

اثر تجمعی کاربرد سه ساله کمپوست زباله شهری و کمپوست همراه با کود شیمیایی بر میزان غلظت برخی عناصر سنگین در اندام‌های مختلف گیاه تحت کشت برنج

آرزو محمدی* و محمدعلی بهمنیار^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۲۸)

چکیده

به منظور بررسی اثر تجمعی کاربرد سه ساله کمپوست زباله شهری و کمپوست همراه با کود شیمیایی بر میزان غلظت برخی عناصر سنگین در اندام‌های مختلف گیاه برنج، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به صورت مزرعه‌ای در سال ۱۳۸۸ انجام شد. تیمارهای این آزمایش شامل: شاهد (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار)، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ تن کمپوست بدون کود شیمیایی، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ تن کمپوست به همراه مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کود شیمیایی بودند. نتایج نشان داد که کاربرد سه ساله کمپوست سبب افزایش میزان عناصر نیکل، سرب، کادمیوم و کروم در اندام‌های مختلف برنج گردید. هم‌چنین کاربرد کودهای شیمیایی به همراه کمپوست در مقایسه با تیمارهای بدون کمپوست میزان عناصر نیکل، سرب، کادمیوم و کروم در اندام‌های مختلف برنج را افزایش داد. بیشترین میزان نیکل و سرب (۹/۱ و ۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در دانه در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی به دست آمده است. ضمناً بیشترین میزان کادمیوم دانه (۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی و بیشترین میزان کروم دانه (۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار کمپوست ۳۰ تن در هکتار همراه ۲۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: کمپوست، کود شیمیایی، نیکل، سرب، کادمیوم، کروم، برنج

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: arezoo375@gmail.com

مقدمه

برنج یکی از غذاهای اصلی و مهم مردم جهان می‌باشد. سطح زیر کشت این گیاه زراعی در ایران در حدود ۶۳۰ هزار هکتار با تولید سالیانه ۳/۲ میلیون تن می‌باشد (۳). کودهای شیمیایی از عوامل اصلی حفظ حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌روند ولی کاربرد زیاد آنها به‌همراه عملیات مدیریتی نامناسب مقدار ماده آلی خاک را به‌شدت کاهش می‌دهد (۷).

در سال‌های اخیر استفاده از کودهای آلی نظیر کمپوست به دلیل ارزان بودن و وجود مواد مغذی در آن برای خاک‌های حاوی مواد آلی کم، رواج یافته است. کمپوست باعث افزایش بازدهی محصول، کنترل فرسایش خاک، کاهش تراکم خاک، افزایش تبادل کاتیونی خاک، افزایش تخلخل خاک و تأثیر بر اسیدیته خاک می‌گردد (۲). تحقیقات زیادی در خصوص اثرات کمپوست تولیدی از منابع مختلف بر محصولات کشاورزی در دنیا انجام شده که حاکی از مفید بودن آنها در بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک‌ها است (۶) اما به‌دلیل وجود رنگ‌ها، وسایل الکترونیکی، وسایل آرایشی، باقیمانده مواد دارویی در زباله شهری معمولاً کودهای کمپوست حاوی فلزات سنگین می‌باشند. متداول‌ترین این فلزات شامل کادمیوم، کروم، مس، روی و سرب بوده که غلظت‌شان از چند میکروگرم تا چند میلی‌گرم در هر کیلوگرم کمپوست متغیر است (۲) که استفاده دراز مدت از آن می‌تواند باعث افزایش مقدار عناصر کمیاب در حد مضر گردد (۵). با توجه به فقر شدید خاک‌های مناطق خشک از مواد آلی، استفاده از هر ترکیب دارای عناصر سنگین و از آن جمله بقایای گیاهی و کمپوست حاصل از زباله شهری بایستی مورد توجه خاص قرار بگیرد (۷).

خوشگفتارمنش و کلباسی با آزمایشی روی برنج دریافتند که با کاربرد شیرابه کمپوست، میزان سرب و نیکل در دانه و کلس برنج افزایش یافت اما تأثیر معنی‌داری بر غلظت کادمیوم و کروم گیاه نداشت (۱۴). در تحقیق دیگری با کاربرد سه ساله کمپوست شهری مقدار کروم در اندام‌هوایی کاهو و تربچه

افزایش یافت (۱). هم‌چنین مرفی و وارمن گزارش کردند که با اضافه شدن کمپوست زباله شهری به خاک، مقادیر نیکل، کروم و سرب در برگ‌های سیب زمینی افزایش یافت. البته تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گیاه یکسان نبود، دانه‌ها و میوه‌ها کمتر از برگ و ریشه، این عناصر را در خود انباشته می‌کنند (۱۹). تجمع فلزات سنگین در اندام‌های هوایی گیاهان، به‌مقدار قابل جذب آنها در خاک بستگی دارد (۱۶). بنت و همکاران بیان نمودند که فلزاتی مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم و سرب در ریشه گیاه بیشتر هستند (۱۰). هم‌چنین در تحقیق دیگری روی برنج میزان سرب در برگ و دانه کمتر از ریشه گزارش شده است (۹). این آزمایش با هدف بررسی اثر تجمعی کاربرد سه ساله کمپوست زباله شهری و کمپوست همراه با کود شیمیایی بر میزان غلظت نیکل، سرب، کادمیوم و کروم در اندام‌های مختلف گیاه تحت کشت برنج صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۸ در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهارده تیمار در سه تکرار به‌صورت مزرعه‌ای روی گیاه برنج در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. مزرعه مورد آزمایش شامل ۴۲ کرت و ابعاد کرت‌ها ۶ × ۳ و فاصله بین کرت‌ها ۵/۰ متر و فاصله بین تکرارها ۲ متر بوده است. تیمارهای این آزمایش شامل: شاهد (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار)، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ تن کمپوست بدون کود شیمیایی، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ تن کمپوست به‌همراه مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کود شیمیایی بودند. تیمارهای مذکور در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ اعمال گردیدند. از برنج رقم طارم برای مطالعه در این طرح استفاده شد. خاک تحت کشت دارای بافت رسی سیلتی بوده که برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن و هم‌چنین برخی از خصوصیات شیمیایی کمپوست زباله شهری مورد استفاده در این طرح در جدول ۱

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح و کمپوست مورد استفاده

ویژگی	واحد	خاک	کمپوست
بافت	-	رسی سیلتی	-
اسیدیته خاک (pH)	-	۷/۲	۷/۴
هدایت الکتریکی (EC)	دسی‌زیمنس بر متر	۱/۲	۱۰/۱
کربن آلی	درصد	۲/۰	۲۲/۶
نیتروژن کل	درصد	۰/۲	۲/۰
نسبت C/N	-	۹/۵	۱۱/۱
نیکل قابل جذب	میلی‌گرم در کیلوگرم	۱/۴	۶/۱
سرب قابل جذب	میلی‌گرم در کیلوگرم	۳/۳	۲۵/۵
کادمیوم قابل جذب	میلی‌گرم در کیلوگرم	۰/۱	۰/۲
کروم قابل جذب	میلی‌گرم در کیلوگرم	۰/۱	۲/۳

میانگین براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

نیکل

اثر تیمارهای مختلف کودی بر غلظت نیکل در دانه، اندام هوایی و ریشه معنی‌دار شد (جدول ۲). کمترین میزان نیکل در دانه به تیمار شاهد (۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیشترین آن به تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی (۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اختصاص یافت که از لحاظ آماری تفاوتی با تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵ درصد کود شیمیایی نداشت. در تیمارهای تلفیقی کمپوست با کود شیمیایی غلظت نیکل در دانه بیشتر از کمپوست ساده بوده است (جدول ۳).

همچنین کمترین میزان نیکل در اندام هوایی در تیمار شاهد (۳/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیشترین آن در تیمار ۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی (۷/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد که با تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری

آمده است. هنگام برداشت محصول، از هر کرت نمونه گرفته و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از شستشوی ریشه‌ها و خشک شدن در هوای آزاد، نمونه‌ها داخل پاکت گذاشته و به‌مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خشک کردن، ریشه‌ها، اندام هوایی و دانه‌ها از هم جدا شده و آسیاب شدند. میزان عناصر سنگین اندام‌های مختلف گیاه برنج از روش هضم مرطوب (wet digesting) تعیین گردید. به این صورت که ابتدا ۵/۰ گرم از نمونه گیاهی توزین و سپس ۵ سی‌سی اسید نیتریک ۱:۱ به هرکدام از نمونه‌ها اضافه گردید و به‌مدت ۱ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس ۲/۵ سی‌سی اسید پرکلریک غلیظ ۷۲-۷۰ درصد به هرکدام از نمونه‌ها اضافه و در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳ ساعت روی بخاری برقی قرار داده شد. بعد از خنک شدن و ریختن حدود ۲۰ سی‌سی آب مقطر از آن عصاره‌گیری به‌عمل آمد (۱۹) و میزان نیکل، سرب، کادمیوم و کروم موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی (Spectra AA 10-Australia) اندازه‌گیری شد. تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel انجام شد و تمامی مقایسه‌های

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تیمارهای مختلف کمپوست و کود شیمیایی بر میزان عناصر سنگین در برنج

ریشه				اندام هوایی				دانه			
کروم	کادمیوم	سرب	نیکل	کروم	کادمیوم	سرب	نیکل	کروم	کادمیوم	سرب	نیکل
۳۰۸/۶**	۷/۸**	۵۸۷۱/۹**	۴۹۹۲/۵**	۵۴۵۳/۳**	۲/۹**	۳۰۱/۵**	۱۲۴/۵**	۵/۴**	۳/۳**	۱۴۳/۸**	۱۵۶/۴**

** معنی داری در سطح احتمال ۱٪

جدول ۳. تأثیر تیمارهای مختلف کمپوست و کود شیمیایی بر میزان عناصر سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در دانه برنج

کروم	کادمیوم	سرب	نیکل	تیمار
۰/۷ ^b	۰/۵ ^f	۶/۱ ^{bcd}	۵/۸ ^{cde}	۱۵ تن کمپوست در هکتار
۰/۷ ^b	۰/۵ ^f	۶/۲ ^{bcd}	۵/۸ ^{cde}	۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵٪ کود شیمیایی
۰/۷ ^b	۰/۷ ^{ef}	۶/۴ ^{bc}	۵/۷ ^{de}	۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰٪ کود شیمیایی
۱/۳ ^a	۰/۷ ^{ef}	۶/۴ ^{bc}	۷/۱ ^{bcd}	۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵٪ کود شیمیایی
۱/۶ ^a	۰/۹ ^{de}	۶/۹ ^{abc}	۸/۰ ^{ab}	۳۰ تن کمپوست در هکتار
۱/۸ ^a	۱/۱ ^{cd}	۶/۹ ^{abc}	۷/۴ ^{abc}	۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵٪ کود شیمیایی
۱/۶ ^a	۱/۱ ^{cd}	۶/۹ ^{abc}	۷/۶ ^{ab}	۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰٪ کود شیمیایی
۰/۵ ^b	۱/۶ ^a	۶/۹ ^{abc}	۷/۵ ^{ab}	۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵٪ کود شیمیایی
۰/۶ ^b	۱/۳ ^{bc}	۷/۲ ^{ab}	۷/۶ ^{ab}	۴۵ تن کمپوست در هکتار
۱/۴ ^a	۱/۱ ^{cd}	۶/۹ ^{abc}	۸/۹ ^a	۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵٪ کود شیمیایی
۱/۴ ^a	۱/۱ ^{cd}	۷/۸ ^a	۹/۱ ^a	۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰٪ کود شیمیایی
۱/۶ ^a	۱/۴ ^{ab}	۷/۴ ^{ab}	۸/۰ ^{ab}	۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵٪ کود شیمیایی
۰/۴ ^b	۰/۵ ^f	۵/۸ ^{cd}	۴/۴ ^{ef}	کود شیمیایی
۰/۴ ^b	۰/۴ ^f	۵/۱ ^d	۴/۱ ^f	شاهد (بدون کمپوست و کود شیمیایی)

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن نمی‌باشند.

می‌رسد غلظت بالای نیکل در کود کمپوست پسماند شهری و هم‌چنین پیوند ضعیف این عنصر با مواد آلی سبب افزایش غلظت آن در گیاه شده است (۲۱). خوش‌گفتارمنش و کلباسی با تحقیقات خود روی برنج دریافتند که کاربرد کمپوست، میزان نیکل را در دانه و کلش افزایش می‌دهد (۱۴). تحقیق دیگری روی سیب زمینی نشان داد که مصرف کمپوست میزان نیکل را در برگ افزایش داد (۱۹). قلی‌پور نیز با آزمایشی روی برنج دریافت که کاربرد دو ساله کمپوست زباله شهری، میزان نیکل را در اندام هوایی افزایش داد اما روی دانه و ریشه تأثیری نداشت (۵). محققان دیگر نیز طی بررسی‌های خود روی شبدر

نداشت. میزان نیکل در این تیمارها حدود ۱/۵ برابر تیمار شاهد بوده است (جدول ۴). در ریشه نیز با کاربرد کمپوست، غلظت نیکل افزایش یافت. کمترین میزان نیکل ریشه در تیمار شاهد و کود شیمیایی و بیشترین آن در تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی (۵۸/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد که حدود ۱/۶ برابر شاهد افزایش یافت. میزان نیکل تجمع یافته در ریشه برنج بیشتر از دانه و اندام هوایی بوده است (جدول ۵). افزایش کمپوست پسماند شهری باعث افزایش معنی‌دار غلظت نیکل کاه و کلش دانه گیاه سیاه دانه گردید. به‌نظر

جدول ۴. تأثیر تیمارهای مختلف کمپوست و کود شیمیایی بر میزان عناصر سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در اندام هوایی برنج

کروم	کادمیوم	سرب	نیکل	تیمار
۲۹/۲ ^{bcd}	۰/۵ ^d	۷/۴ ^{fg}	۴/۵ ^{de}	۱۵ تن کمپوست در هکتار
۱۹/۴ ^{de}	۰/۵ ^d	۷/۴ ^{fg}	۵/۱ ^{cd}	۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵٪ کود شیمیایی
۱۵/۹ ^e	۰/۵ ^d	۹/۰ ^{def}	۵/۳ ^{bcd}	۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰٪ کود شیمیایی
۷۷/۱ ^a	۰/۸ ^c	۱۰/۱ ^{cde}	۷/۹ ^a	۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵٪ کود شیمیایی
۵۶/۷ ^{ab}	۱/۰ ^b	۸/۶ ^{ef}	۷/۱ ^{ab}	۳۰ تن کمپوست در هکتار
۵۴/۹ ^{abc}	۰/۸ ^{bc}	۹/۳ ^{de}	۶/۵ ^{abc}	۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵٪ کود شیمیایی
۴۶/۱ ^{bcd}	۱/۱ ^b	۱۰/۴ ^{bcde}	۶/۷ ^{abc}	۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰٪ کود شیمیایی
۲۸/۳ ^{cde}	۱/۱ ^b	۱۲/۹ ^a	۷/۸ ^a	۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵٪ کود شیمیایی
۷۶/۱ ^a	۱/۱ ^b	۱۱/۶ ^{abc}	۷/۱ ^{ab}	۴۵ تن کمپوست در هکتار
۱۵/۹ ^{cd}	۱/۱ ^b	۱۲/۲ ^{ab}	۷/۱ ^{ab}	۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵٪ کود شیمیایی
۲۴/۸ ^{de}	۱/۴ ^a	۱۱/۸ ^{abc}	۷/۱ ^{ab}	۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰٪ کود شیمیایی
۱۵/۹ ^e	۱/۵ ^a	۱۰/۶ ^{bcd}	۶/۳ ^{abc}	۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵٪ کود شیمیایی
۱۴/۲ ^e	۰/۴ ^d	۶/۲ ^g	۴/۰ ^{de}	کود شیمیایی
۱۰/۶ ^e	۰/۴ ^d	۵/۶ ^g	۳/۲ ^e	شاهد (بدون کمپوست و کود شیمیایی)

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن نمی‌باشند.

جدول ۵. تأثیر تیمارهای مختلف کمپوست و کود شیمیایی بر میزان عناصر سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در ریشه برنج

کروم	کادمیوم	سرب	نیکل	تیمار
۵/۳ ^b	۱/۲ ^{cd}	۳۶/۷ ^{de}	۳۱/۳ ^b	۱۵ تن کمپوست در هکتار
۷/۶ ^{ab}	۱/۶ ^{bc}	۴۴/۳ ^{bcd}	۴۵/۴ ^{ab}	۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵٪ کود شیمیایی
۸/۵ ^{ab}	۱/۴ ^{cd}	۴۰/۹ ^{cde}	۳۴/۷ ^{ab}	۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰٪ کود شیمیایی
۱۱/۵ ^{ab}	۱/۹ ^{ab}	۴۱/۸ ^{cde}	۴۳/۱ ^{ab}	۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵٪ کود شیمیایی
۶/۶ ^b	۱/۴ ^{cd}	۳۸/۳ ^{cde}	۳۱/۶ ^b	۳۰ تن کمپوست در هکتار
۷/۱ ^{ab}	۱/۶ ^{bc}	۴۱/۶ ^{cde}	۳۵/۱ ^{ab}	۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵٪ کود شیمیایی
۱۱/۱ ^{ab}	۱/۶ ^{bc}	۴۱/۲ ^{cde}	۵۸/۱ ^a	۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰٪ کود شیمیایی
۱۱/۴ ^{ab}	۱/۶ ^{bc}	۴۴/۰ ^{bcd}	۳۷/۲ ^{ab}	۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵٪ کود شیمیایی
۱۰/۹ ^{ab}	۲/۱ ^a	۵۱/۷ ^{ab}	۴۸/۷ ^{ab}	۴۵ تن کمپوست در هکتار
۱۱/۱ ^{ab}	۱/۶ ^{bc}	۴۷/۶ ^{bc}	۴۱/۲ ^{ab}	۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵٪ کود شیمیایی
۱۲/۹ ^{ab}	۱/۶ ^{bc}	۴۷/۴ ^{bc}	۳۹/۳ ^{ab}	۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰٪ کود شیمیایی
۱۶/۰ ^a	۱/۶ ^{bc}	۵۹/۷ ^a	۴۶/۴ ^{ab}	۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵٪ کود شیمیایی
۵/۱ ^b	۱/۲ ^{cd}	۳۴/۳ ^{de}	۲۹/۵ ^b	کود شیمیایی
۴/۵ ^b	۱/۱ ^d	۳۲/۷ ^e	۲۶/۹ ^b	شاهد (بدون کمپوست و کود شیمیایی)

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن نمی‌باشند.

به این نتیجه رسیدند که کمپوست زباله شهری، مقدار نیکل را در گیاه شبدر افزایش داد (۱۸).

سرب

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر تیمارهای مختلف کودی بر غلظت سرب در دانه، اندام هوایی و ریشه در سطح ۱ درصد معنی دار شد. در دانه کمترین غلظت سرب در تیمار شاهد (۵/۱ میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشترین آن در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی (۷/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. به عبارتی در این تیمار میزان سرب حدود ۵۳ درصد افزایش یافت. در تمامی تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی با کمپوست، میزان سرب بیشتر از تیمار کمپوست ساده بوده است. همچنین با افزایش مصرف کمپوست میزان سرب نیز افزایش یافت (جدول ۳).

کمترین غلظت سرب در اندام هوایی برنج در تیمار شاهد (۵/۶ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد که از لحاظ آماری تفاوتی با تیمار کود شیمیایی نداشت (جدول ۴). با مصرف کمپوست، غلظت سرب افزایش یافت و در تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی به بیشترین میزان خود رسید (۱۲/۹ میلی گرم بر کیلوگرم). همچنین در تیمارهای تلفیقی کمپوست با کود شیمیایی، غلظت سرب بیشتر از کمپوست ساده بوده است (جدول ۴).

در ریشه نیز کمترین غلظت سرب در تیمار شاهد و بیشترین آن در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی (۵۹/۷ میلی گرم بر کیلوگرم) اندازه گیری شده است. این تیمار میزان سرب را نسبت به شاهد حدود ۸۲٪ افزایش داد. غلظت سرب نیز در ریشه بیشتر از اندام هوایی و دانه برنج است (جدول ۵).

مرفی و وارمن گزارش کردند که با اضافه شدن کمپوست زباله شهری به خاک، میزان سرب در برگ‌های سیب‌زمینی افزایش یافت (۱۹). مفتون و همکاران با آزمایشی روی اسفناج دریافتند که با اضافه کردن کمپوست به خاک، میزان جذب

سرب در برگ‌های اسفناج افزایش یافت (۱۵). محققان با تحقیقات خود روی برنج دریافتند که کاربرد شیرابه کمپوست، میزان سرب را در دانه و کلش افزایش داد (۱۴). بنت و همکاران نیز گزارش کردند که فلزاتی مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم و سرب در ریشه گیاه بیشتر هستند (۱۰). بهمنیار با بررسی‌های خود روی گیاه برنج دریافت که میزان سرب در برگ و دانه کمتر از ریشه است (۹). محققان دیگر نیز با بررسی‌های خود روی ذرت به همین نتیجه دست یافتند (۳). کاباتا پندیاس و پندیاس بیان نمودند، اگرچه سرب در خاک خیلی محلول نیست، اما عمدتاً به وسیله تارهای کشنده جذب و به میزان قابل توجهی در دیواره‌های سلولی ریشه ذخیره می‌شود (۱۳). تجمع فلزات سنگین در اندام‌های هوایی گیاهان، به مقدار قابل جذب آنها در خاک بستگی دارد (۱۶). همچنین هودا بیان نمود، فاکتورهای زیادی مانند pH، شرایط کاهشی خاک، قدرت یونی، حضور سایر نمک‌ها در محلول خاک و یون‌های رقیب قابلیت دسترسی فلزات سنگین را در خاک کنترل می‌کنند (۱۲).

کادمیوم

جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که کاربرد تیمارهای مختلف کودی بر میزان کادمیوم در دانه، اندام هوایی و ریشه معنی دار شده است. کمترین میزان کادمیوم در دانه در تیمار شاهد (۰/۴ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد که تفاوتی با تیمار کود شیمیایی نداشت. با افزایش کمپوست، میزان کادمیوم افزایش یافت و به بیشترین میزان خود در تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی (۱/۶ میلی گرم بر کیلوگرم) رسید. در تمامی تیمارهای تلفیقی به جز ۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵ و ۵۰ درصد کود شیمیایی، کاربرد کمپوست همراه با کود شیمیایی غلظت کادمیوم در دانه برنج را بیشتر از تیمار کمپوست ساده افزایش داده است (جدول ۳).

میزان کادمیوم در اندام هوایی برنج نیز با افزایش کاربرد کمپوست زباله شهری، افزایش یافت. کمترین مقدار آن در تیمار

کروم

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر تیمارهای مختلف کودی بر میزان کروم دانه، اندام هوایی و ریشه معنی دار شده است. در دانه کمترین غلظت کروم در تیمار شاهد (۰/۴ میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشترین آن در تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵ درصد کود شیمیایی (۱/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. به عبارتی در این تیمار میزان کروم بیش از ۳ برابر افزایش یافت. در تمامی تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی با کمپوست، میزان کروم تجمع یافته در دانه برنج بیشتر از تیمار کمپوست ساده بوده است (جدول ۳).

در اندام هوایی برنج کمترین غلظت کروم به تیمار شاهد (۱۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشترین میزان آن به تیمار ۱۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی اختصاص داشت که از لحاظ آماری با تیمار ۴۵ تن کمپوست تفاوتی نداشت. همچنین با افزایش مقدار کمپوست مصرفی غلظت کروم نیز افزایش یافت (جدول ۴).

کمترین غلظت کروم در ریشه نیز در تیمار شاهد (۴/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشترین آن در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی (۱۶/۰ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شده است. این تیمار میزان کروم را نسبت به شاهد حدود ۲/۵ برابر افزایش داد. در واقع غلظت کروم در اندام هوایی بیشتر از ریشه و دانه برنج مشاهده شد (جدول ۵). هاتاچارایا و همکاران با استفاده از کمپوست زباله شهری در اراضی برنج کاری به این نتیجه رسیدند که مقدار عنصر کروم در کاه و کلش برنج نسبت به دانه بیشتر بود (۱۱). ژلزاکو و ورمین مشاهده کردند که با افزایش میزان مواد آلی، غلظت و قابلیت جذب کروم توسط گیاه افزایش می یابد (۲۲). محققان دیگری با مطالعات خود دریافتند که بیشتری میزان کروم در ریشه و اندام هوایی تربچه و کاهو با کاربرد ۴۰ تن کمپوست زباله شهری حاصل شد (۱).

شاهد (۰/۴ میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشترین مقدار آن در تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی (۱/۵ میلی گرم بر کیلوگرم) به دست آمد. در واقع در این تیمار غلظت کادمیوم حدود ۳ برابر نسبت به شاهد افزایش داشته است. در تمامی تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی با کمپوست، میزان کادمیوم تجمع یافته در اندام هوایی برنج بیشتر از تیمار کمپوست ساده بوده است (جدول ۴).

همچنین کمترین میزان کادمیوم در ریشه برنج در تیمار شاهد (۱/۱ میلی گرم بر کیلوگرم) و بیشترین آن در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار ساده (۲/۱ میلی گرم بر کیلوگرم) حاصل شد. به عبارتی در این تیمار میزان کادمیوم حدود ۹۹ درصد افزایش یافت. در تیمارهای ۱۵ و ۳۰ تن کمپوست در هکتار، کاربرد تیمارهای تلفیقی کمپوست با کود شیمیایی میزان کادمیوم افزایش نشان داد اما در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار، کاهش یافت. ضمناً با افزایش کمپوست مقدار کادمیوم در ریشه برنج افزایش پیدا کرد (جدول ۵).

علت عدم تغییر مقدار کادمیوم در تیمارهای ۱۵ تن کمپوست در هکتار نسبت به شاهد، میزان کم آن در کمپوست و قدرت جذب زیاد خاک می تواند باشد. عامل دیگری که می تواند در این خصوص مؤثر باشد این است که پیوندی که کادمیوم با مواد آلی تشکیل می دهد ضعیف بوده و کادمیوم انتقال نیافته است اما با افزایش مقدار کمپوست به ۳۰ و ۴۵ تن در هکتار میزان کادمیوم افزایش یافت. محققان علت حرکت پذیری بالای فلزات سنگین در خاک را کاهش pH در اثر کاربرد کمپوست می دانند (۲). موسوی و همکاران طی تحقیقات خود روی برنج دریافتند که کاربرد سه ساله کمپوست باعث افزایش معنی دار کادمیوم در دانه برنج شده است (۱۷). تحقیق دیگری روی برنج نشان داد که کاربرد سه ساله کمپوست میزان عناصر سنگین از جمله کادمیوم را در اندام هوایی برنج افزایش داد (۷). قلی پور با آزمایشی روی برنج دریافت که کاربرد تلفیقی کمپوست با کود شیمیایی سبب افزایش میزان کادمیوم در دانه و اندام هوایی گیاه شده است (۵).

نتیجه گیری

تیمارهای مختلف کودی اثر معنی داری بر افزایش غلظت نیکل، سرب، کادمیوم و کروم در دانه، اندام هوایی و ریشه برنج داشته است. کمترین میزان عناصر سنگین در تیمار شاهد مشاهده شد. کاربرد تیمارهای تلفیقی کمپوست با کود شیمیایی، غلظت این عناصر را بیشتر از تیمارهای کمپوست ساده افزایش داد. هم‌چنین با افزایش کاربرد کمپوست، میزان عناصر سنگین هم افزایش یافت. در کل، میزان این عناصر در ریشه بیشتر از دانه و اندام هوایی بوده است. هم‌چنین میزان عناصر نیکل و کادمیوم در دانه بیشتر از اندام هوایی بوده ولی در کاه و کلش سرب و کروم بیشتری نسبت به دانه تجمع یافت. بیشترین میزان نیکل و سرب (به ترتیب ۹/۱ و ۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در دانه در تیمار ۴۵ تن کمپوست در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود

شیمیایی به دست آمده است. هم‌چنین بیشترین میزان کادمیوم دانه (۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۷۵ درصد کود شیمیایی و بیشترین میزان کروم دانه (۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۳۰ تن کمپوست در هکتار همراه با ۲۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد. در واقع مصرف مقادیر مختلف کمپوست به مدت سه سال پیوسته موجب افزایش حدود ۱/۵ برابری عناصر سنگین در دانه و ۳ برابری در اندام هوایی و ریشه گردید. لذا کاربرد بلند مدت کمپوست زباله شهری باید با بررسی بیشتری صورت گیرد تا بتوان در حد امکان هم از فواید استفاده از کمپوست بهره برد و هم خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف کمپوست به‌ویژه برای گیاهان و آب زیرزمینی را کاهش داد.

منابع مورد استفاده

۱. بهمنیار، م. ع.، س. رحیمی آلاشتی و م. قاجار سپانلو. ۱۳۹۰. اثر مقدار و دوره‌های مصرف کمپوست زباله شهری بر غلظت کروم در اندام‌های گیاهی کاهو و تربچه. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.
۲. رستگار، الف.، الف. جنیدی جعفری، م. فرزاد کیا، ر. رضائی کلانتری، الف. آبادی و ع. قلی‌زاده. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کمپوست مواد زائد شهری بر میزان نشت و جذب فلزات سنگین از خاک شنی رسی لومی. مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار ۱۹(۳): ۲۷۶-۲۸۶.
۳. سعادت، ک.، م. بارانی مطلق، ع. قاسم‌نژاد و الف. دردی‌پور. ۱۳۹۰. تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب سرب توسط گیاه ذرت. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، تبریز.
۴. قربانی، م. ح.، ر. حسینی و م. زاهد. ۱۳۸۶. واکنش رشد رویشی ده رقم برنج به تنش شوری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی (ویژه‌نامه زراعت و اصلاح نباتات). جلد ۱۴(۵): ۷۸-۸۵.
۵. قلی‌پور، الف. ۱۳۸۹. تأثیر کاربرد دوساله کمپوست زباله شهری بر فراهمی عناصر غذایی و وضعیت عناصر سنگین در خاک و اندام‌های مختلف گیاه برنج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته علوم خاک. دانشکده علوم زراعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۸۸ صفحه.
۶. قیامتی، گ. و ع. آستارایی. ۱۳۸۸. تأثیر کمپوست زباله شهری و گوگرد بر عملکرد چغندر قند و خصوصیات شیمیایی خاک. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۷(۱): ۱۶۲-۱۵۳.
۷. موسوی، م. ۱۳۸۹. تأثیر کودهای آلی مختلف (کمپوست، ورمی‌کمپوست و لجن فاضلاب) بر توزیع عناصر سنگین (کادمیوم، کروم، نیکل و سرب) در خاک و گیاه برنج و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم خاک. دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۱۵ صفحه.

۸. میرزایی تالار پشته، ر.، ج. کامبوزیا، ح. صباحی و ع. م. دامغانی. ۱۳۸۸. اثر کاربرد کودهای آلی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و تولید محصول و ماده خشک گوجه‌فرنگی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۷ (۱): ۲۴۸-۲۵۷.
9. Bahmanyar, M. A. 2008. Cadmium, nickel, chromium, and lead levels in soils and vegetables under long-term irrigation with industrial wastewater. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 39: 2068-2079.
10. Bennett, J. P., E. Chiriboga, J. Coleman and D. M. Waller. 2000. Heavy metals in wild rice from northern Wisconsin. *The Sci. of the Total Environ.* 246: 261-269.
11. Bhattachayya, P., A. Chakraborty, K. Chakrabati, S. Tripathy and M. A. Powell. 2005. Chromium uptake by rice and accumulation in soil amended in with municipal solid waste compost. *Chemosphere* 60: 1481-1486.
12. Hooda, R. S. 2010. Fertilizer-Borne Trace Element Contaminants in Soils. Pp. 145. Trace elements in soils. John Wiley and Sons Pub., USA.
13. Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 2001. Trace Element in Soil and Plant. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, Washington.
14. Khoshgofarmanesh, A. H. and M. Kalbasi. 2002. Effect of municipal waste leachate on soil properties and growth and yield of rice. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 33 (13 and 14): 2001-2020.
15. Maftoun, M., F. Moshiri, N. Karimian and A. Ronaghi. 2004. Effects of two organic waste in combination with phosphorus on growth and chemical composition of spinach and soil properties. *J. Plant Nutr.* 27(9): 1635-1651.
16. Mireles, A. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico City. *Nucl. Instruments and Methods in Phys. Res.* 219-220: 187-190.
17. Mousavi, S. M., M. A. Bahmanyar and H. Pirdashti. 2010. Lead and cadmium availability and uptake by rice plant in response to different biosolids and inorganic fertilizers. *Am. J. Agric. and Biol. Sci.* 5: 25-31.
18. Murillo, J. M., F. Carbera and R. Lopez. 1997. Response of clover *Trifolium fragiferum* L. cv. salina to a heavy urban compost application. *Compost Sci. and Utiliz.* 5: 15-25.
19. Murphy, C. and P.R. Warman. 2001. Effect of MSW compost application on low-bush blueberry soil and leaf tissue trace elements. *In: Proceedings of the 6th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Guelph*, p. 166.
20. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd., The Chemistry of Submerged Soils. *Adv. in Agron.* 24: 26-92.
21. Smith, S. R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environ. Intl.* 35: 142-156.
22. Zheljzkov, V. D. and P. R. Warman. 2004. Source-separated municipal solid waste application to Swiss chard and basil. *Environ Qual.* 33: 542-552.