نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۳۵۹-۱۳۴۵

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1345-1359

بررسی ویژگی‌های کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی شهر سنندج از دیدگاه بهبود کیفیت و سلامت خاک

زاهد شریفی[1*]- سید محمد طاهر حسینی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۳۰

چکیده

این پژوهش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، پتانسیل کودی و میزان آلودگی فلزات سنگین در ۲ نوع کمپوست با زمان فرآوری بین ۴ تا ۸ سال (نوع A) و بین ۱ تا ۴ سال (نوع B) حاصل از زباله‌های خانگی شهر سنندج را با هدف استفاده از آن به عنوان یک کود آلی را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش ویژگی‌های فیزیکی (شامل: ناخالصی‌های نامطلوب، میزان رطوبت اولیه، توزیع اندازه ذرات، جرم مخصوص حقیقی و ظاهری، حداکثر ظرفیت نگه داشت آب و تخلخل کل) و ویژگی‌های شیمیایی (شامل: کربن آلی، pH و شوری) و میزان کل عناصر N، P، Ca، Mg، K، Na، Mn، Fe، Cr، Zn، Pb، Ni و Cd با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که جرم مخصوص ظاهری، میزان خاکستر و میزان کل عناصر با افزایش زمان فرآوری در واحد وزن خشک کمپوست، افزایش یافت، درحالی‌که اندازه ذرات کمپوست کاهش نشان داد. همچنین نتایج نشان دادند، که هر ۲ نوع کمپوست مورد مطالعه از نظر میزان خرده شیشه (به گونه میانگین ۲۱/۷ برابر بیش از حد مجاز)، میزان سنگریزه (به گونه میانگین ۱/۴ برابر بیش از حد مجاز)، میزان سرب (به گونه میانگین ۱/۶ برابر بیش از حد مجاز)، میزان شوری (به گونه میانگین ۱/۴ برابر بیش از حد مجاز)، علاوه بر این کمپوست نوع B همچنین از نظر رطوبت اولیه (۱/۴ بیش از حد مجاز) و جرم مخصوص ظاهری ($0/2 gcm^{-3}$، کمتر از پایین‌ترین حد مجاز) داری محدویت استفاده برای اهداف کشاورزی بودند. بنابراین، بدون اصلاح مناسب این محدویت‌ها، کیفیت کمپوست‌های بررسی شده برای اهداف کشاورزی مناسب نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زمان فراوری، عناصر غذایی، کاربرد کشاورزی، فلزات سنگین، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

مقدمه

با افزایش جمعیت و همچنین پیشرفت‌های اقتصادی و صنعتی، روز به روز بر تولید مواد زاید تولیدی، به ویژه زباله‌های شهری افزوده می‌شود. امروزه استفاده از کمپوست در زمین‌های کشاورزی، به عنوان یکی از روش‌های کارآمد برای دفع این ضایعات از محیط زیست شناخته شده است (۳۹)، چرا که در برگیرنده منافعی از قبیل کاهش آلودگی‌های محیطی ناشی از دفن، کاهش انباشت زباله‌های شهری و تولید کود مناسب برای خاک می‌باشد (۱). از این‌رو در سال‌های اخیر تولید کمپوست از زباله‌های شهری در بسیاری از کشورهای پیشرفته (۱۷) و در حال توسعه از جمله ایران (۳۳) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار شده است، به طوری که در فاصله سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۱۰ در ۳۲ کشور اروپایی میزان تولید کمپوست از زباله‌های شهری ۲۸ میلیون تن افزایش یافته است (۱۷).

کشور ایران به دلیل واقع شدن در کمربند خشک کره زمین از فقر مواد آلی در خاک‌های زراعی خود رنج می‌برد. متاسفانه مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنه و عدم استفاده از کودهای آلی در سال‌های اخیر نیز به این معضل دامن زده است. یک راه حل مناسب برای حل این مشکل استفاده از کمپوست حاصل از زباله‌های شهری می‌باشد، به گونه‌ای که بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که این نوع کمپوست از طریق افزایش مقدار ماده آلی، عناصر غذایی، ظرفیت تبادل کاتیونی، بهبود تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری، اسیدیته و فعالیت موجودات زنده خاک، سبب بهبود و اصلاح ویژگی‌های خاک و کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی به بار آمده در این خاک‌ها می‌شود (۱۶، ۳۶ و ۴۹). از طرفی دیگر در صورت تولید نادرست و استاندارد نبودن کمپوست تولید شده، استفاده از آن سبب ایجاد آثار نامطلوب بر انسان، حیوان و محیط زیست خواهد شد. در تایید این مطلب گزارش‌هایی وجود دارد که کمپوست حاصل از زباله‌های شهری به دلیل داشتن عناصر سنگین

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و مربی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان
(*- نویسنده مسئول: Email: Z.sharifi@uok.ac.ir)

می‌تواند اثرات نامطلوبی بر اکوسیستم‌های کشاورزی داشته باشد که موجب کاهش رشد و در نهایت عملکرد محصول می‌گردد (۸، ۱۵، ۲۵ و ۳۲). به گونه‌ای که آچیبا و همکاران (۸) گزارش کردند که اگرچه کاربرد مداوم ۵ سال کمپوست حاصل 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 جورداو و همکاران (۲۸) گزارش کردند که میزان قابل دسترس عناصر مس، سرب و نیکل با افزایش میزان کاربرد کمپوست حاصل از زباله‌های شهری افزایش می‌یابد. بوسیلنی و همکاران (۱۴) نیز گزارش کردند که کاربرد کمپوست حاصل از زباله‌های شهری سبب افزایش میزان چشم‌گیری از عناصر سنگین به ویژه مس، روی و سرب در خاک سطحی می‌شود. با توجه به اثرات زیانبار این نوع کود، مدت زمانی است که تولید کمپوست از زایدات مخلوط شهری در کشورهای پیشرفته از جمله آلمان و هلند ممنوع شده است، چون این نوع کمپوست حاوی مواد سمی و خطرناکی همچون فلزات سنگین می‌باشد، و در عمل اقتصادی نبوده و خطراتی برای محیط زیست و انسان به دنبال دارد (۵۲). لذا برای حفظ سلامت محیط زیست و موجودات آن، رعایت ضوابط و استانداردها در همه ابعاد مدیریتی استفاده از پس‌ماندهای آلی شهری، صنعتی و کشاورزی جهت بهبود بارآوری خاک یک اصل اساسی بوده، و نیازمند توجه ویژه است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۲ نوع کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی شهر سنندج در کارخانه کمپوست‌سازی با زمان فرآوری متفاوت اجرا گردید، و همچنین با مقایسه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با استانداردهای معتبر جهانی، میزان مطلوبیت این دو نوع کمپوست برای بهبود و ارتقاء کیفیت و سلامت خاک در جهت نیل به کشاورزی پایدار مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی سایت، روش فرآوری کمپوست و نمونه‌برداری از آن

شهر سنندج (مرکز استان کردستان) با جمعیتی برابر با ۳۳۵۰۰۰ نفر (سرشماری ۱۳۹۰) و مساحت ۵۰۲۳ کیلومتر مربع 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 $^{\circ}C$ ۱۴/۵، mm ۳۱۹ و ۴۸/۵ درصد است، و نزولات اغلب در اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد. همچنین جهت باد غالب در این شهر از جنوب به شمال شهر است (۴۴). در شهر سنندج 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 میزان به ترتیب ۲۰۰ و ۵۰۰ گرم بیش از استاندارد سرانه تولید روزانه زباله در ایران (۷۰۰ گرم) و جهان (۴۵۰ گرم) می‌باشد. ترکیب غالب این زباله‌ها به صورت مواد آلی (۷۱ درصد)، پلاستیک (۸ درصد)، کاغذ و مقوا (۶ درصد)، منسوجات (۳ درصد)، شیشه (۲ درصد)، فلزات (۱ درصد)، چوب (۱ درصد) و سایر مواد (۸ درصد) می‌باشد (۴۴). روزانه در حدود ۲۰۰ تن از این زباله‌ها که از مبداء تفکیک نشده‌اند، به کارخانه کمپوست‌سازی که در ۱۱ کیلومتری جاده سنندج-کامیاران قرار دارد منتقل می‌شود، و بقیه دفن می‌شوند. در محل کارخانه بیشتر ناخالصی‌ها اعم از کارتن، پلاستیک و غیره تا آنجایی که امکان داشته باشد، به صورت مکانیزه به وسیله دستگاه و دستی به وسیله کارگران جداسازی می‌شوند. محصول باقی‌مانده پس از جداسازی که بیشتر ترکیبات آلی می‌باشد، به صورت ردیف‌های طولانی با ارتفاع در حدود ۷۵ و عرض ۱۰۰ سانتی‌متر به صورت هوازی (روش ویندرو[1] روباز) در محل فرآوری کمپوست به مدت حدود ۳ ماه پهن می‌شوند (شکل ۱). یادآوری می‌شود هر چند بر اساس نوع ساختار مواد کمپوست شونده، شرایط آب و هوایی منطقه و فصل، مدت زمان پهن کردن کمپوست‌ها متفاوت است، اما یاهایا و همکاران (۵۷) این مدت زمان را ۳ ماه، جولی (۳۴) این مدت زمان را ۴ الی ۵ ماه و استیبینز (۵۶) این مدت زمان را ۶ ماه گزارش نموده‌اند. سپس کمپوست‌های فرآوری شده در محل کارخانه در فضای باز جمع‌آوری می‌شوند، که تا کنون بلااستفاده مانده است. شکل ۱ نمایی از فرایند کمپوست‌سازی در محل کارخانه را نشان می‌دهد. بنابراین در این پژوهش از محصول سال‌های ۸۵ تا ۸۸ (کمپوست نوع A) و سال‌های ۸۹ تا ۹۲ (کمپوست نوع B) که به صورت جداگانه در محل کارخانه جمع‌آوری شده بودند، در فروردین ماه ۱۳۹۲ نمونه‌برداری شد، به گونه‌ای که از هر بازه زمانی ۳ نمونه تصادفی برداشته شد، که هر نمونه دارای ۶ زیر نمونه ۲ کیلوگرمی (۱۲ کیلوگرم) بود که پس از مخلوط کردن کامل، حدود ۶ کیلوگرم از آن به عنوان نمونه مرکب انتخاب شد. نمونه‌ها در داخل کیسه‌های پلاستیکی تمیز ریخته شدن و پس از درج مشخصات بلافاصله جهت انجام آنالیزهای کنترل کیفی به آزمایشگاه منتقل شدند.

تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی

تجزیه‌های فیزیکی انجام شده در این پژوهش شامل میزان رطوبت اولیه کود (به روش وزنی)، توزیع اندازه ذرات (به روش الک خشک)، جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) (به روش سیلندر)، جرم مخصوص حقیقی (ρ_p) (به روش پیکنومتر)، حداکثر ظرفیت نگه داشت آب کمپوست (به روش اشباع کامل نمونه) و درصد تخلخل کل (n%) با بهره‌گیری از جرم مخصوص حقیقی و ظاهری به وسیله

1-Windrow

فرمول تجربی زیر محاسبه شد (۴۰ و ۵۴).

شکل ۱- محل تولید کمپوست از زباله‌های شهری در شهرستان سنندج
Figure 1- The site of the municipal solid wast compost producing of Sanadaj

$$n\% = (1 - \frac{\rho_b}{\rho_p}) \times 100$$

همچنین ناخالصی‌های موجود در کمپوست که شامل مواد غیر قابل کمپوست (خرده شیشه، پلاستیک و سنگریزه) و بذر و بخش‌های قابل جوانه‌زنی گیاهان بودند، به روش دستی و با دقت تمام در ۱۰۰ گرم وزن خشک نمونه‌ها جداسازی شدند. برای تعیین چگونگی توزیع اندازه ذرات ناخالصی‌های شیشه و سنگریزه هر دوی این ناخالصی‌ها از الک‌های ۴/۸، ۲ و ۱/۲ mm به گونه خشک عبور داده شدند، و به ۴ قسمت بخش‌بندی شدند. سپس هر بخش وزن شد و به صورت درصد بیان گردید.

تجزیه‌های شیمیایی انجام شده در این پژوهش شامل: میزان کربن آلی کل به روش خشک، سوزاندن در کوره (۳۷)، میزان pH و شوری هر دو در سوسپانسیون نسبت ۱ به ۵ (کود به آب) به ترتیب به کمک دستگاه pHمتر (Model 744, Metrohm Pty Ltd., Herisau, Switzerland) و ECمتر (Model 712, Metrohm Pty Ltd., Herisau, Switzerland) اندازه‌گیری شدند. نیتروژن کل به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (۱۳)، و میزان کل سایر عناصر به روش خاکستر خشک انجام گردید و سپس با محلول $HCl:H_2O$ (1:1) عصاره‌گیری شدند (۲۷).

عصاره‌های تهیه شده تا انجام آزمایش‌ها در دمای ۴° C در یخچال نگهداری شدند. سپس در عصاره به دست آمده میزان کل کلسیم، منیزیم به روش کمپلکسومتری (۱۲)، پتاسیم و سدیم به روش نشر اتمی به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر (Model BWB-1, Technology, UK Ltd.)، فسفر به روش رنگ‌سنجی (۳۵) به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (Model Cary 50, Varian Australia Pty Ltd. Mulgrave, Victoria.)، و همچنین میزان کل فلزات سنگین (منگنز، آهن، 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.) اندازه‌گیری شدند.

داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزارهای SAS9 برای تجزیه آنالیز واریانس یک طرفه و مقایسه میانگین‌ها با روش چند دامنه دانکن مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. همچنین نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم افزار EXCEL رسم شدند.

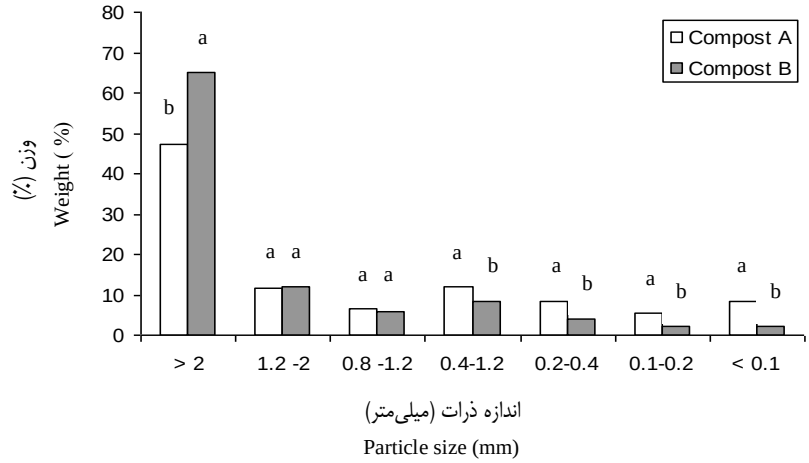
نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی

توزیع اندازه ذرات

برای تعیین توزیع اندازه ذرات هر نمونه از سری الک‌های ۲، ۱/۲، ۰/۸، ۰/۴، ۰/۲ و ۰/۱ mm عبور داده شد. به گونه‌ای که هر نمونه به ۷ بخش یعنی ۲< ، ۲-۱/۲، ۱/۲-۰/۸، ۰/۸-۰/۴، ۰/۴-۰/۲، ۰/۲-۰/۱ و ۰/۱ mm> بخش‌بندی شد. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، بیشترین میزان ذرات در هر ۲ نوع کمپوست A و B در بخش ۲ mm> به دست آمد، که به ترتیب برابر ۴۷/۲ و ۶۵/۳ درصد از کل ذرات را شامل می‌شد. اما کمترین میزان در کمپوست نوع A مربوط به بخش ۰/۲-۰/۱ mm و در کمپوست نوع B مربوط به بخش ۰/۱ mm> بود، که به ترتیب ۵/۵ و ۲/۰ درصد از کل ذرات را شامل می‌شد. نتایج بخش‌بندی میزان درصد اندازه ذرات مختلف کمپوست‌های مورد بررسی در این پژوهش با نتایج ساها و همکاران (۵۵) هماهنگی دارد. همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، در هر ۲ نوع کمپوست با کاهش اندازه ذرات میزان درصد ذرات کاهش می‌یابد. اما هر چه زمان فرآوری کود افزایش می‌یابد، میزان ذرات ریزتر در کود افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که در تمامی بخش‌های کوچک‌تر از ۰/۴ mm اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵

درصد میان میزان ذرات در ۲ نوع کمپوست مورد بررسی مشاهده گردید. این یافته‌ها با یافته‌های راویو و همکاران (۴۲) هماهنگی دارد، این پژوهندگان چنین گزارش کردند که با افزایش زمان فراوری کمپوست، به دلیل تجزیه بیشتر، میزان جرم مخصوص ظاهری و وزن خاکستر کود افزایش می‌یابد، در حالی که میزان اندازه ذرات کود کاهش می‌یابد.



شکل ۲- توزیع اندازه ذرات در کمپوست‌های بررسی شده

(بر اساس مقایسه میانگین چند دامنه دانکن، در یک اندازه خاص ستون‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار با هم ندارند).

Figure 2- Particle size distribution in the studied composts

(According to Duncan's Multiple Range Test, in each size, values followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ level).

میزان ناخالصی‌ها

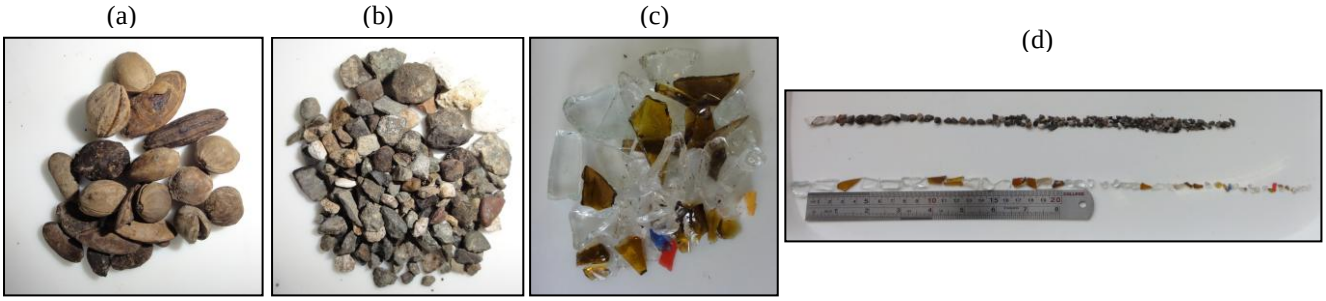
وجود ناخالصی‌ها اعم از خرده شیشه، پلاستیک و غیره آثار نامطلوبی بر کیفیت کود برای اهداف گوناگون کشاورزی دارد، به گونه‌ای که چنانچه سایر ویژگی‌های کیفی کود در حد بهینه باشند، وجود میزان زیاد این ناخالصی‌ها می‌تواند کود را به طور کلی از درجه انتفاع خارج نماید. در این پژوهش هر دو نوع کمپوست A و B دارای میزان ناخالصی کل تقریبا یکسان به ترتیب ۳۰/۳ و ۳۲/۵ درصد بودند (شکل ۳ و ۴). بنابراین به نظر می‌رسد که زمان فرآوری تاثیری در میزان ناخالصی‌ها ندارد، و این یک امر طبیعی است، چرا که اغلب ناخالصی‌ها غیرقابل کمپوست بوده، و میزان آنها با زمان تغییر نمی‌کند. بیشترین میزان این ناخالصی‌ها در هر ۲ نوع کمپوست مربوط به میزان سنگریزه و شیشه بود، که میزان ناخالصی خرده شیشه در کمپوست A و B به ترتیب ۱۱/۱ و ۱۰/۶ درصد، و میزان سنگریزه به ترتیب ۱۸/۲ و ۱۹/۸ درصد از کل ناخالصی‌ها را تشکیل دادند (شکل ۳ و ۴). میزان سایر ناخالصی‌ها اعم از پلاستیک و غیره در حد ناچیز بودند، به گونه‌ای که میزان ناخالصی پلاستیک در ۲ نوع کمپوست به صورت مساوی، ۰/۳ درصد از کل ناخالصی‌ها را تشکیل داد.

جهت مقایسه با حدود استاندارد و همچنین تصمیم‌گیری در رابطه با عملیات اصلاحی بعدی برای رفع ناخالصی‌ها یاد شده، اطلاع از چگونگی توزیع اندازه ذرات آنها یک امر ضروری است. بنابراین همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، ناخالصی‌های سنگریزه و شیشه با بهره‌گیری از الک خشک به اندازه‌های ۴/۸<، ۴/۸-۲، ۲-۱/۲ و ۱/۲ mm> بخش‌بندی شدند.

نتایج نشان داد که در هر دو مورد بیشترین میزان ناخالصی‌ها مربوط به ذرات بیش از ۲ mm (در حدود ۹۷ درصد) بود. بر طبق استاندارد کشور سویس (ASCP[1]) (۱۰) که میزان سنگریزه‌های بزرگتر از ۵ mm برای استفاده از کمپوست برای اهداف کشاورزی باید کمتر از ۵ درصد باشد، میزان سنگریزه در هر ۲ نوع کود به گونه مساوی به میزان ۱/۴ برابر بیش از این حد مجاز بود. یادآوری می‌شود در این پژوهش به دلیل اینکه بزرگترین الک استاندارد موجود با اندازه منافذ ۴/۸ mm بود، و این اندازه با اندازه استاندارد اختلاف ناچیزی داشت، لذا به جای استاندارد ۵ mm، ذرات با قطر بزرگتر از ۴/۸ mm ملاک استاندارد قرار گرفته‌اند. اما بر طبق استاندارد یاد شده میزان ناخالص‌های شیشه، پلاستیک و فلزات بزرگتر از ۲ mm برای استفاده از کمپوست برای اهداف کشاورزی باید کمتر از ۰/۵ درصد باشد، در حالی که میزان این ناخالصی در ۲ کمپوست A و B به ترتیب به میزان ۲۲/۲ و ۲۱/۲ برابر بیش از این حد مجاز بود. بنابراین از نظر ویژگی‌های فیزیکی وجود ناخالصی‌های شیشه و سنگریزه استفاده از

1- Association of Swiss Composting and Methanisation Plants (ASCP)

این دو نوع کمپوست در زمین‌های کشاورزی را محدود می‌سازد. در رابطه با ناخالصی بذر از نظر وزنی هر دو نوع کمپوست A و B به ترتیب دارای ۰/۶ و ۱/۷ درصد ناخالصی بودند. بذرهای یافت شده بیشتر از نوع جالیز، انگور، گیلاس، زرد آلو، سنجد و گلابی بودند (شکل ۴)، که به نظر می‌رسید تمامی بذرها در هر ۲ نوع کمپوست قدرت جوانه‌زنی خود را از دست داده‌اند، و کمپوست‌ها از این نظر دارای محدویت استفاده نبودند.



شکل ۴- ناخالصی‌های جدا شده از کمپوست‌های مورد بررسی، بذور (a)، سنگریزه (b)، شیشه (c) و تخمینی از اندازه آنها (d)
Figure 4- The impurities seprated from the studied composts, seeds (a), gravels (b), glass (c) and their sizes (d)

میزان رطوبت اولیه

میزان رطوبت اولیه کمپوست می‌تواند اطلاعاتی در رابطه با شرایط فراوری، روش نگهداری کمپوست و همچنین سهولت حمل و استفاده از آن به دست دهد (۴۵). بر طبق استاندارد انجمن کود کشور هند (FAI[1]) میزان رطوبت مناسب کمپوست در پایان فراوری باید بین ۱۵ تا ۲۵ درصد باشد (۲۰). کمپوست‌های با میزان پایین رطوبت ممکن است به اندازه کافی فراوری نشده باشند، و یا اینکه به مدت طولانی نگهداری شده باشند. کمپوست‌هایی که به میزان خیلی زیادی رطوبت خود را از دست داده‌اند به دلیل ایجاد گرد و غبار، شرایط استفاده و نگهدارای آنها دشوار است. همچنین کمپوست‌های با میزان زیاد رطوبت ممکن است شرایط نگهداری و هزینه حمل و نقل آنها بالا باشد (۴۵). همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، میزان درصد رطوبت اولیه در دو نوع کمپوست مورد بررسی از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. به طوری که میانگین این پارامتر در کمپوست نوع A و B به ترتیب ۱۷/۲ و ۳۴/۸ درصد به دست آمد. این نتایج نشان می‌دهند که میزان رطوبت اولیه در کمپوست نوع B به میزان ۳۹/۲ درصد بیش از حد بالایی (۲۵ درصد) استاندارد یاد شده است. به نظر می‌رسد این مسئله به دلیل پایین بودن زمان فراوری این نوع کمپوست و بالا بودن ماده آلی آن نسبت به کمپوست نوع A و به تبع آن نگه داشت میزان بیشتر رطوبت نزولات جوی در خود باشد، زیرا این کمپوست‌ها در فضای باز نگهداری می‌شوند. در هر صورت میزان رطوبت اولیه به دست آمده در کمپوست‌های مورد بررسی در دامنه میزان گزارش شده (۴۵/۴-۳/۶ درصد) توسط ساها و همکاران (۴۵) در کمپوست‌های حاصل از زباله‌های خانگی در ۳۶ شهر مختلف در کشور هند بود. همچنین میزان رطوبت اولیه در کمپوست نوع A (۱۷/۲ درصد) تقریبا برابر با میانه رطوبت اولیه (۱۷/۱ درصد) در ۳۶ کمپوست مورد بررسی توسط محققین یاد شده بود.

جرم مخصوص حقیقی و ظاهری، حداکثر ظرفیت نگه داشت آب و تخلخل کل

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که کاربرد طولانی مدت کمپوست با جرم مخصوص ظاهری پایین می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله افزایش تخلخل و میزان ظرفیت نگه داشت آب خاک شود، که به نوبه خود می‌تواند نفوذ ریشه در خاک را تسهیل نموده و توان دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (۲۲ و ۴۸). در این پژوهش جرم مخصوص حقیقی (ρ_p) و جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) در کمپوست نوع A و B به گونه میانگین به ترتیب ۱/۸ و ۱/۹، ۰/۷۴ و ۰/۵ g cm^{-3} به دست آمد (جدول ۱). این نتایج نشان می‌دهند که ρ_b کمپوست نوع A بیشتر از نوع B است، به سخن دیگر کمپوست نوع A فشرده‌تر از نوع B است. همچنین میزان ρ_b کمپوست نوع A در محدوده استاندارد (۰/۷-۰/۵ g cm^{-3}) گزارش شده توسط FAI (۲۰) می‌باشد. در حالی که میزان ρ_b به دست آمده برای کمپوست نوع B به میزان ۰/۲ g cm^{-3} کمتر از حد پایینی (۰/۷ g cm^{-3}) گزارش شده برای ρ_b توسط استاندارد یاد شده می باشد. این مسئله احتمالا به دلیل بیشتر بودن میزان ماده آلی در کمپوست نوع B نسبت به نوع A باشد (۴۵). افزون بر آن راویو و همکاران (۴۲) گزارش کردند که با افزایش زمان فراوری کمپوست، به دلیل تجزیه بیشتر، میزان جرم مخصوص ظاهری و وزن خاکستر کود افزایش می‌یابد، در حالی که میزان اندازه ذرات کود کاهش می‌یابد.

1-The Fertilizer Association of India (FAI)

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی ۲ نوع کمپوست بررسی شده با زمان فرآوری بین ۴ تا ۸ سال (نوع A) و بین ۱ تا ۴ سال (نوع B)[1]

Table 1- Some of the physical properties of the studied composte with processing time between 4 to 8 years (type A) and between 1 to 4 years (type B)[1]

پارامتر Parameter	نوع کمپوست Compost type	میزان Content	حد مجاز Primsible limit	وضعیت استفاده[5] Usage status
رطوبت اولیه Initial moisture (درصد)	A	17.2 b	درصد 25-15 (20) (۲۰)	مجاز Permissible
	B	34.8 a		غیر مجاز Impermissible
جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g cm^{-3})	A	0.74 a	0.7-0.9 (20) (۲۰)	مجاز Permissible
	B	0.50 b		غیر مجاز Impermissible
جرم مخصوص حقیقی Particle density (g cm^{-3})	A	1.8 a	بدون حد مجاز Non guideline	-
	B	1.9 a		
تخلخل Porosity (درصد)	A	57.7 b	بدون حد مجاز Non guideline	-
	B	74.3 a		
حداکثر ظرفیت نگه داشت آب Water holding capasity (درصد)	A	100 b	بدون حد مجاز Non guideline	-
	B	136 a		

۱. بر اساس آزمون دانکن، میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف مربوط به پارامتر مورد اندازه‌گیری از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار دارند.

1. According to Duncan's test, in each size, values followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ level

همچنین یافته‌های این پژوهش با یافته‌های سولیوان و میلر (۵۰) که گزارش کردند چنانچه میزان رطوبت کمپوست در محدوده ۳۵ تا ۵۵ درصد (در این پژوهش میزان رطوبت اولیه کمپوست نوع B، ۳۴/۸ درصد بود) باشد، میزان جرم مخصوص ظاهری کمپوست در محدوده ۰/۵–۰/۷ g cm^{-3} (در این پژوهش کمپوست نوع B، ۰/۵ g cm^{-3}) خواهد بود، هم‌خوانی دارد. همچنین ژائو و همکاران (۵۴) میزان ρ_b کمپوست حاصل از زباله‌های شهری کارخانه تیانین زیاودیان [1] در کشور چین را ۰/۷۵ g cm^{-3} گزارش کردند. همچنین میزان ρ_b به دست آمده در کمپوست‌های مورد بررسی در دامنه میزان گزارش شده (۰/۵۲–۱/۱۵ g cm^{-3}) توسط ساها و همکاران (۴۵) در کمپوست‌های حاصل از زباله‌های خانگی در ۳۶ شهر مختلف در کشور هند بود. همچنین میزان ρ_b در کمپوست نوع A (۰/۷ g cm^{-3}) نزدیک به میانه ρ_b (۰/۸ g cm^{-3}) در ۳۶ کمپوست مورد بررسی توسط محققین یاد شده بود. در هر صورت این نتایج نشان می‌دهند به دلیل اینکه جرم مخصوص ظاهری کمپوست با میزان تخلخل کل آن رابطه عکس دارد، بنابراین کاربرد کمپوست‌های مورد بررسی که دارای جرم مخصوص ظاهری پایین می‌باشند، به طور مستقیم می‌توانند تخلخل کل خاک و ویژگی‌های وابسته به آن را بهبود بخشند، و به طور غیرمستقیم به دلیل وجود مواد آلی در آنها به شیوه‌های گوناگون می‌توانند سبب بهبود و افزایش پایایی ساختمان خاک، و به تبع آن بهبود تخلخل کل خاک شوند.

حداکثر ظرفیت نگه داشت آب و تخلخل کل در کمپوست نوع Aو B به گونه میانگین به ترتیب ۱۰۰ و ۱۳۶، ۵۷/۷ و ۷۴/۳ درصد بود (جدول ۱). این نتایج نشان می‌دهند که حداکثر ظرفیت نگه داشت آب و تخلخل کل در کمپوست نوع B بیش از نوع A است. با توجه به کمتر بودن جرم مخصوص ظاهری و بیشتر بودن ماده آلی در کمپوست نوع B نسبت به نوع A، چنین نتایجی مورد انتظار است. ژائو و همکاران (۵۴) میزان تخلخل کل کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی را ۶۸ درصد گزارش کردند، اما میزان حداکثر ظرفیت نگه داشت آب کمپوست (۶۶/۰ درصد) گزارش شده توسط این محققین به طور چشم‌گیری کمتر از میزان به دست آمده در این پژوهش بود.

ویژگی‌های شیمیایی

اسیدیته، شوری و کربن آلی

pH یکی از فاکتورهای مهم در میزان فراهمی عناصر غذایی در خاک می‌باشد، به گونه‌ای که معمولا با افزایش pH خاک میزان فراهمی عناصر برای گیاهان کاهش می‌یابد (۴۷). همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است میزان pH در کمپوست نوع A و B به ترتیب ۷/۴ و ۷/۵، به دست آمد، و از نظر آماری هر دو نوع کمپوست در رابطه با این پارامتر اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. میزان pH در دو نوع کمپوست در دامنه استاندارد pH (<۸/۲) برای کودهای آلی بود (۱۰). بنابراین کاربرد کمپوست‌های یاد شده در خاک از نظر pH

1-Tianiin Xiaodian

محدویت کاربرد ندارند. شوری می‌تواند از راه‌هایی مانند خشکی فیزیولوژیک، سمیت و عدم تعادل عناصر غذایی رشد و توسعه گیاهان را دچار اختلال سازد (۳۰). در روندی مشابه با pH از نظر آماری هر دو نوع کمپوست در رابطه با میزان شوری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند، به طوری که میزان EC در کمپوست نوع A و B به ترتیب ۵/۷ و ۶/۱ dSm^{-1} به دست آمد (جدول ۲). بنابراین میزان EC، در دو نوع کمپوست در دامنه استاندارد EC (<۴dSm^{-1}) برای کودهای آلی نمی‌باشد (۱۰). بنابراین کاربرد این کمپوست‌ها در خاک از نظر شوری دارای محدویت بوده، و در صورت کاربرد دراز مدت آنها می‌تواند زیان‌های ناشی از شوری را که در بالا یاد شد به بار آورد. در این راستا شریفی و همکاران (۴) میزان pH در کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی شهر اصفهان را ۷/۵ گزارش کردند، اما این محققین میزان EC (۱۵/۸ dSm^{-1}) در کمپوست یاد شده را بسیار بیشتر از کمپوست‌های مورد بررسی در این پژوهش گزارش نموده‌اند. افزون بر متفاوت بودن ساختار زباله‌های شهری در مناطق مختلف، این مسئله احتمالا به دلیل شستشوی نمک‌های محلول از کمپوست‌های مورد بررسی در اثر نزولات جوی باشد، زیرا این کمپوست‌ها به مدت طولانی است که در محل کارخانه در فضای باز نگهداری می‌شوند. اما میزان EC به دست آمده در کمپوست‌های مورد بررسی در دامنه میزان گزارش شده (۰/۵۲-۸/۴ dSm^{-1}) در کمپوست حاصل از زباله های شهری در کشور هند توسط ساها و همکاران (۴۵) بود.

ماده آلی دارای طیف وسیعی از ترکیبات آلی ساده و پیچیده است، که غذا را برای طیف وسیعی از ریزجانداران خاک مهیا نموده، و به عنوان یک منبع کندرهای عناصر غذایی برای گیاهان می‌باشد. ماده آلی همچنین سبب نگهدارای آب و یون‌ها در خاک و ایجاد ساختمان خاک و پایداری آن می‌شود (۵۱ و ۱۸). میزان کربن آلی کل در کمپوست نوع A و B به ترتیب ۱۶/۳ و ۲۱/۴ درصد بود (جدول ۲). به دلیل زمان فرآوری بیشتر کمپوست نوع A و از دست رفتن کربن بیشتر در اثر تجزیه میکروبی میزان کربن کل آن کمتر از کمپوست نوع B بود (۴۲ و ۴۵). شریفی و همکاران (۴) میزان کربن آلی در کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی شهر اصفهان را ۲۷/۵ درصد گزارش کردند. در حالی که ساها و همکاران (۴۵) میزان کربن آلی کل در ۳۶ کمپوست مورد بررسی حاصل از زباله‌های شهری در کشور هند را در دامنه ۵/۲ تا ۲۲/۶ درصد گزارش نمودند. به هر گونه میزان کربن آلی کل در هر دو نوع کمپوست در محدوده استاندارد (بزرگتر از ۱۶ درصد) برای میزان کربن آلی کل کودهای آلی گزارش شده توسط FAI (۲۰) قرار داشت، و اضافه شدن آن به خاک می‌تواند سودمندی‌های یاد شده در بالا را در خاک به بار آورد.

میزان عناصر غذایی و عناصر سنگین

از میان عناصر غذایی مورد نیاز گیاه عناصر پرمصرف اولیه یعنی نیتروژن، فسفر و پتاسیم از پارامترهای مهم کیفی کمپوست می‌باشند، زیرا در مقایسه با سایر عناصر غذایی این ۳ عنصر بیشترین جذب را توسط گیاه و رشد و توسعه آن دارند. به گونه‌ای که به دلیل نقشی که نیتروژن در رشد رویشی گیاه دارد می‌توان گفت که نیتروژن عنصر رشد است، و به دلیل نقشی که فسفر در ذخیره و انتقال انرژی و همچنین در اندام‌های زایشی گیاه دارد می‌توان گفت که فسفر کلید حیات است، همچنین به دلیل نقشی که پتاسیم در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی (ازجمله سرما، کم آبی و بیماری‌ها) دارد می‌توان گفت که پتاسیم عنصر سلامت و مقاومت است (۴۳). در این پژوهش میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم از عناصر غذایی پرمصرف اولیه گیاه و همچنین کلسیم و منیزیم از عناصر غذایی پرمصرف ثانویه گیاه در هر دو نوع کمپوست مورد بررسی در جدول ۲ آمده است. همان طور که در این جدول نشان داده شده است به دلیل ساختار تقریبا یکسان مواد کمپوست شونده در هر دو نوع کمپوست مورد بررسی، میزان عناصر یاد شده به جز منیزیم در کمپوست‌های یاد شده از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. پژوهش‌های زیادی وجود دارد که میزان عناصر پرمصرف گیاهان را در کمپوست حاصل از زباله‌های شهری را گزارش نموده‌اند، که نتایج این پژوهش در بیشتر موارد در دامنه میزان‌های گزارش شده توسط آنها قرار دارد. برای نمونه شریفی و همکاران (۴) میزان نیتروژن در کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی شهر اصفهان را ۱/۸ درصد گزارش کردند. همچنین مجاب قصرالدشتی و همکاران (۵) میزان نیتروژن، پتاسیم و فسفر در کمپوست حاصل از زباله‌های شهری را به ترتیب ۳/۱۹ درصد، ۰/۴۱ درصد و ۰/۰۸۶ درصد گزارش نمودند. رضوان‌طلب و همکاران (۲) نیز میزان نیتروژن، پتاسیم و فسفر در کمپوست زباله شهری را به ترتیب ۲/۰۳ درصد، ۰/۸ درصد و ۰/۴ درصد گزارش کردند. همچنین ژائو و همکاران (۵۴) میزان کلسیم و پتاسیم در کمپوست حاصل از زباله‌های شهری کارخانه تیانین زیاودیان در کشور چین را به ترتیب ۵/۵ و ۰/۶ درصد گزارش نمودند. در این پژوهش برای ارزیابی میزان مطلوبیت کمپوست‌های مورد بررسی از نظر عناصر غذایی پرمصرف اولیه و ثانویه مورد نیاز گیاه از استاندارد انجمن کود کشور هند (۲۰) برای اهداف کشاورزی استفاده شد. بر طبق استاندارد یاد شده میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس وزن خشک کمپوست به ترتیب باید مساوی یا بیش از ۰/۵، ۰/۲۲ و ۰/۸۳ درصد باشد. با توجه به نتایج به دست آمده هر ۲ نوع کمپوست دارای میزان متعادل این عناصر بیش از این حدود استاندارد بوده، و دارای کیفیت مناسب به عنوان یک کود آلی از نظر عناصر یاد شده می‌باشند. گذشته از نقش اساسی کربن به عنوان منبع کربن یا انرژی برای ریزجانداران و نیتروژن به عنوان عامل اصلی رشد گیاهان، نسبت این ۲ عنصر (C/N) تعیین کننده میزان خالص معدنی شدن نیتروژن در خاک است. به گونه عموم زمانی که میزان C/N کود آلی کمتر یا

مساوی ۲۰ باشد، میزان خالص معدنی شدن نیتروژن در خاک مثبت خواهد بود (۲۰ و ۳۲).

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی ۲ نوع کمپوست بررسی شده با زمان فرآوری بین ۴ تا ۸ سال (نوع A) و بین ۱ تا ۴ سال (نوع B)[۱]

Table 2- Some of the chemical properties of the studied composts with processing time between 4 to 8 years (type A) and between 1 to 4 years (type B)[1]

پارامتر Parameter	نوع کمپوست Compost type	میزان Content	حد مجاز Permissible limit	ضریب زیان‌آوری Hazard Quotient
اسیدیته فعال pH	A	7.4 a	< 8.2	-
	B	7.5 a	(۱۰) (10)	-
هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})	A	5.7 a	< 4 (dSm^{-1})	-
	B	6.1 a	(۱۰) (10)	-
ماده آلی (درصد) Organic carbon (Percent)	A	16.3 b	> 16	-
	B	21.4 a	(۲۰) (20)	-
نیتروژن (درصد) N (Percent)	A	1.5 a	≥ 0.5	-
	B	1.8 a	(۲۰) (20)	-
فسفر (درصد) P (Percent)	A	1.4 a	≥ 0.22	-
	B	1.1 a	(۲۰) (20)	-
کربن/نیتروژن C/N	A	9.0 b	≤ 20	-
	B	11.8 a	(۲۰) (20)	-
وزن خاکستر Ash weight	A	71.9 a	بدون حد مجاز	-
	B	63.0 b	Non guideline	
پتاسیم (درصد) K (Percent)	A	0.7 a	≥ 0.83	-
	B	0.5 a	(۲۰) (20)	-
کلسیم (درصد) Ca (Percent)	A	5.4 a	بدون حد مجاز	-
	B	5.4 a	Non guideline	
منیزیم (درصد) Mg (Percent)	A	2.1 a	بدون حد مجاز	-
	B	2.1 b	Non guideline	
سدیم (درصد) Na (Percent)	A	0.6 a	بدون حد مجاز	-
	B	0.5 a	Non guideline	
روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn (mg kg^{-1})	A	718.8 a	700	1.03
	B	506.0 b	(۲۳) (23)	0.72
مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cu (mg kg^{-1})	A	339.1 a	400	0.85
	B	152.1b	(۲۳) (23)	0.38
آهن (درصد) Fe (Percent)	A	2.2 a	بدون حد مجاز	-
	B	1.5 a	Non guideline	
منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn (mg kg^{-1})	A	447.4 a	بدون حد مجاز	-
	B	335.8 b	Non guideline	
سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Pb (mg kg^{-1})	A	266.6 a	150	1.77
	B	204.9 b	(۲۳) (23)	1.36
نیکل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Ni (mg kg^{-1})	A	57.6 a	62	0.92
	B	38.4 b	(۲۳) (23)	0.62
کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cr (mg kg^{-1})	A	49.7 a	210	0.24
	B	30.8 b	(۲۳) (23)	0.15
کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Cd (mg kg^{-1})	A	2.1 a	3	0.70
	B	2.1 b	(۲۳) (23)	0.70

۱. بر اساس آزمون دانکن، میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف مربوط به پارامتر مورد اندازه‌گیری از نظر آماری در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار دارند.

1. According to Duncan's test, in each size, values followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ level

به سخن دیگر در C/N کمتر یا مساوی ۲۰ کود آلی، ریزجانداران در تجزیه چنین کودی نه تنها نیتروژن معدنی خاک را مصرف

نمی‌کنند، بلکه نیترژن اضاف بر نیاز خود را که در کود بی‌جنبش شده[1] است، را آزاد کرده و جهت استفاده گیاهان آن را وارد محلول خاک می‌کنند. در این پژوهش میزان C/N در کمپوست نوع A و B به گونه میانگین به ترتیب ۹/۰ و ۱۱/۸ به دست آمد، که بیانگر بهینه بودن C/N این کمپوست‌ها جهت بهبود ویژگی‌های خاک و رشد گیاه می‌باشد.

گزارش‌های زیادی در رابطه با وجود آلودگی فلزات سنگین در کمپوست و آلوده شدن خاک در اثر استفاده دراز مدت از آنها وجود دارد (۸، ۲۱، ۲۵، ۲۶ و ۳۱). لذا در این پژوهش برای ارزیابی میزان مطلوبیت کمپوست‌های مورد بررسی از نظر عناصر سنگین از استاندارد کمپوست انجمن علوم محیطی کشور کانادا (CCME[2]) (۲۳) برای اهداف کشاورزی استفاده شد. همچنین برای آگاهی یافتن از میزان شدت آلودگی کمپوست‌های مورد بررسی به عناصر سنگین، از شاخص ضریب زیان‌آوری[3] (HQ)، که عبارت است از نسبت بین میزان آن پارامتر در کمپوست به میزان استاندارد آن پارامتر که در این پژوهش استاندارد کشور کانادا بود، استفاده شد. چنین نسبتی را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

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

که در آن PC غلظت آن پارامتر در کمپوست‌های مورد بررسی و RfC میزان استاندار آن پارامتر می‌باشد. بنابراین چنانچه میزان شاخص HQ کوچکتر یا مساوی یک باشد، بیانگر مطلوبیت کود و بزرگتر از یک بیانگر عدم مطلوبیت آن جهت اهداف کشاورزی می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، میزان کل عناصر روی، مس، منگنز، سرب، نیکل، کروم و کادمیم در هر دو نوع کمپوست مورد بررسی در جدول ۲ آمده است. همان طور که در این جدول نشان داده شده است، میزان عناصر یاد شده در کمپوست نوع A که دارای زمان فرآوری بیشتری بود، در بیشتر موارد بیش از کمپوست نوع B بود؛ به طوری که در تمامی موارد اختلاف بین دو نوع کمپوست از نظر آماری معنی‌داری بود. این امر ممکن است مربوط به وجود ذرات ریزتر در کمپوست نوع A باشد. زیرا با 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 نگه‌دارند (۵۴). دیان و همکاران (۶) میزان غلظت کل نیکل، مس، روی و کادمیم را در کمپوست حاصل از زباله‌های شهری کارخانه رشت را به ترتیب ۴۱، ۲۶۶، ۲۰۸۵ و ۵ $mgkg^{-1}$ گزارش کردند. همچنین عابدینی‌طرقبه و همکاران (۷) میزان غلظت کل نیکل، کادمیوم، روی و مس را در کمپوست حاصل از زباله‌های شهری کارخانه مشهد را به ترتیب ۱۱۰، صفر، ۵۰۰ و ۳۱۱ $mg\ kg^{-1}$ گزارش کردند. حسین‌زاده (۳) میزان غلظت کل سرب، مس، کبالت، کادمیم، روی و کروم را در کمپوست حاصل از زباله‌های شهری کارخانه آرادکوه را به ترتیب ۳۹۳، ۸۲۶، ۹/۹۷، ۵/۹۷، ۹۶۸ و ۱۴۰/۹ $mg\ kg^{-1}$ گزارش کرد. همچنین این محقق میزان غلظت نیکل، کادمیم، سرب، روی و مس را در کمپوست حاصل از کارخانه کرج را به ترتیب ۳۵، ۰/۵، ۲۵۰، ۱۱۷۰ و ۳۱۳ $mg\ kg^{-1}$ گزارش کرد. از مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های یاد شده چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد، که نتایج حاصل از این پژوهش رویهمرفته در دامنه سایر گزارش‌های مربوط به عناصر سنگین موجود در کمپوست حاصل از زباله‌های شهری سایر نقاط ایران است.

بر طبق استاندارد CCME (۲۳) میزان حدود بحرانی کمپوست کلاس A برای عناصر روی، مس، سرب، نیکل، کروم و کادمیم در کمپوست برای اهداف کشاورزی به ترتیب باید کمتر و یا مساوی با ۷۰۰، ۴۰۰، ۱۵۰، ۶۲، ۲۱۰ و ۳ $mg\ kg^{-1}$ باشد. همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، میزان شاخص HQ محاسبه شده برای عناصر یاد شده در کمپوست نوع A و B به ترتیب ۱/۰، ۰/۷، ۰/۸۵، ۰/۴ و ۱/۸، ۱/۴ و ۰/۹، ۰/۶ و ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۷، ۰/۷ بدست آمد. این نتایج نشان می‌دهند که کمترین و بیشترین HQ به ترتیب مربوط به عناصر کروم و سرب می‌باشد. رویهمرفته HQ تمامی عناصر مورد بررسی بالا نبود، و تمامی عناصر مورد بررسی به جز سرب دارای HQ کمتر از ۱ بودند. بنابراین بر طبق استاندارد CCME برای کمپوست کلاس A، هر ۲ نوع کمپوست مورد بررسی از نظر میزان سرب دارای محدودیت استفاده برای اهداف کشاورزی می‌باشند. ضروریست یادآوری شود که میزان سرب در کمپوست‌های مورد بررسی کمتر از حد بحرانی میزان سرب در کمپوست دارای کیفیت کلاس B (۵۰۰ $mg\ kg^{-1}$) بر طبق استاندارد CCME بودند. استفاده از استاندارد کلاس B برای اهداف کشاورزی مجاز می‌باشد، اما استفاده از آن در مراتع، پارک‌ها و سکونتگاهای انسانی ممنوع است. همچنین میزان سرب در کمپوست‌های مورد بررسی کمتر از حداکثر حد مجاز کمپوست دارای کیفیت کلاس C1 (۳۰۰ $mg\ kg^{-1}$– ۱۵۰) استاندارد ملی کشور استرالیا (NRMMC[4]) (۳۸) بود (جدول ۳). همچنین میزان آهن کل در کمپوست نوع A و B بر اساس وزن خشک به گونه میانگین به ترتیب ۲/۲ و ۱/۵ درصد به دست آمد (جدول ۲)، که با توجه فراهم بودن کم آهن در شرایط خاک‌های ایران، این میزان آهن در کنار ماده آلی موجود در این کودها، در

1-Immobilization
2-The Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)
3- Hazard Quotient (HQ)
4-The National Water Quality Management Strategy (NRMMC)

صورت کاربرد در خاک می‌تواند میزان فراهم آهن در خاک را برای جذب توسط محصولات زراعی را بهبود ببخشد.

جدول ۳- حدود مجاز عناصر سنگین (mg kg^{-1}) برای کمپوست کیفیت کلاس C1 بر طبق استاندارد ملی کشور استرالیا (۳۸)

Table 3- Heavy metal limits (mg kg^{-1}) for compost C1 quality class, according to national standard of Australia (38)

	آرسنیک As	کادمیوم Cd	کروم Cr (III)	مس Cu	سرب Pb	جیوه Hg	نیکل Ni	روی Zn	سلنیم Se
مقدار Content	20	1	100-400	100-200	150-300	1	60	200-250	3

شاید یکی از مسائل مهم کیفی کودهای آلی که کمتر در استانداردهای جهانی به آن پرداخته شده است، میزان سدیم در این نوع کودها باشد. زیرا اگرچه میزان اندکی از سدیم برای رشد و توسعه برخی از گیاهان مانند اسفناج و کرفس مورد نیاز است، اما مقادیر بالای سدیم می‌تواند سبب افزایش درصد سدیم تبادلی (ESP[1]) که سبب از هم پاشیدگی ذرات و تخریب ساختمان خاک و مشکلات ناشی از آن مانند کاهش تهویه و کاهش نفوذ آب و ریشه در خاک می‌شود، را به بار آورد. همچنین جذب زیاد سدیم در گیاه سبب ایجاد سمیت سدیم با نشانه‌هایی مانند سوختگی حاشیه برگ‌های پیر و یا ریزش برگ‌ها می‌شود. افزون بر موارد یاد شده وجود زیادی سدیم در خاک در اثر ایجاد عدم تعادل عناصر غذایی در خاک ممکن است از جذب عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم توسط گیاه جلوگیری کند، و گیاه را از نظر این عناصر دچار کمبود نماید (۱۹، ۲۹، ۴۶ و ۵۳). بنابراین شایسته است به میزان سدیم در کودهای آلی توجه بیشتری مبذول شود. در این پژوهش میزان سدیم در کمپوست نوع A و B بر اساس وزن خشک به گونه میانگین به ترتیب ۰/۶ و ۰/۵ درصد به دست آمد. اگرچه استانداردی برای میزان سدیم در کمپوست برای اهداف کشاورزی ارائه نشده است، اما به دلیل میزان بالای کلسیم (با میانگین ۵/۴ درصد در هر ۲ نوع کمپوست) و منیزیم (با میانگین ۱/۷ درصد در هر ۲ نوع کمپوست)، در مقایسه با میزان پایین سدیم در ۲ نوع کمپوست مورد بررسی، به نظر می‌رسد در صورت کاربرد کودهای یاد شده در خاک، سدیم اثرات زیانبار یاد شده در بالا را نداشته باشد. چرا که کلسیم و منیزیم به دلیل داشتن ظرفیت، غلظت و شعاع یونی بیشتر، از واکنش زیر که سبب جابجایی سدیم به جای کلسیم و منیزیم در روی سایت‌های تبادلی کلوئیدهای خاک، و افزایش ESP و زیان‌های ناشی از آن می‌شود، جلوگیری می‌کنند (۱۱).

$$Na^{+}+\frac{1}{2}Ca-Clay \Leftrightarrow \frac{1}{2}Ca^{2+}+Na-Clay$$

میزان وزن خاکستر معرفی از میزان عناصر معدنی در کود می‌باشد، به عبارت دیگر با افزایش وزن خاکستر کود در صورت کاربرد در خاک این کود قادر به تامین میزان عناصر غذایی بیشتری برای گیاه می‌باشد. در این پژوهش میزان وزن خاکستر در کمپوست نوع A و B به ترتیب ۷۱/۹ و ۶۳/۰ درصد بود. با توجه به این نتیجه و همان گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است، با افزایش زمان فرآوری کود میزان وزن خاکستر و رویهمرفته میزان عناصر در واحد وزن خشک کود افزایش یافته است. این مسئله احتمالا به دلیل از دست رفتن کربن آلی بیشتر در اثر تجزیه میکروبی و همچنین کاهش اندازه ذرات با افزایش زمان فرآوری کود و تجمع بیشتر عناصر در این ذرات ریزتر باشد. چرا که همان‌گونه که قبلا بیان گردید در این پژوهش در کود A که دارای زمان فرآوری بیشتری است، دارای میزان کربن آلی کمتر و اندازه ذرات ریزتر بیشتر بود. همچنین در این پژوهش با کاهش اندازه ذرات میزان عناصر در واحد وزن خشک کود افزایش یافت (اطلاعات نشان داده نشده است). در تایید این دلایل راویو و همکاران (۴۲) گزارش کردند که با افزایش زمان فراوری کمپوست، به دلیل تجزیه بیشتر، وزن خاکستر و ذرات ریزتر کود افزایش می‌یابد. همچنین پتروزیلی (۴۱) و ژاو و همکاران (۵۴) در پژوهش خود که بر روی چگونگی توزیع عناصر با اندازه ذرات انجام داده بودند، چنین گزارش کردند، که با کاهش اندازه ذرات میزان عناصر در واحد وزن خشک کود افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

میزان ماده آلی در زمین‌های کشاورزی ایران و بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به دلیل بالا بودن سرعت تجزیه در مقایسه با میزان ورودی ماده آلی، پایین است. در طول چند دهه گذشته، یکی از راه‌های جبران این کاستی در خاک‌های زراعی استفاده از پس‌ماندهای آلی صنعتی، کشاورزی و خانگی بوده است. اما فرآوری نامناسب و همچنین وجود مواد زیان‌آور در رابطه با سلامت انسان و محیط زیست در کودهای فرآوری شده از این پس‌ماندها، از موارد قابل احتیاط در استفاده از این دسته اصلاح‌کنندگان خاک است. بنابراین در این پژوهش کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی شهر سنندج از نظر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کنترل کیفی شد. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که مهمترین محدویت-های کمپوست‌های مورد بررسی برای اهداف کشاورزی، وجود خرده

1-Exchangeable Sodium Percentage (ESP)

شیشه بزرگتر ازmm ۲، شوری و سرب می‌باشد. با قبول کردن استاندارد کلاس C1 کشور کانادا در رابطه با بالاترین حد مجاز سرب برای اهداف کشاورزی، می‌توان مشکل کمپوست‌های مورد بررسی را از نظر محدویت عنصر یاد شده را رفع کرد. برای رفع ناخالصی خرده شیشه‌ها می‌توان کمپوست‌ها را آسیاب نمود، و از زیان خرده شیشه‌ها تا حدی کاست. شاید یکی از راه حل‌های مناسب جهت رفع تمام محدودیت‌ها تعیین چگونگی توزیع عناصر سنگین، عناصر غذایی و شوری در اندازه ذرات مختلف دو کمپوست مورد بررسی می‌باشد. زیرا چنین بخش‌بندی به ما این اجازه را می‌دهد تا اندازه ذراتی از کود را که مسئول این محدودیت‌ها هستند را شناسایی نموده، و با حذف آنها کمپوست‌های مورد بررسی را بهسازی نمود. بنابراین پیشنهاد می‌شود چگونگی توزیع عناصر سنگین، عناصر غذایی و شوری در اندازه ذرات مختلف کمپوست‌ها بررسی شود. همچنین ضروریست کمپوست‌های مورد بررسی از نظر ویژگی‌های کیفی بیولوژیک از جمله آلودگی‌های میکروبی نیز مورد بررسی قرار گیرند. همچنبن پیشنهاد می‌شود به دلیل افزایش کاربرد کمپوست‌های حاصل از پس‌ماندهای مختلف در طول دهه گذشته، استاندارد ملی برای کنترل کیفیت کمپوست‌های تولید داخل کشور برای اهداف کشاورزی تنظیم گردد.

منابع

1- Abedini Toraghabeh J., Najafi A., Adynehnia A., and Karimian A. 2010. Evaluation of compost standards and introducing national estandard of Iran. In Proceedings of the The 4th National Conference of wastes, Mashhad, Iran. Mashhad, Iran. 20-21 May. 2010.

2- Achiba W.B., Gabteni N., Laing G.D., Verloo M., Boeckx P., Cleemput O.V., Jedidi N. and Gallali T. 2010. Accumulation and fractionation of trace metal in a Tunisian calcareous soil amended with farm yard manure and municipal solid wast compost. Journal of Hazardous Materials,176:99-108.

3- Almasiyan F., Astayi A., and Nasiri Mahallati M. 2006. Effect of municipal leacate and compost on yield and yield component of wheat. Journal of Biyaban, 11(1):89-97.

4- 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.

5- Bohn H.L., Mcneal B.L., and O'connor G.A. 1985. Soil Chemistry. Wiley Interscience, New York.

6- Botha C.R., and 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.

7- Bremener J.M., Mulvaney C.S., nitrogen total. In. Page, A. L. et. al. 1982. Method of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy Inc Madison, Wisconsin USA. Pp. 595-624.

8- Businelli D., Massaccesi L., Said-Pullicino D., and Gigliotti, G. 2009. Long-term distribution, mobility and plant availability of compost-derived heavy metals in a land-fill covering soil. Science of the Total Environment, 407:1426-1435.

9- Cala V., Cases M.A., and Walter I. 2005. Biomass production and heavy metal content of Rosmarinus officinalis grown on organic waste-amended soil. Journal of Arid Environments, 62:401–412.

10-Cherif H., Arari F., Ouzari H., Marzorati M., Brusetti L., Jedidi N., Hassan A., Daffonchio D. 2009. Effects of municipal soild waste compost, farmyard manure and chemical fertilizers on wheat growth, soil composition and soil bacterial charectricties under Tunisian arid climate. European Journal of Soil Biology, 45:138-145.

11-Ding X.R., Li G.X., Li, Y.C. 2004. Effect of screening and adding night soil on characteristics of MSW compost. Journal of Agro-Environment Science, 23:122-127.

12-Domenico PA., Schwartz F.W. 1990. Physical and chemical hydrogeology. John Wiley and Sons, New York.

13-Dyan B., Khazeri S., and Tavakoli B. 2010. Environmental audit compost plant of Rasht. Journal of Biology Science, 4: 39-49. (in Persian)

14-European Environment Agency (EEA). 2013. Managing municipal solid waste (a review of achievements in 32 European countries). Denmark. ISBN 978-92-9213-355-9. http://ec.europa.eu.

15-FAI., 2007. The Fertilizer (Control) Order 1985. The Fertiliser Association of India,10, Shaheed Jit Singh Marg, New Delhi, India.

16-Farrell M., and Jones D.L. 2009. Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. Bioresour Technol, 100:4301–4310

17-Fathi H., Zangane A., Fathi H., and Moradi H. 2014. Municipal solid waste characterization and it is assessment for potential compost production: A case study in Zanjan city, Iran. American Journal of Agriculture and Forestry, 2, (2):39-44.

18-Forbes J.C., and Watson, R.D. 1992. Plants in agriculture, Cambridge University Press.

19-Guidelines for Compost Quality, 2005, published by the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) and replace the previous version–Guidelines for Compost Quality, 1996.

20-Hargreaves J.C., Adl M.S., and Warman P.R. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment, 123:1-14.

21-Haroun M., Idri A., and Omar S. 2009. Analysis of heavy metals during composting of the tannery sludge using

physicochemical and spectroscopic techniques. Journal of Hazardous Materials, 165:111–119.
22-Hossainzadeh H. 2004. The management of municipal solid waste composting process in order to heavy metals pollution control (Case study: Tehran MSW Composting Plant). MSc. thesis, Department of Soil Science, College of Environmental Science, University of Tehran, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract).
23-Imad A.K. 2011. Municipal Solid Waste Management in Developing Countries: Future Challenges and Possible Opportunities, Integrated Waste Management - Volume II, Mr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-447-4.
24-Jolley K. 2012. Composting Practices at the Trans-Jordan Landfill. (J. R. Stebbins, Interviewer). South Jordan, Utah.
25-Jons J.B.Jr. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton, FL.
26-Jorado C.P., Nascentes C.C., Cecon P.R., Fontes R.L.F., and Pereira J.T. 2006. Heavy metal availability in soil amended with composted urban solid wastes. Environmental Monitoring and Assessment, 112:309-326.
27-Kelly WP., 1951. Alkali soils – Their Formation, Properties and Reclamation. Reinhold Publ. New York.
28-Lauchli A., Epstein E. 1990. Plant responses to saline and sodic conditions. In: Tanji KK (ed.) Agricultural salinity assessment and management. ASCE New York. ASCE manuals and reports on engineering practice No, 71:113–137.
29-Madrid F., and Lopez R., and 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.
30-Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London; San Diego: Academic Press.
31-Miller C. 2000. Understanding the Carbon-Nitrogen Ratio, 30 ,4:20.
32-Mojab Ghasrodashti A., Balouchi H.R., and Yadavi A.R. 2011. Effect of municipal solid waste compost and nitrogen fertilizer on grain yield, forage production and some morphological traits of sweet corn (zea mayz L. sacchrata). Electical Journal of Crop Production, 4 (1): 115-130. (in Persian with English abstract)
33-Murphy J., and Riley J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, 27:31–36.
34-Mylavarapu R.S., and Zinati G.M. 2009. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. Scientia Horticulturae, 120:426-430.
35-Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods; Sparks, D.L., ed.; SSSA Book Series No. 5; Soil Science Society of America: Madison, Wisconsin, 961–1010.
36-NRMMC. 2004. National Water Quality Management Strategy - Guidelines for Sewerage Systems - Biosolids Management.
37-Ojeda G., Alcaniz J.M., and 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.
38-Page A.L. et. al. 1982. Method of soil analysis. Part 1 and 2. American Society of Agronomy Inc Madison, Wisconsin USA.
39-Petruzzelli G., Szymura I., Lubrano L., Pezzarossa B. 1989. Chemical speciation of heavy metal in different size fractions from solid urban wastes. Environmental Technology Letters, 10:521-526.
40-Raviv M., Tarre S., Geler Z., and Shelef G. 1987. Changes in some physical and chemical properties of fibrous solids from cow manure and digested cow manure during composting. Biological Wastes, 19:309–318.
41-Rezaee R., Nasseri S., Mahvi A.H., Jafari A., Mazloomi S., Gavami A., and 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.
42-Rezvantalab N., Pirdashti H., Bahmanyar M.A., and Abasian A. 2008. Study some of yield and yield component of corn Zea mays L. response to different types and rates of organic and chemical fertilizers. Journal of of Agriculture and Natural Resources, 15(5):139-147. (in Persian with English abstract).
43-Saha J.K., Panwar N., and Singh M.V. 2010. Anassessment of municipal solid waste compost quality produced in different Cities of India in the perspective of developing quality control indices. Waste Management, 30:192–201.
44-Saha J.K., Panwar N.R., and 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
45-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 Persian with English abstract).
46-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 and Environmental Sciences, 12(4):548-555.
47-Smith R.S. 2009. A Critical Review of the Bioavailability and Impacts of Heavy Metals in Municipal Solid Waste

Composts Compared to Sewage Sludge, Environment Inte rnational, 35(1):142-156.

48-Soumare M., Tack F., and Verloo M. 2003b .Characterisation of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application. Waste Management, 23:517–522.

49-Soumare M., Tack F.M., and Verloo M.G. 2003a. Effect of municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. Bioresource Technology, 86:15-20.

50-Stebbins, J.R. 2014. Evaluation of Composting of Municipal Solid Waste. Msc. Thesis, Civil and Environmental Engineering. Utah State University. http://digitalcommons.usu.edu/etd/2126.

51-Sullivan D.M., and Miller R.O. 2001. Compost quality attributes, measurements, and variability. In: Stoffella, P.J., Kahn, B.A. (Eds.), Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 95–120.

52-Swift R.S. 2001. Sequestration of carbon by soil. Soil Sci, 166:858.

53-Tarehbari H., Akhavan limodahi F., and Jafargholi A. 2010. Contaminations of compost prouduced from manucipal soilid waste and its deleterious effects on human. In Proceedings of the 4th National Conference and Exhibition on Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. 1-2 Nov. 2004.

54-Tchobanoglous G., 2003. Hand book of solid waste management, Mac Graw – Hil.

55-Todd D.K., Mays, L.W. 2005. Groundwater hydrology. 3rd edn. Wiley, Hoboken, N J, 656.

56-Yahaya O., Yakubu S.E., Whong C.M.Z., and Ado S.A. 2013. Determination of Bacteriological Quality of Animal and Municipal Solid Waste using Windrow and Open Pile Composting Techniques in Zaria, Nigeria. Asian Journal of Agricultural Science 5(5): 88-92.

57-Zhao S., Liu X., Dou L. 2012. Physical and chemical characterization of municipal solid waste compost in different partical size fractions. Polish Journal of Environmental Studies, 21(2): 509-515.

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1345-1359

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۳۵۹-۱۳۴۵

The Assessment of Municipal Solid Waste (MSW) Compost Properties Produced in Sanandaj City with a View of Improving the Soil Quality and Health

Z. Sharifi[1*] - S. M. T. Hossaini[2]

Received: 28-07-2014
Accepted: 20-06-2015

Introduction: the use of municipal solid waste (MSW) compost in agriculture as a soil conditioner is increasing day by day because of its positive effects on biological, physical, and chemical soil properties. However, some of the composts because of contamination with heavy metals and other impurities can have deleterious effects on groundwater quality, agricultural environment, food chain, plant growth and activity of soil microorganisms. Therefore, this study was conducted to investigate the physical and chemical properties, fertilizing potential and heavy metal polluting potential of two types of municipal solid waste composts with processing time between 4 to 8 years (type A) and between1 to 4 years (type B) produced in Sanandaj city with the aim of using it as an organic fertilizer.

Materials and Methods: Sanadaj city, the center of Kurdistan province, with a population of about 335,000 is located in the west of Iran. The current solid waste generation from the city is about 320 t/day, which are not separated at source of generation. About 200 t of the total produced wastes are composted using an open windrows system at the Sanandaj MSW Composting Plant, which is located in 10 km of Sanadaj-Kamiaran road and the rest are disposed at the landfill site. The compost manufactured by the composting plant has been collected around it in two different locations. The first belonges to the product of 2004-2008 (type A) and the second belonges to the product of 2009-2013 (type B). Till now, due to lack of quality information associated with these products, they have remained unused. Therefore, in this study, we sampled 3 samples composed of six subsamples (each containing 2 kg) from the products in March 2013. The samples were analyzed to determine the physical properties (including undesirable impurities, initial moisture content, particle size distribution, particle density, bulk density (ρb), porosity, and maximum water holding capacity), and the chemical properties (including organic carbon, ash content, pH and salinity) and total amounts of N, P, Ca, Mg, K, Na, Mn, Fe, Cr, Zn, Pb, Ni and Cd using standard methods.

Results and Discussion: The results showed that bulk density, ash content, and the amounts of elements based on the dry weight of compost increased with composting time, however particle size decreased. It is well known that dry bulk density increased with composting time as ash content increased and particle size decreased by decomposition, turning and screening. The decreases of particle size with composting time cause an enrichment of metals based on the dry weight of compost. It is likely due to solubilization of metals in waste by organic acid produced during the microbial decomposition of organic matter and their subsequent adsorption on finer particles due to the higher surface area and the higher ion exchangeable capacity. The evaluation of the fertilizing potential of the surveyed composts by comparing their properties with different standard sets showed that the both composts under test in this study were failed to meet the standard permissible limits with regard to glass content (on average, 21.7 times over the permissible limit), gravel content (on average, 1.4 times over the permissible limit), lead content (on average, 1.6 times over the permissible limit), and salinity content (on average, 1.4 times over the permissible limit). Furthermore, compost type B also failed to meet the standard permissible limits with regard to initial moisture content (on average, 1.4 times over the permissible limit) and ρb (0.2 gcm^{-3}, less than permissible limit) for agricultural purposes. The results showed that excessive amount of glass impurity bigger than 2 mm, salinity and lead contents are the major problems in the use of the composts for agricultural purposes. It should be noted that according to the maximum permissible limit of lead (150-300 mg kg^{-1}) for compost C1 quality class described by Australian standard; both the composts can be used as fertilizers or soil amendments. In order to eliminate glass impurity, remediation approaches such as fine milling and pelleting is needed to disguise the residual glasses and render it as relatively harmless. A feasible approach to eliminate these problems is probably physical fractionation of the studied composts. It allows us to assess the distribution of nutrients and contaminants values in the different physical fractions of the composts, which is useful to detect and to eliminate of the particle sizes which are the responsible for these impurities.

1,2- Assisatnt Professor and Lecture, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: Z.sharifi@uok.ac.ir)

Conclusion: The assessment of MSW-based compost for use in agricultural soil as fertilizer or conditioner is a sustainable recycling practice owing to its nutrient content and its positive effects on soil physico-chemical properties. Thus, we evaluated the fertilizing potential of two MSW composts produced in Sanandaj city for agricultural purposes. Altogether, the results of the study showed that excessive amount of glass impurity bigger than 2 mm and salinity were the major problems in the use of the composts for agricultural purpose. As a result, the quality of the surveyed composts was not suitable for agricultural purposes without appropriate remediation of these restrictions.

Keywords: Agricultural use, Chemical and physical properties, Processing time, Municipal solid waste, Compost