

بررسی قابلیت کودی اندازه ذرات مختلف کمپوست تولیدی از زباله‌های خانگی شهر سنندج

زاهد شریفی^{۱*} و سید محمدطاهر حسینی^۲

۱ و ۲. استادیار و مربی، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۵/۱۲)

چکیده

در این پژوهش قابلیت (پتانسیل) کودی کمپوست تولیدی از زباله‌های خانگی شهر سنندج با بررسی چگونگی توزیع عناصر سنگین، عناصر غذایی و شوری در اندازه ذرات مختلف بررسی شد. بنابراین سه نمونه تصادفی (هرکدام دارای ۶ زیرنمونه) از کارخانه کمپوست‌سازی شهر سنندج گردآوری و به روش الک خشک به ۷ بخش یا جزء (فراکشن) یعنی >2 ، $1/2-1/8$ ، $1/4-1/8$ ، $1/2-1/4$ ، $1/1-1/2$ و $1/1 < \text{mm}$ بخش‌بندی شدند و خود نمونه اصلی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که به طور عموم با کاهش اندازه ذرات، میزان pH گرایش به کاهش داشته، اما دیگر پارامترهای مورد بررسی گرایش به افزایش داشتند. به گونه‌ای که بیشترین میزان EC، Zn، Cu، Cd، Pb، Ni، Cr، Mn، N، P، Ca و K به ترتیب برابر با $9/1$ ، $4/4$ ، $4/5$ ، $4/2$ ، $315/5$ ، $55/1$ ، $40/7$ ، $468/5$ ppm، 3 ، $1/5$ ، $6/9$ و $0/9$ درصد در کوچک‌ترین بخش ($<1 \text{ mm}$) به دست آمد. در حالی که کمترین میزان این پارامترها در درشت‌ترین بخش ($>2 \text{ mm}$) به دست آمد. رویهم‌رفته نتایج نشان داد که ذرات $<1/4 \text{ mm}$ با میزان بالای عناصر سنگین و شوری و ذرات $>2 \text{ mm}$ با میزان بالای ناخالصی‌ها (خرده‌شیشه، $21/2$ برابر بیش از حد مجاز) مسئول کاهش کیفیت کمپوست مورد بررسی بوده که با جداسازی این ذرات می‌توان کیفیت این کمپوست را به گونه‌ای چشمگیر بهبود بخشید و زمینه استفاده و باز چرخ سالم آن در کشاورزی را به وجود آورد.

واژه‌های کلیدی: بخش‌بندی اندازه ذرات، شوری، عناصر سنگین، کمپوست زباله‌های شهری، ناخالصی.

مقدمه

استفاده از کمپوست در زمین‌های کشاورزی، یکی از روش‌های کارآمد برای دفع زباله‌ها از محیط زیست است (Ojeda et al., 2008)، زیرا این ترکیبات، سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، مانند تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری، اسیدیته، غلظت عناصر غذایی، میزان ماده آلی و فعالیت موجودهای زنده خاک می‌شوند

(Yongjie & Yangsheng, 2005; Guidi et al., 1983). برای نمونه Sharifi et al. (2011) گزارش کردند که کاربرد کمپوست تولیدی از زباله‌های خانگی شهری در خاک سبب افزایش چشمگیر آهن و روی قابل جذب خاک و همچنین افزایش عملکرد و میزان عناصر یادشده در گیاه ذرت، یونجه و گل جعفری کاشته‌شده در این خاک می‌شود. همچنین Zamani Babgohari et al. (2011) گزارش کردند که کاربرد

نیاز گیاهان در اندازه ذرات مختلف کمپوست تولیدی از زباله‌های خانگی شهری چنین گزارش کردند، ذرات کوچک‌تر از ۰/۸ mm به دلیل میزان به نسبت کم عناصر غذایی و همچنین میزان بالای عناصر سنگین بیش از حد مجاز، باید از کود جداسازی شوند تا قابلیت (پتانسیل) کودی کمپوست مورد نظر افزایش یابد. بنابراین این پژوهش با اندازه‌گیری میزان ناخالصی‌ها و همچنین چگونگی توزیع عناصر سنگین، عناصر غذایی و شوری در اندازه ذرات مختلف کمپوست تولیدی از زباله‌های خانگی شهر سنندج و مقایسه آنها با استانداردهای معتبر جهانی، میزان قابلیت کودی اندازه ذرات مختلف این کود را برای جداسازی ذراتی که قابلیت کودی پایین دارند ارزیابی کرده تا زمینه استفاده از این کمپوست در کشاورزی را که از بدو تأسیس کارخانه بدون استفاده مانده‌اند فراهم سازد.

مواد و روش‌ها

معرفی پایگاه (سایت)، روش فرآوری کمپوست و

نمونه‌برداری از آن

کمپوست مورد بررسی ترکیبی از مواد قابل بازیافت و غیر قابل بازیافت به صورت مواد آلی (۷۱ درصد)، پلاستیک (۸ درصد)، کاغذ و مقوا (۶ درصد)، پارچه (۳ درصد)، شیشه (۲ درصد)، فلزها (۱ درصد)، چوب (۱ درصد) و دیگر مواد (۸ درصد) است، که از سطح شهر سنندج گردآوری شده بود (Rezaee et al., 2014). شهر سنندج (مرکز استان کردستان) با جمعیتی برابر با ۳۳۵۰۰۰ نفر (سرشماری ۱۳۹۰) و مساحت ۵۰۲۳ کیلومترمربع و با ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا در غرب ایران واقع شده است. میانگین سالیانه دما، بارندگی و رطوبت نسبی در این شهر به ترتیب ۱۴/۵ درجه سلسیوس، ۳۱۹ میلی‌متر و ۴۸/۵ درصد است و بارش‌ها اغلب در اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد. همچنین جهت باد غالب در این شهر از جنوب به شمال شهر است (Rezaee et al., 2014). در این شهر روزانه در حدود ۳۲۰ تن زباله خانگی تولید می‌شود، به گونه‌ای که سرانه روزانه تولید زباله هر سنندجی در حدود ۹۵۰ گرم است، که این

خاکی کمپوست تولیدی از زباله‌های خانگی شهر اصفهان می‌تواند میزان ماده آلی و نیتروژن خاک و عملکرد ذرت کشت‌شده در این خاک را به گونه‌ای چشمگیر افزایش دهد. از سوی دیگر گزارش‌های زیادی وجود دارد که کاربرد متوالی و درازمدت این نوع کمپوست‌ها می‌تواند سبب شوری و آلودگی خاک به عناصر سنگین شود که خود می‌تواند آثار زیانباری بر بوم‌نظام (اکوسیستم)‌های کشاورزی، رشد و توسعه گیاهان، آلودگی زنجیره غذایی و آب‌های سطحی و زیرزمینی داشته باشد و در نهایت می‌تواند سلامت انسان، حیوان و جانداران خاک را به مخاطره بیندازد (Madrid et al., 2007; Hargreaves et al., 2008; Achiba et al., 2010). برای نمونه (Achiba et al., 2010) گزارش کردند، اگرچه کاربرد پیوسته ۵ سال کمپوست تولیدی از زباله‌های شهری سبب افزایش نیتروژن کل و ماده آلی در خاک شده بود، اما میزان شوری و غلظت عناصر سنگین را نیز در خاک افزایش داده بود. همچنین Jorado et al. (2006) گزارش کردند، میزان قابل دسترس مس، سرب و نیکل با افزایش میزان کاربرد کمپوست تولیدی از زباله‌های شهری افزایش می‌یابد. Businelli et al. (2009) نیز گزارش کردند، کاربرد کمپوست تولیدی از زباله‌های شهری سبب افزایش میزان چشمگیری از عناصر سنگین به ویژه مس، روی و سرب در خاک سطحی می‌شود. پژوهش‌های بسیاری نیز وجود دارند که نتایج آنها نشان می‌دهد، میزان عناصر موجود در این نوع کمپوست‌ها به اندازه ذرات کود وابسته است، به گونه‌ای که با کاهش اندازه ذرات کود میزان عناصر سنگین در واحد وزن خشک کود افزایش می‌یابد (Hamelers, 2003; Zhao et al., 2012; Veeken & Barrel, 2014). بنابراین به تازگی تلاش‌های زیادی برای شناسایی و جداسازی ذراتی از کود که دارای بیشترین آلودگی در رابطه با عناصر سنگین و دیگر ناخالصی‌ها هستند، صورت گرفته است که سبب پالایش کود از مواد زیان‌آور و افزایش کیفیت آن بر مبنای یک جداسازی فیزیکی شوند. برای نمونه Zhao et al. (2012) با اندازه‌گیری میزان عناصر سنگین و عناصر غذایی مورد

۴ اندازه مختلف یعنی $4/8 >$ ، $2-4/8$ ، $2-1/2$ و $1/2\text{mm}$ بخش بندی شدند. سپس هر بخش وزن و به صورت درصدی از کل وزن خشک کمپوست بیان شد.

تجزیه های شیمیایی انجام شده در این پژوهش شامل، میزان کربن آلی کل به روش خشک، یعنی سوزاندن در کوره (Nelson & Sommers, 1996)، میزان pH و شوری هر دو در دروایه (سوسپانسیون) نسبت ۱ به ۵ (کود به آب) به ترتیب به کمک دستگاه pH متر (Model 744, Metrohm Pty Ltd., Herisau, Switzerland) و EC متر (Model 712, Metrohm Pty Ltd., Herisau, Switzerland) اندازه گیری شدند. میزان کل عناصر به روش خاکستر خشک و سپس عصاره گیری با محلول $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$ (1:1) انجام شد (Jones, 2001). عصاره های تهیه شده تا انجام آزمایش ها در دمای 4°C در یخچال نگهداری شدند. سپس در عصاره های به دست آمده میزان کل کلسیم و منیزیم به روش ترکیب سنجی یا کمپلکسومتری (Botha & Webb, 1952)، پتاسیم به روش نشر اتمی به کمک دستگاه نورسنج شعله ای (فلیم فتومتر) (Model BWB-1, Technology, UK Ltd.)، فسفر به روش رنگ سنجی (Murphy & Riley, 1962) به کمک دستگاه طیف سنج نوری (اسپکتروفوتومتر) (Model Cary 50, Varian Australia Pty Ltd. Mulgrave, Victoria) و همچنین میزان کل عناصر سنگین (منگنز، آهن، مس، کروم، روی، سرب، نیکل و کادمیم) به روش جذب اتمی به کمک دستگاه جذب اتمی (Model Varian Spectr. AA 220, Varian Australia Pty Ltd. Mulgrave, Victoria) اندازه گیری شدند. همچنین نیتروژن کل به روش کجلدال اندازه گیری شد (Bremener & Mulvaney, 1982).

داده های به دست آمده با بهره گیری از نرم افزار SAS9 برای به دست آوردن میانگین و خطای استاندارد تجزیه و تحلیل آماری شدند. همچنین برای مقایسه میانگین میزان مشخصه های مورد بررسی میان اندازه ذرات مختلف، از آزمون چند دامنه دانکن استفاده شد. همچنین نمودارهای مربوطه نیز با استفاده از نرم افزار EXCEL رسم شدند.

میزان به ترتیب ۲۰۰ و ۵۰۰ گرم بیش از استاندارد سرانه تولید روزانه زباله در ایران (۷۰۰ گرم) و جهان (۴۵۰ گرم) است. روزانه در حدود ۲۰۰ تن از این زباله ها که از مبداء جداسازی نشده است، به کارخانه کمپوست سازی که در ۱۱ کیلومتری جاده سنندج- کامیاران قرار دارد، منتقل می شود و بقیه دفن می شوند. در محل کارخانه بیشتر ناخالصی ها اعم از کارتن، پلاستیک و غیره با دستگاه و دستی تا آنجایی که امکان داشته باشد جداسازی می شوند. آنچه باقی مانده پس از جداسازی که بیشتر ترکیبات آلی است، به صورت ردیف های طولانی و ارتفاع در حدود ۷۵ و عرض ۱۰۰ سانتی متر به صورت هوازی یعنی روش ویندرو (Windrow) روباز در محل فرآوری کمپوست، حدود ۳ ماه پهن می شوند. سپس کمپوست های فرآوری شده در محل کارخانه در فضای باز گردآوری می شوند، که تا کنون بدون استفاده مانده است. بنابراین در این پژوهش از محصول سال های ۸۹ تا ۹۲ در فروردین ماه ۱۳۹۲، سه نمونه تصادفی برداشته شد، که هر نمونه دارای ۶ زیر نمونه ۲ کیلوگرمی (۱۲ کیلوگرم) بود، پس از مخلوط کردن نمونه های اصلی درون کیسه های پلاستیکی تمیز ریخته شده و پس از درج مشخصات بی درنگ برای بخش بندی اندازه ذرات آن و انجام تجزیه های کنترل کیفی به آزمایشگاه منتقل شدند.

نمونه ها پس از خشک شدن در آون در دمای ۵۵ درجه سلسیوس از مجموعه الک های ۲، ۱/۲، ۰/۸، ۰/۴، ۰/۲ و ۰/۱ mm به صورت خشک عبور داده شدند. به طوری که هر نمونه به ۷ بخش اندازه ذرات (فراکشن) یعنی $2 >$ ، $2-1/2$ ، $1/2-1/2$ ، $1/2-0/8$ ، $0/4-0/8$ ، $0/2-0/4$ و $0/1-0/2$ mm بخش بندی شد و خود نمونه اصلی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

ناخالصی های موجود در کمپوست شامل مواد غیر قابل کمپوست شامل خرده شیشه، پلاستیک و سنگریزه در ۱۰۰ گرم وزن خشک نمونه ها به روش دستی و با دقت تمام جداسازی شدند. برای تعیین چگونگی توزیع اندازه ذرات ناخالصی های شیشه و سنگریزه هر دوی آنها به طور خشک از مجموعه الک های ۴/۸، ۲، ۱/۲ و ۱/۲ mm عبور داده شدند و به

نتایج و بحث

توزیع اندازه ذرات و میزان ناخالصی‌ها

همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، بیشترین میزان ذرات در بخش >2 mm به دست آمد، که ۶۵/۳ درصد از کل ذرات را شامل می‌شد. اما کمترین میزان مربوط به بخش <0.1 mm بود، که ۲/۰ درصد از کل ذرات را تشکیل می‌داد. به طور عموم

با کاهش اندازه ذرات میزان درصد وزنی ذرات کاهش یافت؛ به گونه‌ای که اختلاف معنی‌داری در پایه آماری ۵ درصد میان میزان ذرات بزرگ‌تر از 2 mm و دیگر بخش‌ها وجود داشت. اما در پایه آماری یادشده در همه بخش‌های 2 mm اختلاف معنی‌داری در پایه آماری ۵ درصد وجود نداشت (جدول ۱)، نتایج این پژوهش با نتایج Saha et al. (2013) هماهنگی دارد.

جدول ۱. عناصر غذایی، pH و EC و درصد وزنی اندازه ذرات مختلف کمپوست بررسی شده (میانگین \pm خطای استاندارد)^۱

بخش‌ها	EC	pH	O.C	وزن بخش	Fe	N	P	K	Ca	Mg
(mm)	(dSm ⁻¹)	-	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
شاهد	۶/۱۱±۱/۱ ^c	۷/۷±۰/۱۰ ^a	۲۱/۴±۳/۹ ^a	-	۱/۵±۰/۱۷ ^{bcd}	۱/۸±۰/۱۴ ^{bc}	۱/۱±۰/۰۵ ^{ab}	۰/۵±۰/۱۳ ^b	۵/۴±۰/۹۵ ^{ab}	۱/۳±۰/۱۲ ^a
F > 2	۳/۴±۰/۹ ^d	۷/۸±۰/۰۲ ^a	۲۹/۳±۰/۶ ^a	۶۵/۳±۷/۱ ^a	۱/۲±۰/۰۴ ^d	۲/۱±۰/۱۸ ^{bc}	۱/۰±۰/۰۳ ^b	۰/۷±۰/۱۱ ^b	۴/۳±۰/۱۳ ^b	۱/۴±۰/۲۳ ^a
F 1/2-2	۶/۳±۰/۵ ^c	۷/۶±۰/۰۶ ^a	۲۱/۲±۴/۴ ^a	۱۱/۹±۱/۵ ^b	۱/۳±۰/۱۳ ^{cd}	۲/۱±۰/۱۸ ^{bc}	۱/۰±۰/۰۶ ^b	۰/۵±۰/۰۷ ^b	۵/۱±۱/۰ ^a	۱/۶±۰/۲۲ ^a
F 0/8-1/2	۷/۱±۰/۵ ^{bc}	۷/۵±۰/۰۶ ^a	۲۴/۳±۵/۵ ^a	۶/۰±۱/۱ ^b	۱/۷±۰/۰۵ ^{abc}	۱/۶±۰/۱۹ ^c	۱/۰±۰/۰۲ ^b	۰/۷±۰/۰۳ ^b	۴/۳±۰/۱۳ ^b	۲/۰±۰/۴۱ ^a
F 0/4-0/8	۷/۴±۰/۵ ^{abc}	۷/۶±۰/۱۰ ^a	۲۱/۰±۱/۷ ^a	۸/۳±۲/۱ ^b	۱/۹±۰/۱۵ ^a	۱/۷±۰/۱۳ ^c	۱/۲±۰/۰۷ ^{ab}	۰/۶±۰/۰۱ ^b	۵/۳±۰/۱۷ ^{ab}	۲/۰±۰/۳۰ ^a
F 0/2-0/4	۸/۷±۰/۴ ^{ab}	۷/۵±۰/۰۴ ^a	۲۶/۰±۲/۶ ^a	۴/۱±۱/۳ ^b	۱/۷±۰/۰۶ ^{abc}	۲/۱±۰/۱۰ ^b	۱/۵±۰/۱۸ ^a	۰/۸±۰/۰۲ ^{ab}	۶/۱±۰/۱۵ ^{ab}	۲/۱±۰/۵۸ ^a
F 0/1-0/2	۸/۷±۰/۵ ^{ab}	۷/۶±۰/۰۴ ^a	۲۳/۳±۱/۶ ^a	۲/۲±۰/۰۸ ^b	۱/۸±۰/۰۸ ^{ab}	۲/۱±۰/۱۴ ^a	۱/۳±۰/۰۸ ^{ab}	۰/۷±۰/۰۸ ^{ab}	۵/۹±۰/۰۸ ^{ab}	۲/۲±۰/۴۰ ^a
F < 0/1	۹/۴±۰/۶ ^a	۷/۴±۰/۰۴ ^a	۲۶/۵±۱/۴ ^a	۲/۰±۰/۰۴ ^b	۱/۵±۰/۱۲ ^{bcd}	۳/۰±۰/۱۳ ^a	۱/۵±۰/۰۴ ^a	۰/۹±۰/۰۶ ^a	۶/۹±۰/۶۵ ^a	۲/۱±۰/۲۱ ^a

۱. بر اساس مقایسه میانگین چند دامنه دانکن، در هر ستون اعداد با حروف یکسان در پایه آماری ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۲. میزان ناخالصی‌های موجود در کمپوست بررسی شده (میانگین \pm خطای استاندارد)

مشخصه	بخش‌ها (%)	مجموع (%)	حد قابل قبول (بر اساس وزن خشک) (FAC, 1995)	میزان بیش از حد مجاز (برابر)
	$>4/8$ mm	$2-4/8$ mm	$1/2-2$ mm	$<1/2$ mm
سنگریزه	۷/۸±۱/۶۵	۲/۵±۰/۷۲	۰/۳±۰/۲۰	۰/۲±۰/۰۱
شیشه	۵/۱±۰/۱۷	۱۱/۶±۳/۰۴	۲/۶±۱/۵۰	۰/۴±۰/۱۷
پلاستیک	۰/۳	-	-	-
کل ناخالصی‌ها	۱۳/۲	۱۴/۱	۲/۹	۰/۴۲
	۳۰/۶	۳۰/۶	۳۰/۶	۳۰/۶

۱. در این پژوهش $4/8$ mm

اندازه ذرات این ناخالصی‌ها یک امر ضروری است. بنابراین همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، ناخالصی‌های سنگریزه و شیشه با بهره‌گیری از الک خشک به اندازه‌های $>4/8$ ، $2-4/8$ ، $1/2-2$ و $1/2$ mm بخش‌بندی شدند. نتیجه این بخش‌بندی نشان داد که در هر دو مورد بیشترین میزان این ناخالصی‌ها به ذرات بیش از 2 mm (سنگریزه و شیشه) به ترتیب ۹۷/۲ درصد و ۸۴/۰ درصد تعلق داشت. برابر استاندارد مرکز تحقیقات علوم کشاورزی و محیط زیست در رابطه با کودهای تهیه‌شده از پس‌مانده‌ها

یکی از موارد مهمی که بر کیفیت کمپوست و میزان بازاری‌پسندی آن تأثیر می‌گذارد، میزان ناخالصی‌های نامطلوب مانند خرده شیشه، پلاستیک و سنگریزه در کمپوست است. در این پژوهش میزان کل ناخالصی‌ها ۳۰/۶ درصد وزن خشک کمپوست را تشکیل داد، که شامل شیشه (۱۹/۷ درصد)، سنگریزه (۱۰/۶ درصد) و پلاستیک (۰/۳ درصد) بود (جدول ۲). برای مقایسه با حدود استاندارد و همچنین تصمیم‌گیری در رابطه با عملیات اصلاحی بعدی برای رفع ناخالصی‌های یادشده، اطلاع از چگونگی توزیع

کاهش اندازه ذرات میزان سطح ویژه و ظرفیت تبادل یونی ذره افزایش می‌یابد، بنابراین در مقایسه با ذرات درشت‌تر ذرات ریزتر می‌توانند یون‌های بیشتری را در سطح خود نگه دارند (Hinds & Lowe, 1989; Eary *et al.*, 1990; Zhao *et al.*, 2012).

بررسی چگونگی توزیع عناصر در میان اندازه ذرات مختلف

میانگین میزان عناصر غذایی و عناصر سنگین در اندازه ذرات مختلف کمپوست مورد بررسی به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ نشان داده شده است. در هماهنگی با دیگر پژوهش‌ها توزیع میزان عناصر مورد بررسی در میان اندازه ذرات مختلف یکنواخت نبود (Veeken & Hamelers, 2002; Smith, 2009; Zhao *et al.*, 2012; Paradelo & Barrel, 2014). اما به طور عموم با کاهش اندازه ذرات میزان عناصر مورد بررسی افزایش یافت. به طوری که بیشترین میزان Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Mn, N, P, Ca و K به ترتیب برابر با ۷۱۴/۴، ۴۵۰/۵، ۴/۲، ۳۱۵/۵، ۵۵/۱، ۴۰/۷، ۴۶۸/۵ ppm، ۳، ۱/۵، ۶/۹ و ۰/۹ درصد در کوچک‌ترین اندازه ذره یعنی $1/1\text{ mm}$ به دست آمد. تنها استثنای در این مورد آهن (۱/۹)، منیزیم (۲/۲) و کربن آلی کل (۲۹/۳) بود، که بیشترین میزان آنها به ترتیب در اندازه ذرات $0/4-0/8\text{ mm}$ و $2\text{ mm}>$ به دست آمد (جدول ۱ و شکل ۱). یادآوری می‌شود در رابطه با عناصر سنگین میزان روی، مس، کادمیوم، سرب، نیکل، کروم و منگنز در اندازه ذرات $0/2-0/1\text{ mm}$ به ترتیب برابر با ۶۷۷/۲، ۳۶۷/۶، ۳/۷، ۲۵۳/۱، ۵۲/۳، ۳۹/۹ و ۴۴۴/۰ ppm و میزان این عناصر در اندازه ذرات $0/4-0/2\text{ mm}$ به ترتیب برابر با ۶۵۵/۰، ۳۳۷/۷، ۳/۱، ۲۲۶/۰، ۵۵/۱، ۳۷/۹ و ۴۰۹/۰ ppm قابل توجه است (شکل ۱)؛ در حالی که کمترین میزان عناصر مورد بررسی یعنی Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Mn, Fe, P و Ca به طور میانگین به ترتیب برابر با ۳۰۴/۵، ۱۰۰/۰، ۱/۷، ۱۵۰/۰، ۳۵/۲، ۲۰/۹، ۲۶۵/۶ ppm، ۱/۲، ۱/۰ و ۴/۳ درصد در بزرگ‌ترین بخش یعنی $2\text{ mm}>$ به دست آمد. تنها استثنای در این مورد پتاسیم (۰/۵ درصد)، نیتروژن (۱/۶ درصد)، کربن آلی کل (۲۱/۳ درصد) و

(FAC, 1995)، میزان سنگریزه‌های بزرگ‌تر از ۵ mm برای استفاده از کمپوست برای هدف‌های کشاورزی باید کمتر از ۵ درصد باشد، در حالی که میزان سنگریزه در کمپوست مورد بررسی به میزان ۱/۴ برابر بیش از این حد مجاز بود (جدول ۲). همچنین برابر استاندارد یادشده میزان ناخالص‌های شیشه، پلاستیک و فلزهای بزرگ‌تر از ۲ mm جهت استفاده از کمپوست برای هدف‌های کشاورزی باید کمتر از ۰/۵ درصد باشد، در حالی که میزان این ناخالصی در کمپوست مورد بررسی به میزان ۲۱/۲ برابر بیش از این حد مجاز بود (جدول ۲). بنابراین از نظر فیزیکی وجود ناخالصی‌های شیشه و سنگریزه استفاده از این کمپوست برای هدف‌های کشاورزی را محدود می‌سازد.

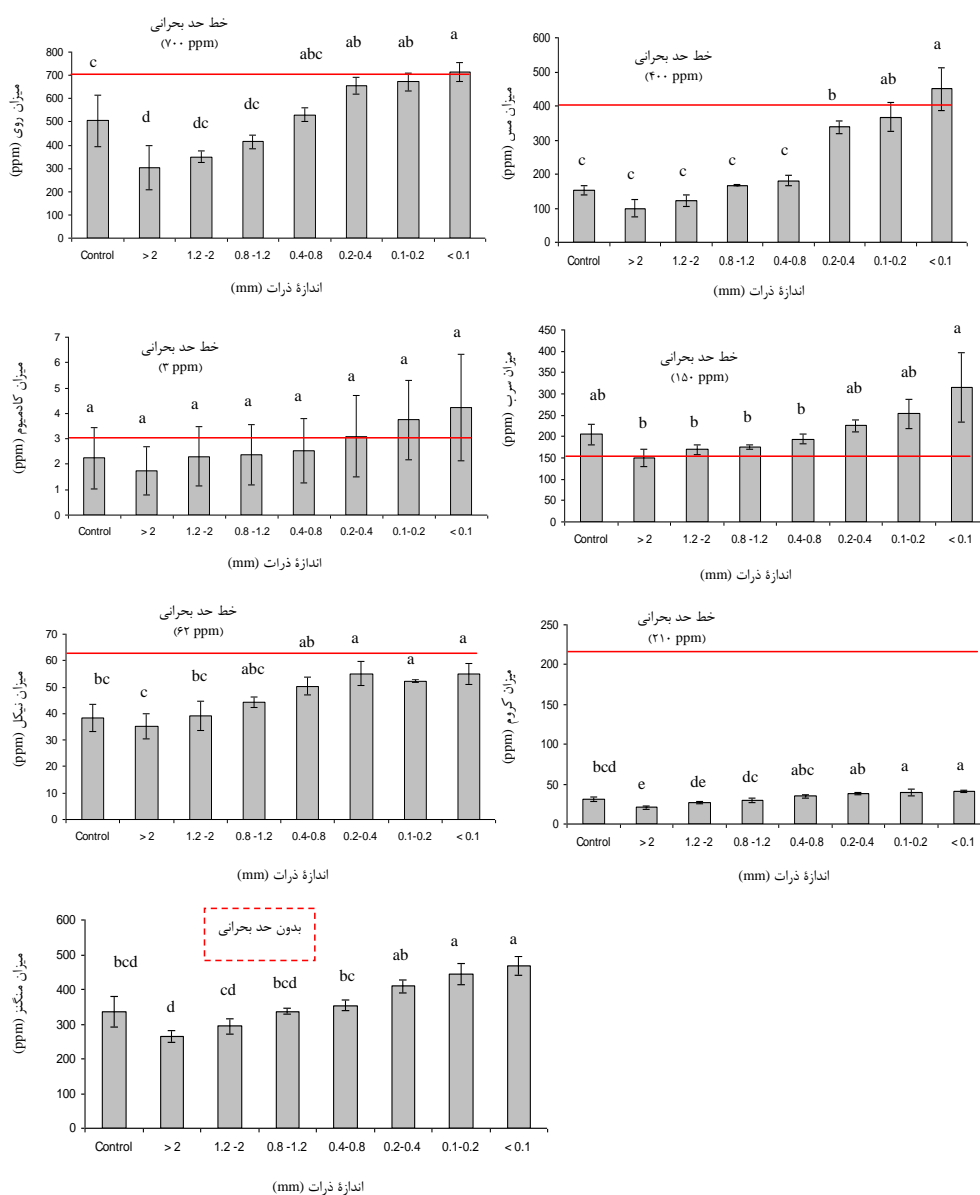
میزان اسیدیته (pH) و شوری (EC) در اندازه ذرات مختلف

اندازه‌گیری میزان pH نشان داد که همه اندازه ذرات pH اندکی قلیایی داشته و میزان pH با کاهش اندازه ذرات گرایش به کاهش نشان داد، هر چند این میزان کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود ($p < 0/05$). به طوری که بیشترین میزان pH (۷/۸) در بزرگ‌ترین اندازه ذرات یعنی $2\text{ mm}>$ و کمترین آن (۷/۴) در کوچک‌ترین اندازه ذرات یعنی $1/1\text{ mm}$ مشاهده شد (جدول ۱).

شوری یکی از عامل‌های مهم تعیین کیفیت کمپوست است، زیرا شوری بالای خاک می‌تواند سبب کاهش و یا حتی بازدارنده رشد و توسعه گیاهان و زیان‌های محیطی از جمله آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شود (Sharifi & Safari Sinegani, 2012). بنابراین تعیین شوری کمپوست پیش از کاربرد آن در خاک یک امر ضروری است. در این پژوهش هدایت الکتریکی با بیشترین میزان ($9/1\text{ dSm}^{-1}$) در کوچک‌ترین بخش ($<1/1\text{ mm}<$) و کمترین میزان ($3/4\text{ dSm}^{-1}$) در بزرگ‌ترین بخش ($>2\text{ mm}>$) وابستگی شدیدی را به اندازه ذرات کمپوست نشان داد، به طوری که اختلاف بین بخش‌های مختلف در رابطه با مشخصه یادشده در پایه آماری ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش شوری با کاهش اندازه ذرات ممکن است مربوط به این حقیقت باشد که با

عناصر در ذرات ریزتر می‌تواند به دلیل حلالیت بیشتر عناصر در اثر تولید اسیدهای ناشی از تجزیه مواد آلی موجود در کمپوست در هنگام فرآوری آن و جذب آنها روی ذرات ریزتر به دلیل داشتن سطح ویژه بیشتر، ظرفیت تبادل یونی بیشتر و همچنین توان جذب قوی‌تر این ذرات در مقایسه با ذرات بزرگ‌تر باشد (Hinds & Lowe, 1989; Eary *et al.*, 1990; Veeken & Hamelers, 2002; Zhao *et al.*, 2012; Saha *et al.*, 2013).

منیزیم (۱/۳ درصد) بود که کمترین میزان آنها به ترتیب در اندازه ذرات ۰/۸-۱/۲، ۱/۲-۲/۰، ۰/۸-۱/۲، ۰/۴-۰/۸ mm و شاهد به دست آمد (جدول ۱ و شکل ۱). نتایج این پژوهش با نتایج بسیاری از پژوهش‌ها که گزارش کرده‌اند با کاهش اندازه ذرات کمپوست تولیدی از زباله‌های شهری میزان عناصر افزایش می‌یابد (Veeken & Hamelers, 2002; Zhang *et al.*, 2008; Smith, 2009; Zhao *et al.*, 2012; Paradelo & Barrel, 2014).



شکل ۱. میزان کل Cu، Zn، Cd، Pb، Ni، Cr و Mn در اندازه ذرات مختلف کمپوست بررسی شده، خطوط قرمز نشان‌دهنده حد بحرانی آن عنصر برای کمپوست کلاس A است (CCME, 2005). بر اساس مقایسه میانگین چند دامنه دانکن، ستون‌های با حروف یکسان در پایه آماری ۵ درصد اختلاف چشمگیری با هم ندارند.

بررسی قابلیت کودی اندازه ذرات مختلف

استفاده از کمپوست تولیدی از زیاله‌های شهری در کشاورزی به عنوان بهبوددهنده حاصل‌خیزی و یا اصلاح‌کننده خاک روز به روز در حال افزایش است (Hargreaves *et al.*, 2008). بنابراین در این پژوهش قابلیت کودی اندازه ذرات مختلف کمپوست مورد بررسی از نظر pH و EC با مقایسه با استاندارد کشور سوئیس (ASCP, 2001) و از نظر عناصر سنگین با مقایسه با استاندارد انجمن علوم محیطی کشور کانادا (CCME, 2005) برای کمپوست کلاس A برای هدف‌های کشاورزی ارزیابی شد. برابر استاندارد ASCP میزان حدود بحرانی pH و EC برای کمپوست کلاس A برای هدف‌های کشاورزی به ترتیب باید کمتر و یا برابر $8/2$ و 4 dSm^{-1} باشد. همچنین برابر استاندارد CCME میزان حدود بحرانی کمپوست کلاس A برای عناصر روی، مس، سرب، نیکل، کروم و کادمیم در کمتر و یا برابر با 700 ، 400 ، 150 ، 62 ، 210 و 3 ppm باشد. همچنین برای آگاهی از میزان شدت خطرهای زیست محیطی هر کدام از اندازه ذرات مختلف، از شاخص نسبت زیان‌آوری (Hazard Quotient, HQ)، که عبارت است از نسبت بین میزان آن مشخصه در کمپوست به میزان استاندارد آن مشخصه که در این پژوهش استاندارد کشور کانادا و سوئیس بود، استفاده شد. چنین نسبتی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$HQ = \frac{PC}{RfC}$$

که در آن PC غلظت آن مشخصه و RfC میزان استاندارد آن مشخصه است. بنابراین چنانچه میزان شاخص HQ کوچک‌تر یا برابر ۱ باشد، بیانگر مطلوبیت کود و بزرگ‌تر از ۱ بیانگر نداشتن مطلوبیت برای هدف‌های کشاورزی است. همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است، pH و عناصر کروم و نیکل در همه اندازه ذرات مورد بررسی $HQ < 1$ داشتند. سرب در همه اندازه ذرات $HQ > 1$ داشت. هدایت الکتریکی در همه اندازه ذرات به جز اندازه ذره 2 mm با $HQ = 0/9$ ، $HQ > 1$ داشت. مس در همه اندازه ذرات به جز اندازه ذره $0/1 \text{ mm}$ با $HQ = 1/1$ ، $HQ < 1$ داشت. عنصر روی

در همه اندازه ذرات به جز اندازه ذرات $0/2-0/1$ و $0/1 \text{ mm}$ که به‌طور برابر $HQ = 1/0$ داشتند، $HQ < 1$ داشت. کادمیم در همه اندازه ذرات به جز اندازه ذره‌های $0/2-0/4$ ، $0/2-0/1$ و $0/1 \text{ mm}$ که به ترتیب HQ برابر با $1/0$ ، $1/2$ و $1/5$ داشتند، $HQ < 1$ داشت (شکل ۱ و جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهند که میزان شاخص HQ با کاهش اندازه ذرات افزایش یافته است و این میزان برای اندازه ذرات کوچک‌تر از $0/4 \text{ mm}$ برای همه مشخصه‌ها بیشتر از ۱ است. تنها استثناها در این مورد کروم، نیکل (میزان HQ چشمگیر در ذرات کوچک‌تر از $0/4 \text{ mm}$ به‌طور میانگین $HQ = 0/9$ دارند)، مس در اندازه ذرات $0/2-0/4$ و $0/1-0/2 \text{ mm}$ دارای $HQ < 1$ به ترتیب $0/8$ و $0/9$ بود و روی که در اندازه ذرات $0/2-0/4 \text{ mm}$ دارای $HQ < 1$ برابر با $0/9$ بود (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهند که استثناهای یادشده هر چند HQ کمتر از ۱ در اندازه ذرات کوچک‌تر از $0/4 \text{ mm}$ دارند، اما در همه موارد اختلاف چشمگیری با حد بحرانی یعنی $HQ = 1$ ندارند. بنابراین بنا به آنچه در این بخش و دیگر بخش‌های پیشین آمد چنین می‌توان نتیجه گرفت که ذرات $0/4 \text{ mm}$ مسئول عمده ایجاد شوری و آلودگی عناصر سنگین در کمپوست مورد بررسی و بازدارنده استفاده از آن در کشاورزی برای بازچرخ سالم آن هستند.

بهره‌گیری از بخش‌بندی اندازه ذرات در حذف عناصر

سنگین، شوری و ناخالصی‌ها

آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه ذرات مختلف کمپوست برای درک چگونگی تأثیر هر کدام از این ذرات بر کیفیت و سلامت خاک یک امر ضروری است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که به طور عموم ذرات $2-0/5 \text{ mm}$ کارایی بالایی در خاک دارند (Mazzarino *et al.*, 2004). لذا در این پژوهش با پیروی از این دامنه کارایی، همه اندازه ذرات مورد بررسی به سه کلاس اندازه ذره اصلی یعنی $2 >$ ، $2-0/4$ و $0/4 \text{ mm}$ دسته‌بندی شدند. میانگین ویژگی‌های مورد بررسی هر کدام از کلاس‌های یادشده و همچنین تیمار شاهد در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین میزان غلظت عناصر سنگین یعنی Zn ($680/2 \text{ ppm}$)، Cu ($385/2 \text{ ppm}$)، Ni ($54/2 \text{ ppm}$)، Pb ($264/8 \text{ ppm}$)، Cd ($3/7 \text{ ppm}$)

اندازه ذرات ۲-۴ mm میزان متعادل تری از عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان دارند (جدول ۴). افزون بر آن که غنی از عناصر سنگین و عناصر غذایی هستند، همراه با آب آبیاری به آسانی بیشتری می‌توانند درون خلل و فرج ریز خاک حرکت کنند و لایه‌های پایین‌تر و حجم بیشتری از خاک را آلوده کنند و در نهایت موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی شوند. افزون بر موارد یادشده کلاس اندازه ذرات < 0.4 mm با شوری برابر با $8/9$ dSm⁻¹ اختلاف معنی‌داری با میزان این مشخصه در کلاس اندازه ذرات ۲-۴ mm، > 2 mm و شاهد که به ترتیب دارای شوری برابر با $6/9$ ، $3/7$ و $6/1$ dSm⁻¹ بودند، داشت (جدول ۴) ($p < 0.05$). این نتایج نشان می‌دهند که این کلاس اندازه ذرات (< 0.4 mm) مسئول میزان چشمگیری از شوری به‌وجودآمده در کمپوست مورد بررسی است و با جداسازی این ذرات میزان قابل توجهی از چالش شوری کمپوست یادشده حل خواهد شد.

Cr (۳۹/۴ ppm) و Mn (۴۴۰/۵ ppm) در کلاس اندازه ذرات < 0.4 mm با اختلاف چشمگیر با دیگر کلاس‌ها و شاهد به‌دست آمد (جدول ۴) ($p < 0.05$). این نتایج نشان می‌دهند که این ذرات (< 0.4 mm) غنی از عناصر سنگین بوده و با جداسازی آنها می‌توان کمپوست سالمی را برای کاربرد در کشاورزی با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی به‌دست آورد. همچنین بیشترین میزان عناصر غذایی در (۲/۶ درصد) N، (۱/۵ درصد) P، (۰/۸ درصد) K، (۶/۳ درصد) Ca و (۲/۱ درصد) Mg در این کلاس اندازه ذرات (< 0.4 mm) با اختلاف چشمگیر با دیگر کلاس‌ها و شاهد به‌دست آمد (جدول ۴) ($p < 0.05$). بنابراین کاربرد این ذرات به عنوان کود می‌تواند سبب غنی شدن محیط به ویژه آب‌های سطحی و زیرزمینی و تشدید پدیدهٔ به‌پروردگی (Eutrophication) در محیط شود، همان‌گونه که پیشتر در مورد رهاسازی بیش از حد فسفر و نیتروژن در مورد کود مرغی و تشدید به‌پروردگی این دو عنصر توسط Patterson et al. (2005) و Leconte et al. (2011) گزارش شده است. در حالی که کلاس

جدول ۳. نسبت زبان‌آوری (HQ)، عناصر سنگین، pH EC اندازه ذرات مختلف کمپوست بررسی شده (میانگین \pm خطای استاندارد)^۱

بخش‌ها (mm)	pH	EC	Zn	Cu	Cd	Pb	Ni	Cr
شاهد	۰/۹۳ \pm ۰/۰۲	۱/۵ \pm ۰/۳۰	۰/۷ \pm ۰/۱۵	۰/۴ \pm ۰/۰۳	۰/۷ \pm ۰/۴۰	۱/۴ \pm ۰/۱۶	۰/۶ \pm ۰/۰۸	۰/۱۴ \pm ۰/۰۱
F > ۲	۰/۹۵ \pm ۰/۰۱	۰/۹ \pm ۰/۰۴	۰/۴ \pm ۰/۱۳	۰/۲ \pm ۰/۰۶	۰/۶ \pm ۰/۳۱	۱/۰ \pm ۰/۱۴	۰/۶ \pm ۰/۰۷	۰/۱۰ \pm ۰/۰۱
F ۱/۲-۲	۰/۹۲ \pm ۰/۰۱	۱/۶ \pm ۰/۱۳	۰/۵ \pm ۰/۰۴	۰/۳ \pm ۰/۰۴	۰/۸ \pm ۰/۳۹	۱/۱ \pm ۰/۰۷	۰/۶ \pm ۰/۰۸	۰/۱۳ \pm ۰/۰۱
F ۰/۸-۱/۲	۰/۹۲ \pm ۰/۰۱	۱/۸ \pm ۰/۱۳	۰/۶ \pm ۰/۰۴	۰/۴ \pm ۰/۰۱	۰/۸ \pm ۰/۳۹	۱/۲ \pm ۰/۰۳	۰/۷ \pm ۰/۰۳	۰/۱۴ \pm ۰/۰۱
F ۰/۴-۰/۸	۰/۹۳ \pm ۰/۰۲	۱/۸ \pm ۰/۱۳	۰/۸ \pm ۰/۰۴	۰/۴ \pm ۰/۰۴	۰/۸ \pm ۰/۴۲	۱/۳ \pm ۰/۰۷	۰/۸ \pm ۰/۰۵	۰/۱۶ \pm ۰/۰۱
F ۰/۲-۰/۴	۰/۹۲ \pm ۰/۰۱	۲/۲ \pm ۰/۱۱	۰/۹ \pm ۰/۰۵	۰/۸ \pm ۰/۰۴	۱/۰ \pm ۰/۵۳	۱/۵ \pm ۰/۱۰	۰/۹ \pm ۰/۰۷	۰/۱۸ \pm ۰/۰۱
F ۰/۱-۰/۲	۰/۹۲ \pm ۰/۰۱	۲/۲ \pm ۰/۱۲	۱/۰ \pm ۰/۰۵	۰/۹ \pm ۰/۱۰	۱/۲ \pm ۰/۵۲	۱/۷ \pm ۰/۲۳	۰/۸ \pm ۰/۰۱	۰/۱۹ \pm ۰/۰۲
F < ۰/۱	۰/۹۱ \pm ۰/۰۱	۲/۳ \pm ۰/۱۶	۱/۰ \pm ۰/۰۶	۱/۱ \pm ۰/۱۶	۱/۵ \pm ۰/۷۰	۲/۱ \pm ۰/۵۴	۰/۹ \pm ۰/۰۶	۰/۱۹ \pm ۰/۰۱

۱. اعدادی که پر رنگ شده‌اند، نشانهٔ میزان بیش از حد مجاز برای کمپوست کلاس A هستند (CCME, 2005).

جدول ۴. میزان مشخصه‌های مورد بررسی در کلاس اندازه ذرات > 2 ، $2-4$ و < 0.4 mm کمپوست بررسی شده

(میانگین \pm خطای استاندارد)^۱

کلاس اندازه ذرات	EC	pH	O.C	Fe	N	P	K	Ca	Mg
(mm)	(dSm ⁻¹)	-	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
شاهد	۶/۱ \pm ۱/۱۰ ^b	۷/۷ \pm ۰/۰۹ ^{ab}	۲۱/۴ \pm ۳/۹۲ ^b	۱/۵ \pm ۰/۱۷ ^{ab}	۱/۸ \pm ۰/۱۴ ^b	۱/۱ \pm ۰/۰۵ ^b	۰/۵ \pm ۰/۱۳ ^b	۵/۴ \pm ۰/۹۵ ^{ab}	۱/۳ \pm ۰/۱۲ ^b
Class > ۲	۳/۷ \pm ۰/۹۴ ^c	۷/۸ \pm ۰/۰۲ ^a	۲۹/۳ \pm ۰/۶۳ ^a	۱/۲ \pm ۰/۰۴ ^b	۲/۱ \pm ۰/۱۸ ^{ab}	۱/۰ \pm ۰/۲۷ ^b	۰/۷ \pm ۰/۱۱ ^{ab}	۴/۶ \pm ۰/۱۳ ^b	۱/۴ \pm ۰/۲۴ ^{ab}
Class ۰/۴-۲	۶/۹ \pm ۰/۳۱ ^b	۷/۶ \pm ۰/۰۴ ^b	۲۲/۲ \pm ۲/۱۶ ^{ab}	۱/۶ \pm ۰/۰۱ ^a	۱/۸ \pm ۰/۱۱ ^b	۱/۱ \pm ۰/۰۴ ^b	۰/۶ \pm ۰/۰۳ ^b	۵/۱ \pm ۰/۳۹ ^{ab}	۱/۸ \pm ۰/۱۸ ^{ab}
Class < ۰/۴	۸/۹ \pm ۰/۲۸ ^a	۷/۵ \pm ۰/۰۳ ^b	۲۵/۳ \pm ۱/۱۰ ^{ab}	۱/۷ \pm ۰/۰۶ ^a	۲/۶ \pm ۰/۱۴ ^a	۱/۵ \pm ۰/۰۶ ^a	۰/۸ \pm ۰/۰۴ ^a	۶/۳ \pm ۰/۳۵ ^a	۲/۱ \pm ۰/۲۱ ^a

۱. بر اساس مقایسهٔ میانگین چند دامنهٔ دانکن، در هر ستون اعداد با حروف یکسان در پایهٔ آماری ۵ درصد اختلاف چشمگیری با هم ندارند.

ادامه جدول ۴. میزان مشخصه‌های مورد بررسی در کلاس اندازه ذرات > 2 ، $2 - 0.4$ و < 0.4 mm کمپوست بررسی شده (میانگین \pm خطای استاندارد)^۱

Cr	Ni	Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	کلاس اندازه ذرات (mm)
			(ppm)				
۳۰/۸±۲/۶ ^b	۳۸/۴±۵/۰ ^b	۲۰۴/۹±۲۴/۰ ^{ab}	۲/۲±۱/۲ ^a	۱۵۲/۱±۱۴/۶ ^b	۵۰۶/۰±۱۱۰/۹ ^b	۳۳۵/۸±۴۴/۶ ^b	شاهد
۲۰/۹±۲/۰ ^c	۳۵/۲±۴/۹ ^b	۱۵۰/۰±۲۱/۱ ^b	۱/۷±۱/۰ ^a	۱۰۰/۰±۲۵/۷ ^b	۳۰۴/۵±۹۴/۶ ^c	۲۵۶/۶±۱۶/۷ ^{ab}	Class > 2
۳۰/۵±۱/۶ ^b	۴۴/۷±۲/۵ ^{ab}	۱۷۹/۸±۶/۱ ^{ab}	۲/۴±۰/۶ ^a	۱۵۷/۰±۱۱/۰ ^b	۴۳۰/۹±۲۹/۹ ^{bc}	۳۲۸/۱±۱۱/۸ ^{ab}	Class 0.4 - 2
۳۹/۴±۱/۴ ^a	۵۴/۲±۱/۸ ^a	۲۶۴/۸±۲۹/۱ ^a	۳/۷±۰/۹ ^a	۳۸۵/۲±۲۸/۱ ^a	۶۸۰/۲±۲۱/۷ ^a	۴۴۰/۵±۱۶/۰ ^a	Class < 0.4

۱. بر اساس مقایسه میانگین چند دامنه دانکن، در هر ستون اعداد با حروف یکسان در پایه آماری ۵ درصد اختلاف چشمگیری با هم ندارند.

چشمگیر افزایش نشان دادند. به گونه‌ای که بیشترین میزان مشخصه‌های مورد بررسی در کوچک‌ترین بخش یعنی < 0.1 mm و کمترین آنها در درشت‌ترین بخش یعنی > 2 mm به دست آمد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که میزان خرده شیشه بزرگ‌تر از ۲ mm (به میزان ۲۱/۲ بیش از حد مجاز) یکی از محدودیت‌های مهم کمپوست مورد بررسی برای هدف‌های کشاورزی است. همچنین کلاس‌بندی اندازه ذرات مختلف به سه کلاس اصلی یعنی > 2 ، $2 - 0.4$ و < 0.4 mm نشان داد که ذرات < 0.4 mm با میزان بالای عناصر سنگین و شوری و ذرات > 2 mm با میزان بالای ناخالصی‌ها مسئول کاهش کیفیت کمپوست مورد بررسی و بازدارنده استفاده از آن برای هدف‌های کشاورزی هستند. لذا با جداسازی این ذرات می‌توان کیفیت کمپوست مورد بررسی را به طور چشمگیری بهبود بخشید. به عنوان یک نتیجه کلی در مقایسه با روش‌های شیمیایی که نیاز به تجهیزات و مواد گران دارد و همچنین قابلیت کود ممکن است در اثر مواد شیمیایی به کار برده شده تغییر کند، بخش‌بندی فیزیکی همرا با دانستن ویژگی‌های هر کدام از اندازه ذرات ما را توانا می‌سازد که به طور ساده و کم هزینه اندازه ذرات با کیفیت پایین را شناسایی کرده و با جداسازی آنها کیفیت کمپوست مورد نظر را ارتقاء دهیم تا زمینه استفاده از آن در کشاورزی و باز چرخ سالم آن بدون مخاطره‌های محیطی به وجود آید.

همان‌گونه که پیشتر عنوان شد بیشتر ناخالصی‌های به دست آمده (بیش از ۹۰ درصد) اعم از خرده شیشه و سنگریزه بیشتر از ۲ mm بودند (جدول ۲)، که کاربرد آن در خاک افزون بر آسیب و زیان‌های احتمالی که ممکن است به کاربران این کمپوست وارد کند، سبب کاهش کیفیت خاک خواهد شد. بنابراین با جداسازی این بخش تا حد بسیار زیادی می‌توان چالش ناخالصی‌های کمپوست مورد بررسی را حل کرد. افزون بر آن گزارش‌هایی وجود دارد که کاربرد ذرات درشت کودی به دلیل فرآوری کمتر در زمان کمپوست‌سازی ممکن است سبب بی‌جنبش شدن (Immobilization) نیتروژن و کاهش نیتروژن قابل جذب برای گیاه شود (Rynk 1992; Tester et al., 1977; Doublet et al., 2010). به عنوان یک نتیجه کلی ذرات < 0.4 mm با میزان بالای عناصر سنگین و شوری و ذرات > 2 mm با میزان بالای ناخالصی‌ها مسئول کاهش کیفیت کمپوست مورد بررسی و بازدارنده استفاده از آن برای هدف‌های کشاورزی هستند. لذا با جداسازی این ذرات می‌توان کیفیت کمپوست مورد بررسی را به طور چشمگیری بهبود بخشید.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که به طور عموم با کاهش اندازه ذرات میزان مشخصه‌های مورد بررسی به گونه‌ای

REFERENCES

- Achiba, W. B., Gabteni, N. G., Laing, D., Verloo, M., Boeckx, P., Cleemput, O. V., Jedidi, N. & Gallali, T. (2010). Accumulation and fractionation of trace metal in a Tunisian calcareous soil amended with farm yard manure and municipal solid waste compost. *Journal of Hazardous Materials*, 176, 99-108.
- ASCP Guidelines. (2001). *Quality criteria for composts and digestates from biodegradable waste management*. Published by the Association of Swiss Compost Plants (ASCP) in collaboration with the Swiss Biogas Forum.

3. Botha, C.R. & Webb, M.M. (1952). The versenate method for the determination of calcium and magnesium in mineralized waters containing large concentrations of interfering ions: *Institute of Water Engineers Journal*, 6.
4. Bremener, J.M. & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen total. In: Page, A. L. et. al. *Method of soil analysis*. Part 2. American Society of Agronomy Inc Madison, Wisconsin USA. 595-624.
5. Businelli, D., Massaccesi, L., Said-Pullicino, D. & Gigliotti, G. (2009). Long-term distribution, mobility and plant availability of compost-derived heavy metals in a land-fill covering soil. *Science of the Total Environment*, 407, 1426-1435.
6. CCME. (2005). *Guidelines for Compost Quality*. Published by the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) and replace the previous version—Guidelines for Compost Quality.
7. Doublet, J., Francou, C., Pétraud, J.P., Dignac, M.F., Poitrenaud, M. & Houot, S. (2010). Distribution of C and N mineralization of a sludgecompost within particle-size fractions. *Bioresource Technology*, 101, 1254-1262.
8. Eary, L.E., Dhanpt, R. & Mattigod, S.V. (1990). Geochemical factors controlling the mobilization of inorganic mineral size separates from soils with annual straw incorporation: II. Review of the minor elements. *Journal of Environmental Quality*, 19, 202-210.
9. FAC. (1995). *Compost and sewage sludge: Guidelines and Recommendations of the Research Centre for Agricultural Chemistry and Environmental Science with respect to waste fertilisers*. EDMZ Art.-Nr. 730.920.d, vergriffen.
10. Guidi, G., Pagliai, M. & Giachetti, M. (1983). Modifications of some physical and chemical soil properties following sludge and compost application. In: Catroux G., Hermite, P. L., Suess, E (Editors). *The Influence of Sewage Sludge Application on Physical and Biological Properties of Soils*. (pp 122-133). ISBN: 978-94-009-7932-1.
11. Hargreaves, J.C., Adl, M.S. & Warman, P.R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123, 1-14.
12. Hinds, A.A. & Lowel, L. (1989). Up take by corn and chemical extractability of heavy metals from a four year compost treated soil. *Plant and Soil*, 116(1), 23-27.
13. Jones, J.B.Jr. (2001). *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*, 1st ed. CRC Press, Boca Raton, Florida.
14. Jorado, C.P., Nascentes, C.C., Cecon, P.R., Fontes, R.L.F. & Pereira, J.T. (2006). Heavy metal availability in soil amended with composted urban solid wastes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 112, 309-326.
15. Leconte, M.C., Mazzarino, M.J., Satti, P. & Crego, M.P. (2011). Nitrogen and phosphorus release from poultry manure composts: the role of carbonaceous bulking agents and compost particle sizes. *Biology and Fertility of Soils*, 47, 897-906.
16. Madrid, F., Lopez, R. & Cabrer, F. (2007). Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming condition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119, 249-256.
17. Mazzarino, M.J., Satti, P., Moyano, S. & Laos, F. (2004). Composts de biosólidos: efecto del tamizado en la inmovilización de nitrógeno del suelo. *Ciencia del Suelo*, 22, 19-26.
18. Murphy, J. & Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36.
19. Nelson, D.W. & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods; SSSA Book Series No. 5; Soil Science Society of America: Madison, Wisconsin, 961-1010.
20. Ojeda, G., Alcaniz, J.M. & Bissonnais, Y.L. (2008). Differences in aggregate stability due to various sewage sludge treatments on a Mediterranean calcareous soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 125, 48-56.
21. Paradelo, R. & Barrel, M.T. (2014). Magnetic susceptibility and trace element distribution in compost size fractions. *Spanish Journal of Soil Science*, 4(2), 204-210.
22. Patterson, P., Moore, P. A. Jr. & Angel, R. (2005). Phosphorus and poultry nutrition. In: Sims, J. T., Sharpley, A. N., (Eds) *Phosphorus, Agriculture and the environment*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, pp 635-682.
23. Rezaee, R., Nasser, S., Mahvi, A.H., Jafari, A., Mazloomi, S., Gavami, A. & Yaghmaeian, K. (2014). Estimation of gas emission released from a municipal solid waste landfill site through a modeling approach: A case study (Sanandaj City, Iran). *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 2(1), 13-21.
24. Rynk, R. (Ed.) (1992). *On-farm Composting Handbook*. Publication NRAES-54. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York.

25. Saha, J.K., Panwar, N.R. & Vassanda Coumar, M. (2013). Effect of methods of preparation on distribution of heavy metals in different size fractions of municipal solid waste composts. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 8815-8821.
26. Sharifi, M., Afyuni, M. & Khoshgoftarmanesh, A.H. (2011). Effects of Sewage Sludge, Compost and Cow Manure on Availability of Soil Fe and Zn and their Uptake by Corn, Alfalfa and Tagetes Flower. *Journal of science and technology of agriculture and natural resources (Water and Soil Science)*, 15(56), 141-154. (in Farsi)
27. Sharifi, Z. & Safari Sinegani, A.A. (2012). Arsenic and other irrigation water quality indicators of groundwater in an agricultural area of Qorveh Plain, Kurdistan, Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 12(4), 548-555.
28. Smith, S. R. (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 35(1), 142-156.
29. Tester, F. L., Sikora, J., Taylor, J. M. & Parr, J. F. (1977). Decomposition of sewage sludge compost in soil: I. Carbon and nitrogen transformation. *Journal of Environmental Quality*, 6, 459-463.
30. Veeken, A. & Hamelers, B. (2003). Assessment of heavy metal removal technologies for biowaste by physico-chemical fractionation. *Environmental Technology*, 24(3), 329-37.
31. Yongjie, W. & Yangsheng, L. (2005). Effect of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year fields study. *Chemosphere*, 59, 1257-1265.
32. Zamani Babgohari, J., Afyuni, M. & Khoshgoftarmanesh, A. H. (2011). Effect of Polyacryl Sewage Sludge, Municipal Compost and Cow Manure on Soil Properties and Maize Yield. *Journal of science and technology of agriculture and natural resources (Water and Soil Science)*, 14(54), 153-166. (in Farsi)
33. Zhang, H., He, P.J., Shao, L.M. & Lee, A.D.J. (2008). Source analysis of heavy metals and arsenic in organic fractions of municipal solid waste in a Mega city (Shanghai). *Environmental Science and Technology*, 42(5), 1586-1593.
34. Zhao, S., Liu, X. & Dou, L. (2012). Physical and chemical characterization of municipal solid waste compost in different partial size fractions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(2), 509-515.

Assessment of fertilizing potential of different size fractions of municipal solid waste compost produced in Sanandaj City

Zahed Sharifi^{1*} and Sayd Mohammad Taaher Hossaini²

1, 2. Assistant Professor and Instructor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture,
University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(Received: Jan. 30, 2015 - Accepted: Aug. 3, 2015)

ABSTRACT

In this study fertilizing potential of municipal solid waste (MSW) compost was investigated by the distribution behavior of heavy metals, nutrient elements and salinity content among the different size fractions. Therefore, 3 compost samples (each composed of 6 subsamples) were collected from Sanandaj MSW Composting Plant. Then, the samples were physically divided into seven fractions of different particle size including >2, 1.2-2, 0.8-1.2, 0.4-0.8, 0.2-0.4, 0.1-0.2 and <0.1 mm, using dry-sieving process. The bulk sample was reserved as control. The results showed that by decreasing of particle size, pH values decreased, however, other surveyed parameters increased. The highest concentration of EC, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Mn, N, P, Ca and K was found in the finest fraction (<0.1 mm) with average values of 9.1 dSm⁻¹, 714.4, 450.5, 4.2, 315.5, 55.1, 40.7, 468.5 ppm, 3.0, 1.5, 6.9 and 0.9 % respectively, whereas the lowest concentration were found in the coarsest fraction (>2 mm). Overall, the results suggest that the size fractions less than 0.4 mm with highly heavy metals and salinity content and size fractions more than 2 mm with high impurity (glass, 21.2 times over the permissible limit) were responsible for lowering the quality of the produced compost, thus, removal of selected fractions particle size could significantly improve the compost quality and allowed us to use and its safe recycle in agriculture.

Keywords: heavy metals, impurities, MSW compost, salinity, size fractions.