب دارند، اما تثبیت سرب توسط کانی‌های رس بسیار قوی است. غلظت سرب در محلول خاک نسبتاً پایین است (۱ تا ۶۰ میکروگرم بر لیتر) و می‌تواند به راحتی از افق‌های بالایی به افق‌های پایینی

Archive of SID
www.SID.ir

حرکت کرده و باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شود.

سرب کم‌ترین تحرک را در بین فلزهای خاک دارد.

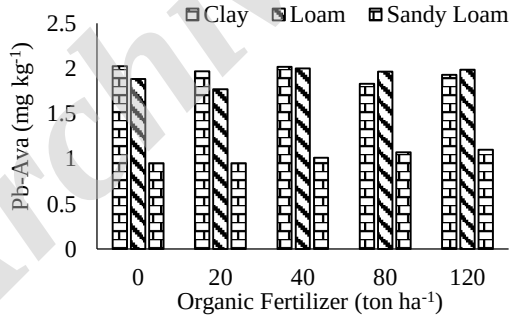


شکل ۶- میانگین غلظت کل سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار بافت‌های مختلف

Figure 6. Average concentration of total Pb (mg kg^{-1}) in different soil textures treatment

ب) غلظت سرب در خاک لوم شنی تحت تیمار کودهای آلی (کود گاوی، مرغی و کمپوست)

نتایج بررسی میزان سرب در خاک لوم شنی تحت تأثیر سه کود آلی در جداول ۱۲ و ۱۳ (به ترتیب سرب کل و قابل استفاده) نمایش داده شده است. هم‌چنین با توجه به جدول ۷ در مورد عنصر سرب مشاهده شد که سطوح مختلف کود اثر معنی‌داری بر دگرگونی غلظت سرب کل و قابل استفاده در خاک داشتند ($p<۰/۰۱$) در حالی که نوع کودهای آلی و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. بیش‌ترین افزایش غلظت سرب کل در سطح کودی ۱۲۰ تن در هکتار و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد به‌ترتیب به میزان ۲۴/۴۶ و ۱۲/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شد (جدول ۱۲). بیش‌ترین افزایش در غلظت سرب قابل استفاده در سطوح کودی ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ تن در هکتار به‌ترتیب با مقادیر ۲/۸۸، ۲/۹۳ و ۳/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد (۱/۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۱۴). در شکل ۷ غلظت قابل استفاده عنصر سرب در بافت‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود میزان سرب در خاک لوم شنی نسبت به دو خاک دیگر کم‌تر بوده و دو خاک رسی و لومی مقادیر نزدیکی از سرب قابل استفاده را دارا بودند.



شکل ۷- غلظت سرب قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بافت‌های مختلف تحت تأثیر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری

Figure 7. Available Pb concentration (mg kg^{-1}) in different soil textures affected by municipal solid waste compost different level

منگنز الف) اثر کمپوست زباله شهری بر دگرگونی غلظت منگنز کل و قابل استفاده

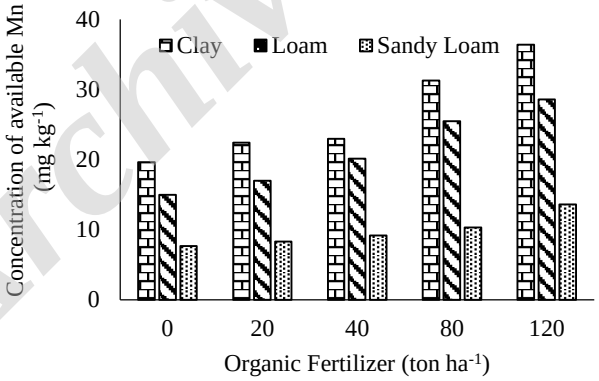
در سه بافت خاک مختلف مقدار منگنز در خاک بسیار متغیر بوده و از ۱۰ تا ۹۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند. برخی مطالعات نشان داده‌اند که مقدار منگنز در سطح خاک با مقدار رس دارای همبستگی بالایی است. اکسیدهای منگنز ظرفیت بسیار بالایی برای جذب سرب به ویژه در pH حدود هشت دارند. بنابراین منگنز تأثیر زیادی بر تحرک آلودگی‌های معدنی در فرآیندهای ته‌نشست و انحلال دارد. منگنز در خاک عمدتاً به شکل اکسیدها و هیدروکسیدهای بی‌شکل وجود دارد. قابلیت دسترسی منگنز در خاک تحت تأثیر اسیدیته است و با افزایش مقدار اسیدیته قابلیت دسترسی آن برای گیاه کاهش می‌یابد (Kabata-Pendias, 2010). در این

Archive of SID
www.SID.ir

مطالعه سطوح گوناگون کمپوست زباله شهری اثر معنی‌داری بر دگرگونی منگنز کل در خاک داشت ولی بافت خاک و اثر متقابل بافت و سطوح کود، پیامدی بر دگرگونی غلظت منگنز کل در خاک ایجاد نکرد (جدول ۵). با توجه به نتایج جدول ۱۰، بیش‌ترین غلظت منگنز کل در سطوح ۱۲۰ و ۸۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و کم‌ترین مقدار در تیمار شاهد مشاهده شد (به ترتیب به میزان ۳۸۰/۴۵، ۳۵۷/۲۱ و ۲۵۴/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم). میزان عنصر منگنز نسبت به سایر عناصر سنگین بیش‌تر بود، در همین راستا برید و همکاران (Brid *et al.*, 1995) بیان کردند که غلظت کل عناصر سنگین در خاک شاخص خوبی از در دسترس بودن عناصر برای گیاه و تحرک‌پذیری آن‌ها در خاک نیست.

ب) غلظت منگنز در خاک لوم شنی تحت تیمار کودهای آلی (کود گاوی، مرغی و کمپوست)

در خاک لوم شنی غلظت منگنز کل در سطوح کودی ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ تن در هکتار به‌ترتیب به میزان ۳۲۲/۶۷، ۳۲۰/۸۱، ۳۲۴/۷۷ و ۳۴۰/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. کم‌ترین مقدار غلظت منگنز کل در تیمار شاهد گزارش شد (۲۰۷/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم؛ جدول ۱۲). کاربرد سطوح کودی مختلف سبب افزایش در میزان غلظت منگنز در خاک لوم شنی شد ولی نوع کودهای آلی اثر معنی‌داری بر دگرگونی غلظت منگنز کل در خاک نداشتند. هم‌چنین سطوح کودی سبب تغییرات اندک آماری در غلظت منگنز قابل استفاده در خاک شد و پنج سطح کودی در دو کلاس قرار گرفتند (جدول ۱۳). عواملی از قبیل پارامترهای زیستی و غیر زنده خاک، کمپلکس‌های ترشح شده از ریشه، واکنش با اکسیدهای آهن و افزایش مواد آلی نقش مؤثری بر قابلیت دسترسی منگنز در خاک دارند. قابلیت منگنز در تشکیل کمپلکس‌های آنیونی و لیگاندهای آلی می‌تواند حلّالیت منگنز را حتی در اسیدیته‌های قلیایی افزایش دهد (Kabata-Pendias, 2010). از این رو، افزایش غلظت منگنز بر اثر کودهای آلی طبیعی به نظر می‌رسد. در شکل ۸، غلظت منگنز در بافت‌های مختلف نشان داده شده است. همانند سایر عناصر مورد مطالعه، با افزایش مقدار کود غلظت قابل استفاده این عنصر نیز افزایش یافته که در خاک رسی غلظت قابل استفاده منگنز نسبت به سایر بافت‌ها بیش‌تر بود.



شکل ۸- غلظت منگنز قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بافت‌های مختلف تحت تأثیر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری
Figure 8. Available Mn concentration (mg kg^{-1}) in different soil textures affected by municipal solid waste compost different levels

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق از سه نوع ماده آلی با منشاءهای مختلف شامل کمپوست زباله شهری، کود مرغی و گاوی استفاده شد. این ترکیبات آلی با وجود مزایایی زیادی که دارند در موارد زیادی نیز حاوی عناصر سنگین بوده که اگر وارد چرخه غذایی انسان و حیوان شوند مضرات فراوانی در پی خواهند شد. بنابراین آگاهی از مقدار عناصر موجود در این مواد و نحوه اضافه شدن این عناصر به خاک بسیار حائز اهمیت خواهد بود. بافت‌های مختلف باعث تغییر در میزان قابلیت استفاده عناصر سنگین می‌شوند به‌صورتی که بافت رسی و لومی به‌ترتیب میزان بیش‌تری از عناصر را در خود نگه‌داری می‌کنند. نتایج

Archive of SID
www.SID.ir

این تحقیق نشان داد که بافت رسی در مقایسه با دو بافت لومی و لوم شنی دارای میانگین بیش‌تری از عناصر روی، سرب، نیکل و غیره بود. با افزودن مقدار بیش‌تری از کودهای آلی در تمام بافت‌ها، میزان بیش‌تری از عناصر نیز در خاک آزاد شد. هم‌چنین برای تمام عناصر در بین کودهای آلی نیز کمپوست نسبت به کود مرغی و گاوی مقدار بیش‌تری را در خاک رها کرد. نتایج نشان دادند که میزان قابلیت استفاده یک عنصر نسبت به میزان کل آن فلز بسیار در سطح پایین‌تری قرار داشت. به‌طورکلیو با توجه به استاندارد کشورهای مختلف، نتایج نشان داد که عناصر سرب، مس، روی و منگنز در سطح سمیّت نبوده و ممانعتی برای استفاده از کودهای آلی وجود ندارد. در مورد عنصر نیکل در بافت لوم شنی با توجه به استاندارد برخی کشورها، در شرایط سمیّت قرار داشت اما غالب استانداردها دامنه سمیّت این عنصر را بیش‌تر از مقدار موجود در کودهای آلی مورد بررسی، گزارش کرده‌اند. در خاک‌های با بافت سنگین‌تر، سرب به میزان بیش‌تر در خاک تجمع یافته که به دلیل ایجاد کمپلکس با رس در خاک می‌باشد.

References

Achiba W.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. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 130(3): 156-163.

Alexander R. 1999. Compost markets grow with environmental application. *Biocycle*, 40(4): 43-48.

Aqhvany Shajari M., Rezvani Moghaddam P., Ghorbani R., and Nasiri Mahalati M. 2016. The effects of organic fertilizers, bio and chemical fertilizers on yield and quality of the Coriander. *Journal of Horticultural Science*, 29(4): 486-500.

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(9): 1006-1013.

Bavnick H.F. 1989. Dutch Reference Values for Soil Quality. Behrens & Wiesner. Frankfurt Germany.

Bidlingmeier, W. and Barth, J., 1993. Anforderungsprofile für Kompost in europaischen Vergleich. Profile of standards for compost in European lands) *In:* Biological Waste Handling-Compost, Anaerobic Treatment and Cold-Pretreatment, 1112p. University of Kassel MIC Baeza Verlag.

Del Castilh, P.W.J., and Salomons W. 1993. Influence of Cattle manure slurry application on solubility of Cd, Cu and Zn in a manred acidic soil, loamy sand soil. *Journal of Environmental Quality*, 22: 689-697.

Dudka S., Piotrowska M., and Chlopecka A. 1994. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and the metal contents of the plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 76(3-4): 333-341.

Gee G.W., and Or D. 2002. Particle-size and analysis. *In*: Warren A.D. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Madison. WI, USA: Soil Science Society of America. pp. 255-295.

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): 1-14.

Joshi R., Singh J., and Vig A.P. 2015. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(1): 137-159.

Kabata-Pendias A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants. (4nd Ed.), Boca Raton. 534p.

Kabata-Pendias A., and Mukherjee B.A. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer. 561p.

Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1979. Development of a DTPA Soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3): 421-428.

Archive of SID

www.SID.ir

Madrid F., Lopez R., and Cabrera F. 2006. Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119(3): 249-256.

Mbarki S., Labidi N., Mahmoudi H., Jedidi N., and Abdelly C. 2008. Contrasting effects of municipal compost on alfalfa growth in clay and in sandy soils: N, P, K, content and heavy metal toxicity. *Bioresource Technology*, 99(15): 6745-6750.

Nicholsona, F. A., Chambersa, B. J., Williamsb, J. R., and Unwin R. J. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*. 70: 23-31.

Olsen S.R., and Wanatabe F.S. 1957. A method to determine phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuier isotherm. *Soil Science Society of America Journal*, 21(2): 144-149.

Otte M.L., Haarsma M.S., Broekman R.A., and Rozema J. 1993. Relation between heavy metal concentrations and salt marsh plants and soil. *Environmental Pollution*, 82(1): 13-22.

Page A.L., and Miller R.H. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. USA.

Rajaie M., Karimian N., Maftoun M., Yasrebi J., and Assad M.T. 2006. Chemical forms of Cadmium in two calcareous soil textural class as affected by application of cadmium-enriched compost and incubation time. *Geoderma*, 136(3): 533-541.

Ramadass K., and Palaniyandi S. 2007. Effect of enriched municipal solid waste compost application on soil available macronutrients in the rice field. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 53(5): 497-506.

Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *In*: Sparks D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3- Chemical Methods, pp.417-435.

Rhoades J.D., Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., and Sumner M.E. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *In*: Sparks D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods. pp: 417-435.

Rowell D.L. 1994. Soil Science Methods and Application. Part 7. Measurement of the Composition of Soil Solution. 146p.

Robin, A., Szmidt, R.A.K. and Dickson, W., 2001. Use of compost in agriculture, Frequently Asked Questions (FAQs). Remade Scotland, pp.324-336.

Sihag D.J. and Singh P. 1997. Effect of organic materials on ammonia volatilization losses for, urea submerged condition. *Journal Indian of Society Soil Science*, 45: 822-825.

Sipos P., and Poka T. 2005. Threshold Limit Values for Heavy Metals in the Function of Spatial and Temporal Variation of Geochemical Factors. Hungarian Academy of Sciences. 7p.

Soderstrom M. 1998. Modelling local heavy metal distribution: a study of chromium in soil and wheat at ferrochrome smelter in south-western Sweden. *Acta Agriculture Scandinavica*, 48: 2-10.

Sposito G., Lund L.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 American Journal*, 46(2): 260-264.

Stratton M.L., Barker A., and Ragsdale J. 2000. Sheet composting overpowers weeds in restoration project. *Biocycle*, 4: 57-59.

Thomas G.W., Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., and Sumner M. E. 1996. Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods. 475-490.

Walker D.J., Clemente R., and Bernal M.P. 2004. Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album L*. in a soil contaminated by pyritic mine waste. *Chemosphere*, 57(3): 215-224.

Walkley A., and Black I.A. 1934. An Examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.

Zhou M.D., Hao X.Z., Wang Y.J., Dong Y.H., and Cang L. 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. *Chemosphere*, 59(2): 167-175.

Archive of SID

www.SID.ir

Effect of Municipal Solid Waste Compost, Poultry and Cow Manures on Availability of Heavy Metal in Three Different Soil Textures

Eisa Ebrahimi[1*], Ghasem Rahimi[2], Salahedin Moradi[3], Mohsen Yari[4], Leila Jahanban[3]

(Received: February 2015 Accepted: August 2016)

Abstract

Organic matter is one of the most important factors in soil fertility. Different sources are involved in the supply of organic matter, including municipal solid waste compost, poultry and cow manures. These fertilizers often contain toxic substances and heavy metals which are extremely harmful for human and animal health. Toxicity and hazard of heavy metals in the soil is dependent on the form and amount of heavy metal. This research was conducted in a based on design completely randomized with three replications in Hamedan province. In this study, three types of soil texture (sandy loam, clay and loam) along with three types of organic fertilizers such as municipal solid waste compost, poultry and cow manure have been used in five levels (0, 20, 40, 80 and 120 ton/ha). Availability and total concentrations of Zn, Cu, Ni, Pb and Mn were measured in each treatment. The results showed that soil cation exchange capacity (CEC) as well as availability and total amount of heavy metals were increased by enhancing the amount of organic fertilizers. The availability of heavy metals was much less than the total amount of elements. Overall, it was observed that increment of heavy metals caused by organic fertilizers was more in the clay soil compared to other soils because of the fact that clay texture showed high capacity for the uptake of heavy metals. Solid waste compost revealed the greatest effect on increasing the concentrations of heavy metals in the soil among other fertilizers while poultry manure was in the second place.

Keywords: Manganese, Nickel, Organic matter, Soil pollution, Zinc

Archive of SID

1- Young Researchers and Elite Club, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran
2- Assistant Prof. Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University. Hamadan
3- Phd Student, Department of Agriculture, Payame-Noor University, PO BOX 19395-3697, Tehran, Iran
4- MSc graduated, Faculty of Agriculture, University of Bu Ali Sina, Hamadan
* Corresponding Author Email: Ebrahimi.soilphysic@yahoo.com

www.SID.ir