بررسی کیفیت کمپوست زباله شهری تولید شده در ایران

چکیده

زمینه: تولید کمپوست از بخش تجزیه‌پذیر زباله شهری یکی از راههای مدیریت زباله است.

هدف: این پژوهش با هدف بررسی کیفیت کمپوست‌های کشور، انجام شد.

روش پژوهش: از کمپوست‌های کارخانه‌های تهران (درجه یک و دو)، مشهد، کرمانشاه، تبریز، اصفهان، شاهین‌شهر، لنجان و نجف‌آباد به مدت دو سال نمونه‌برداری شد. نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سرب کل، نیکل کل، کروم کل، کادمیم کل، آرسنیک کل،کبالت کل، مواد خارجی، رطوبت، هدایت الکتریکی و اسیدیته در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: هیچ‌یک از کمپوست‌های تولیدی کشور، دارای شرایط پایدار کمپوست استاندارد نبودند و حداقل در یک یا چند پارامتر دارای عدم انطباق با استاندارد ملی ایران بودند. میانگین غلظت کادمیم، سرب، نیکل، کروم، کبالت و آرسنیک در نمونه‌ها به ترتیب ۳/۲۷، ۱۳۴، ۶۹، ۷۶، ۷/۹۰، ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک بود که به ترتیب ۶/۵، ۱۶، ۱۱/۳، ۹/۴۷، ۰/۵۹ و ۰ درصد عدم انطباق با استاندارد ملی را نشان می‌دهد. pH با میانگین ۷/۳۲ دارای ۴/۱۳ درصد عدم انطباق با استاندارد بود. EC(dS/m)، OC (%)، C:N، N (%)، P_2O_5 (%)، K_2O (%) و رطوبت (٪) به ترتیب دارای میانگین ۵/۷۱، ۲۰/۷، ۱۲/۷، ۱/۸۱، ۱/۰۱، ۰/۹۶ و ۲۳/۶ بودند که در مقایسه با استاندارد ملی، به ترتیب ۷/۱۰، ۸۰/۵، ۶۸، ۳۶/۴، ۹۶/۷، ۰ و ۳۱/۴ درصد عدم انطباق با کمپوست درجه یک را نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری: برای استفاده در زمین‌های کشاورزی، لازم است کمپوست‌های تولیدی از نظر محتوای کربن آلی و سپس فلزات سنگین و بویژه سرب مورد بررسی و بهبود کیفیت در جهت رفع عدم انطباق‌ها قرار بگیرند.

واژه‌های کلیدی: *پایش،عدم انطباق ، فلزات سنگین، کربن آلی، کمپوست زباله شهری.*

Monitoring the quality of municipal solid waste produced in Iran

Abstract

Background: The production of compost from biodegradable urban waste is one of the waste management methods.

Purpose: This research aimed to evaluate the quality of composts in the country.

Research Method: samples were collected from compost produced in factories in Mashhad, Kermanshah, Tehran (first and second grade from Kahrizak), Tabriz, and Isfahan (Isfahan, Shahin Shahr, Lenjan, and Najafabad) over a period of two years. The samples were analyzed for nitrogen, phosphorus, potassium, total lead, total nickel, total chromium, total cadmium, total arsenic, total cobalt, foreign materials, moisture, electrical conductivity, and acidity.

Results: none of the composts produced in the country met the standard conditions and failed to comply with the Iranian national standards in at least one or more parameters. The average concentrations of cadmium, lead, nickel, chromium, cobalt, and arsenic in the samples were 3.27, 134, 69, 76, 7.90, and 3 mg/kg of dry weight, indicating non-compliance rates of 6.5%, 16%, 11.2%, 9.47%, 0.59%, and 0%, respectively. The pH had an average of 7.32, showing a 13.4% non-compliance with standards. Electrical conductivity (EC), organic carbon (OC), carbon-to-nitrogen ratio (C:N), nitrogen (N), phosphorus (P2O5), potassium (K2O), and moisture content averaged 5.71, 20.7, 12.7, 1.81, 1.01, 0.96, and 23.6%, respectively, indicating non-compliance rates of 10.7%, 80.5%, 68%, 36.4%, 96.7%, 0%, and 31.4% compared to first-grade compost.

Conclusion: for agricultural use, it is necessary to evaluate and improve the quality of produced composts concerning organic carbon content and heavy metals, especially lead, to address the non-compliance issues.

Keywords: *heavy metals, non-compliance, monitoring, organic carbon, urban waste compost..*

مقدمه

زباله‌های جامد شهری (MSW) به مواد جامد دور انداخته شده در مناطق شهری اطلاق می شود. این مواد از نظر منشأ عمدتاً به سه دسته زباله‌های خانگی، صنعتی و بیمارستانی قابل تقسیم هستند. آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده[2] زباله جامد شهری را یک منبع انرژی تجدید پذیر می‌داند (Chen et al., 2010). گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۱۲، نشان داد که سالیانه ۱/۳ میلیارد تن زباله در سراسر جهان تولید می شود و تا سال ۲۰۲۵ این مقدار به ۲/۲ میلیارد تن در سال افزایش خواهد یافت (Hoornweg and Bhada-Tata, 2012). افزایش جمعیت، رشد اقتصادی، مهاجرت از مناطق روستایی به شهرها و افزایش استانداردهای زندگی اجتماعی، میزان تولید زباله‌های جامد شهری را در کشورهای در حال توسعه بسیار افزایش داده است (Minghua et al., 2009). فزونی جمعیت و در پی آن بالا رفتن سرانه مصرف به دلیل اشاعه فرهنگ مصرف‌گرایی، تولید زباله را در ابعاد گوناگون خانگی، شهری و صنعتی به سرعت افزایش داده و کاستن از حجم زیاد تولید زباله ضروری است.

در کشورهای در حال توسعه، بیشتر زباله تولیدی ترکیب آلی دارد درحالی‌که در کشورهای توسعه‌یافته زباله معدنی بیشتر تولید می‌شود (Rajan et al., 2019). با توجه به نتایج آنالیز زباله‌های شهری در ایران، بیش از ۷۰ درصد ترکیب زباله‌ها را پسماندهای غذایی با فسادپذیری بالا تشکیل می دهند (Tabari et al., 2008). ترکیب زباله نقش مهمی را در مدیریت زباله ایفا می‌کند. مدیریت مواد زائد جامد شهری به مفهوم به حداقل رساندن تولید ضایعات و به حداکثر رساندن استفاده مجدد، بازیافت، تولید کمپوست و استفاده از مواد جایگزین سازگار با محیط‌زیست است (Ingle et al., 2017). کمپوست که از کلمه لاتین (Compositus) به معنای مخلوط و یا مرکب اقتباس شده است، به مواد حاصل از تجزیه مواد آلی نامتجانس که بوسیله ریزجانداران مختلف در حضور رطوبت و گرما، در محیط هوازی صورت گیرد، اطلاق می‌شود (Tuomela et al., 2000). امروزه افزون بر بازمانده‌های محصولات کشاورزی و دامی، انبوهی از دیگر مواد آلی بصورت مواد زائد و ضایعات برخی کارخانه‌های صنعتی و بخصوص کارخانه‌های وابسته به صنایع کشاورزی و دامی، همچنین زباله‌های شهری، لجن فاضلاب‌ها و ... در حجم زیاد تولید می‌شوند که در صورت استفاده بصورت کمپوست، باعث افزایش سطح حاصلخیزی خاک و جلوگیری از مشکلات زیست محیطی ناشی از دفع غیر اصولی زباله می شود. فرایند بازیافت مواد و تولید کمپوست از زباله‌های جامد شهری به عنوان ابزارهای کاربردی در جهت کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، مورد توجه قرار گرفته است (Barahimi et al., 2009). زباله‌های شهری بیش از ۴۰ در صد از زباله‌های زیست‌محیطی را شامل می شوند که در این میان کمپوست کردن آن‌ها یک شیوه قدیمی برای تبدیل بیولوژیکی زباله‌های زیستی به موادی همچون هوموس است که می‌تواند ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را بهبود بخشد (Zahariev et al., 2014). هر انسانی که در شهر زندگی می‌کند روزانه بیش از نیم کیلوگرم زباله تولید می‌کند که بیش از یک سوم آن قابل تبدیل به کمپوست است (Sharholy et al., 2007). چنانچه جمعیت شهرنشین کشور را ۳۰ میلیون نفر تخمین بزنیم، روزانه معادل ۱۵ میلیون کیلوگرم زباله تولید می‌شود که از این مقدار ۵ میلیون کیلوگرم آن قابل تبدیل به کمپوست است. آمار نشان می‌دهد که در شهر بزرگ ۴ روزانه ۶ هزار تن زباله خانگی تولید می‌شود (تجارت نیوز، ۱۴۰۱).

---

[1] - Municipal Solid Waste

[2]. USEPA

پیش‌نویس آزمایشی

در تعداد زیادی از کشورهای اروپایی، سایت‌های کمپوست سازی دارای اهمیت ویژه ای است. نرخ افزایش تولید کمپوست زباله در فاصله سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۷ در کشورهای بلژیک، دانمارک، آلمان، فرانسه، لوگزامبورگ، اتریش، لهستان، سوئد و سوئیس به ترتیب، ۱۷۵، ۵۴، ۵۵، ۲۰۰، ۵۲، ۵۰، ۱۰۰ و ۸۹ درصد بوده است (Kulchu and Yaldiz, 2003, Karak et al. 2012). وجود ۴۰ تا ۸۰ درصد ماده آلی در زباله‌های کشورهای آسیایی و کشورهای در حال توسعه نسبت به سهم ۳۰ تا ۴۰ درصدی مواد آلی در زباله‌های تولیدی کشورهای اروپایی، باعث گردیده زباله‌های شهری در کشورهای در حال توسعه پتانسیل بیشتری برای تهیه کمپوست داشته باشند (Karak et al. 2012).

کمپوست حاصل از زباله به دلیل محتوای مواد آلی به ویژه هوموس و نیز عناصر غذائی مفید می‌تواند به‌عنوان کود و یا بهساز خاک در اراضی کشاورزی استفاده شود و به رشد و تغذیه گیاه کمک کند.در کنار این فواید کمپوست زباله به دلیل شرایط زباله های منشأ، ممکن است حاوی غلظت قابل توجهی از انواع ترکیبات آلاینده و عناصر سنگین و ترکیبات مضر باشد که در این صورت کاربرد آن می‌تواند منجر به آلودگی محیط زیست و محصولات تولیدی و بنابراین ورود آلودگی به زنجیره غذایی گیاه– دام– انسان شود و سلامت محیط زیست و انسان را تهدید نماید. از این رو کشورها اولا ویژگی‌های کمپوست استاندارد را تعریف و استاندارد سازی کیفیت کمپوست را به اجرا گذاشته اند و از طرف دیگر ویژگی‌های کیفی کمپوست را مرتباً پایش می‌نمایند. بر همین مبنا پژوهشی با هدف بررسی وضعیت کمپوست‌های تولید شده از زباله شهری در مناطق مختلف کشور طراحی و اجرا شد. این مقاله به نتایج بررسی کیفیت کمپوست‌های تولید شده از زباله‌های شهری در مهم‌ترین سایت‌های تولید زباله ایران می‌پردازد و امکان استفاده از آن در زمین‌های کشاورزی را ارزیابی می‌کند.

مواد و روش‌ها

کارخانه‌های اصلی تولید کمپوست زباله شهری در ایران در استان‌های تهران، خراسان رضوی، کرمانشاه، اصفهان (اصفهان،، شاهین‌شهر، لنجان و نجف‌آباد) و آذربایجان شرقی قرار دارند. بنابراین کمپوست‌های تولیدی در این شهرها به عنوان نماینده کمپوست‌های تولیدی کشور انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. عموماً محصول تولیدی این کارخانه‌ها، در زمین‌های کشاورزی همان استان مورد استفاده قرار می‌گیرد. پایش و نمونه‌برداری کمپوست‌های تولیدی در شهرهای ذکر شده، از دی ماه ۹۵، تا پایان سال ۹۷ بصورت ماهیانه انجام شد (تعداد کل ۱۶۹ نمونه). نمونه‌برداری بصورت مرکب انجام شد و هر نمونه مرکب متشکل از پنج نمونه فرعی بود که بر اساس دستورالعمل نمونه‌برداری از کمپوست‌های نگهداری شده در محل کارخانه، برداشته شد. همه نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در آزمایشگاه مرکزی موسسه تحقیقات خاک و آب تجزیه گردید. ابتدا رطوبت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها هوا خشک شده و پارامترهای مواد خارجی بزرگ‌تر از ۴ میلی‌متر،کربن آلی به روش والکی و بلک، هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰، اسیدیته در عصاره ۱:۱۰، و درصد رطوبت، نیتروژن کل به روش کجلدال (هضم با اسید سولفوریک غلیظ و مخلوط نمک هضم (سولفات پتاسیم و سولفات مس بدون آب)، فسفر به روش رنگ‌سنجی بادستگاه اسپکتروفتومتری، پتاسیم و سدیم کل به روش هضم خشک و قرائت با فلیم‌فتومتر،Mg، Ca، Fe، Mn، CuوZn به روش هضم خشک (AOAC) وقرائت بادستگاه جذب اتمی شعله و غلظت کل عناصر نیکل، کبالت، کروم، کادمیم، سرب و آرسنیک، پس از هضم به روش هضم تر (اسید هیدرو کلریک، اسید نیتریک، پراکسید) در عصاره‌ها توسط دستگاه ICP مدل PerkinElmer, 2100 اندازه‌گیری شد(شهبازی, ۱۳۹۷). مقایسه آماری داده‌ها با حدود استاندارد با استفاده آزمون تی– تست تک نمونه‌ای[3]و در محیط نرم‌افزار مینی تب ۱۷ انجام گرفت. برای رسم نمودارها، از نرم‌افزار GraphPad Prism 8 استفاده شد.

3- one sample T-Test

کنترل کیفیت داده‌ها

با توجه به حساسیت اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها، به منظور کنترل کیفیت داده‌های این اندازه‌گیری‌ها، حد تشخیص (LOD[4]) و حد کمی شدن (LOQ[5]) برای هر عنصر محاسبه شد. حد تشخیص: کوچکترین غلظتی است که یک روش می‌تواند با درجه اطمینان مشخصی آن را تشخیص دهد. حد کمی شدن یک روش کوچکترین غلظت آنالیت بوده که می‌توان آن را با عدم‌قطعیت قابل قبولی تعیین نمود. در جدول ۱، مقادیر حد تشخیص و حد کمی برای عناصر کادمیم، سرب، نیکل، کبالت، کروم و آرسنیک در نمونه‌های کمپوست آورده شده است.

جدول ۱- مقادیر حد تشخیص و حدکمی *سنجش فلزات سنگین* در نمونه‌های کمپوست

عنصر	حد تشخیص (میلی‌گرم در کیلوگرم)	حد کمی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
کادمیم	۰/۰۰۵	۱۶/۵
سرب	۰/۰۸۳	۰/۲۷
نیکل	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳
کبالت	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳
کروم	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶
آرسنیک	۰/۳۵۳	۱/۱۶۴

نتایج

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

جدول۲، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

ویرایشاری نشده

[4] Limit of detection
[5] Limit of quantitation

جدول۲ -ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست‌های مورد بررسی

متغیر	شهر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	استاندارد ملی ایران		درصد عدم انطباق استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۶	
						کمپوست درجه ۱	کمپوست درجه ۲	کمپوست درجه ۱	کمپوست درجه ۲
pH (در محلول ۱۰ درصد از ماده خشک)	۱	۷/۲۳	۷/۷۱	۷/۵۳	۰/۱۲	۸-۶	۸-۶	۰	۰
	۲	۷/۱۸	۷/۶۵	۷/۳۸	۰/۱۶			۰	۰
	۳	۷/۱	۷/۹	۷/۷	۰/۱۲			۰	۰
	۴	۷	۸/۲	۷/۸	۰/۱۲			۱۱/۳	۱۱/۳
	۵	۷/۴	۸	۷/۵	۱/۰۲			۰	۰
	۷	۵/۴۲	۸/۱۶	۷/۲۳	۰/۱۲			۱۵/۱	۱۵/۱
	۶	۶/۰۴	۸/۱۸	۷/۲۵	۰/۱۲			۰	۰
	۸	۶/۳	۸/۹	۸/۷	۰/۱۲			۷/۹۳	۷/۹۳
	۹	۵/۶	۷/۷	۷/۵	۰/۱۲			۲۳/۲	۲۳/۲
	کل	۵/۴۲	۸/۹	۷/۳۲	۰/۱۱			۴/۱۳	۴/۱۳
EC (dsm^{-1}) (در محلول ۱۰ درصد از ماده خشک)	۱	۳/۱۷	۱۱/۸	۶/۰۶**	۱/۸	بیشینه ۸	بیشینه ۱۴	۱۲/۸	۰
	۲	۱/۸۷	۹/۴	۳/۹۸**	۱/۴۶			۶/۶۷	۰
	۳	۴/۵۱	۸/۳۶	۵/۲۵**	۱/۸			۷/۶۹	۰
	۴	۴/۶	۷/۷۵	۵/۷**	۱/۲۵			۰	۰
	۵	۴/۳۶	۷/۳۹	۵/۶**	۱/۳۷			۰	۰
	۷	۴/۰۲	۷/۲۷	۵/۵۳**	۱/۸			۰	۰
	۶	۵/۲	۷/۳۴	۴/۹۵**	۱/۸			۰	۰
	۸	۴/۶۰	۷/۸۱	۵/۷۴**	۱/۸			۰	۰
	۹	۴/۴۶	۸/۰۱	۵/۷۵**	۱/۸			۰	۰
	کل	۲/۵۸	۱۱/۸۷	۵/۷۱**	۱/۴۵			۷/۱۰	۰
OC (%)	۱	۲/۰۷	۵۱/۲	۲۳/۳*-++	۵/۵۰۰	کمینه ۲۵	کمینه ۱۵	۷۵/۷	۱/۴۳
	۲	۸/۴۹	۲۰/۵	۱۳/۹**-ns	۳/۰۹			۱۰۰	۹۳/۳
	۳	۷/۲۸	۹/۲۰	۸/۰۲**-++	۰/۶۲			۱۰۰	۱۰۰
	۴	۱۳/۲	۲۱/۹	۱۷/۱**-ns	۳/۴۴			۱۰۰	۴۴/۴
	۵	۱۴/۰	۲۵/۲	۱۹/۸*-+	۴/۲۹			۶۶/۷	۲۲/۲
	۷	۲۱/۵	۳۴/۹	۲۷/۸*-++	۴/۰۶			۱۵	۰
	۶	۱۶/۱	۲۹/۸	۲۱/۳**-++	۳/۹۴			۸۴/۶	۰
	۸	۱۸/۴	۲۷/۳	۲۲/۳*-++	۲/۹۹			۷۶/۹	۰
	۹	۱۸/۳	۲۴/۴	۲۱/۳**-++	۲/۲۱			۱۰۰	۰
	کل	۲/۰۸	۵۱/۲	۲۰/۷**-++	۶/۵۰			۸۰/۵	۱۸/۳

نسبت C:N	۱	۱/۰۸	۲۱/۲	۱۰/۵۵	۱/۰۲	۱۵–۲۰ درصد	۱۰–۱۵ درصد	۳۲	۱۹/۳
	۲	۶/۲۴	۱۰/۶۶	۹/۰۱	۱/۸			۱۰۰	۱۰۰
	۳	۷/۴	۹/۰۲	۷/۶۴	۱/۶۵			۱۰۰	۱۰۰
	۴	۱۳/۲	۱۴/۲	۱۰/۸	۳/۴			۱۰۰	۰
	۵	۱۲/۷	۱۵/۲	۱۴/۵	۴/۲			۱۰۰	۰
	۷	۱۰/۷۵	۱۵/۷	۱۳/۱۸	۱/۴			۶۱	۰
	۶	۱۰/۵	۱۲/۴	۱۱/۴	۱/۵			۱۰۰	۰
	۸	۹/۷۵	۱۶/۷	۱۴/۹	۱/۱			۱۰۰	۰
	۹	۱۱/۶	۱۸/۳	۱۴/۲	۱/۳			۱۰۰	۰
	کل	۱/۰۸	۲۱/۲	۱۲/۷	۱/۰۲			۶۸	۳۲
N ٪ (بر اساس وزن خشک)	۱	۱/۹۲	۲/۴۲	۲/۲۱	۱/۳			۵۹/۷	۱۰۰
	۲	۱/۳۶	۱/۹۲	۱/۵۴	۰/۱۷			۱۰/۲	۸/۳۱
	۳	۰/۸۹	۱/۳۱	۱/۰۵	۱/۰۰			۳۸/۲	۳۲
	۴	۱	۱/۸	۱/۶	۰/۳			۱۲/۴	۳/۱
	۵	۱/۱	۱/۷۴	۱/۳	۰/۱	۱/۶۶– ۱/۲۵	۱/۵– ۱/۰	۱۹/۸	۳/۸۱
	۷	۲	۲/۲۲	۲/۱۱	۱/۳			۱۰۰	۱۰۰
	۶	۱/۴۰	۲/۴۰	۱/۹۹	۱/۳			۲۳/۱	۳۸
	۸	۱/۱	۲/۸	۱/۵	۱/۳			۲۸/۲	۲۳
	۹	۱	۱/۹۳	۱/۵	۱/۳			۳۱/۸	۱۱
	کل	۰/۸۹	۲/۴۲	۱/۸۱	۱/۲۱			۳۶/۴	۲۷/۲
P2O5 ٪ (بر اساس وزن خشک)	۱	۱/۰۱	۱/۴۰	۱/۲۴	۰/۸۳			۰	۰
	۲	۱/۱۴	۱/۵۴	۱/۳۶	۰/۰۹			۰	۰
	۳	۰/۴۶	۰/۸۹	۰/۵۷	۰/۱۳			۱۰۰	۰
	۴	۰/۵	۱/۲۴	۰/۸۲	۰/۸۳			۶۸	۰
	۵	۰/۳۴	۱/۸۷	۰/۷۶	۰/۶۶	۳/۸– ۱	۳/۸– ۰/۳	۸۹/۱	۰
	۷	۱/۰۷	۱/۲۶	۱/۱۶	۰/۸۳			۰	۰
	۶	۰/۴۰	۱/۱۰	۰/۸۶	۰/۶۱			۷۹	۰
	۸	۰/۳۷	۱/۲	۱	۰/۸۳			۶۱/۳	۰
	۹	۰/۸	۱/۱	۰/۹۱	۰/۸۳			۶۹/۸	۰
	کل	۰/۳۴	۱/۸۷	۱/۰۱	۰/۸۱			۹۶/۷	۰
K2O ٪ (بر اساس وزن خشک)	۱	۰/۸۶	۱/۲۰	۱/۰۴	۰/۹			۰	۰
	۲	۰/۷۰	۱/۰۶	۰/۸۴	۰/۸			۰	۰
	۳	۰/۵۸	۰/۷۹	۰/۵۹	۰/۷	۱/۸– ۰/۵	۱/۸– ۰/۵	۰	۰
	۴	۰/۳۳	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۷			۰	۰
	۵	۰/۵	۱/۱	۰/۷	۰/۶			۰	۰

	۷	۰/۹۸	۱/۲	۱/۰۹	۰/۷			۰	۰
	۶	۰/۷۸	۱/۳۴	۱/۱	۰/۷			۰	۰
	۸	۰/۵	۱/۳۳	۰/۸۲	۰/۷			۰	۰
	۹	۰/۹	۱/۵	۱/۲۵	۰/۷			۰	۰
	کل	۰/۳۳	۱/۵	۰/۹۶	۰/۸۱			۰	۰
	۱	۲۰/۶	۳۱/۵	۲۶/۵$^{**-++}$	۲۳			۱۰۰	۰
	۲	۳/۵۳	۲۹/۸۲	۲۲/۶۶$^{**-++}$	۳/۴۵			۸۴	۰
	۳	۲/۷۲	۷/۴۸	۴/۲۸$^{**-++}$	۱/۳۲			۰	۰
	۴	۴/۳۵	۲۱	۱۱/۹$^{ns-++}$	۴/۰۲			۸	۰
رطوبت- درصد	۵	۳/۱۱	۱۸/۵	۱۳$^{ns-++}$	۵/۶	بیشینه ۱۵	بیشینه ۳۵	۸	۰
	۷	۹/۰۷	۳۲/۴	۲۰$^{*-++}$	۱۳			۳۸	۰
	۶	۶/۲۶	۱۵/۹	۱۲/۴$^{**-++}$	۲۳			۴	۰
	۸	۴/۱۱	۲۴/۳	۱۵$^{ns-++}$	۹			۱۱	۰
	۹	۲/۵۱	۱۷/۷	۹$^{**-++}$	۴			۱۵	۰
	کل	۲/۷۲	۳۲/۴	۲۳/۶$^{**-++}$	۱۱/۲			۳۱/۴	۰

**- اختلاف معنی دار در سطح یک درصد با استاندارد ملی (کمپوست درجه یک)، *- اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد با استاندارد ملی (کمپوست درجه یک).

++- اختلاف معنی دار در سطح یک درصد با استاندارد ملی (کمپوست درجه دو)، +- اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد با استاندارد ملی (کمپوست درجه دو).

بازیابی نشده

pH:

مقدار pH کمپوستهای تولید شده در کشور در محدوده ۸/۹۰– ۵/۴۲ و میانگین آن۷/۶محاسبه شد که در محدوده استاندارد ملی ایران (۶–۸) قرار دارد (استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۶). دامنه تغییرات pH در کمپوستهای مورد بررسی گسترده است. pH مناسب (در محدوده ۶ تا ۸) برای فعالیت میکروبی و جذب مواد مغذی از خاک ضروری است. کمپوست با pH مناسب به بهبود کیفیت خاک کمک میکند و میتواند به تأمین شرایط ایدهآل برای تجزیه میکربی و به افزایش رشد گیاهان کمک کند(Tibu et al., 2019). از سوی دیگر pH بسیار پایین یا بالا میتواند منجر به کاهش فعالیت میکروبی، اختلال در جذب مواد مغذی و آسیب به ریشه گیاهان گردد (Kaur and Katyal, 2021).

هدایت الکتریکی:

هدایت الکتریکی(EC) کمپوست به غلظت و نوع یونها در آن وابسته است. هدایت الکتریکی بالا میتواند به کاهش رشد گیاهان و کاهش کیفیت خاک منجر شود (Tanji, 2002). همچنین EC بالا میتواند به مشکلات فیزیولوژیکی گیاهان منجر شود و رشد آنها را محدود کند (Flowers and Colmer, 2008). مقدار هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰ کمپوستهای مورد بررسی، در محدوده ۱/۸۷ تا ۱۱/۸۰ دسی زیمنس بر متر متغیر و میانگین آن ۵/۳۸ دسی زیمنس بر متر بود که نسبت به استاندارد ملی کمپوست درجه یک، بسیار کمتر است (معنیدار در سطح یک درصد). بدین ترتیب میتوان گفت بخش اعظم کمپوستهای تولیدی کشور از نظر هدایت الکتریکی دارای شرایط کمپوست درجه یک بودند و وضعیت آنها، مناسب ارزیابی می شود. اگرچه تغییرات هدایت الکتریکی در نمونههای کمپوست با توجه به ماهیت کمپوست زباله شهری زیاد است، اما تمامی نمونههای کمپوست بررسی شده از نظر هدایت الکتریکی حداقل شرایط کمپوست استاندارد درجه ۲ را داشتند.

رطوبت:

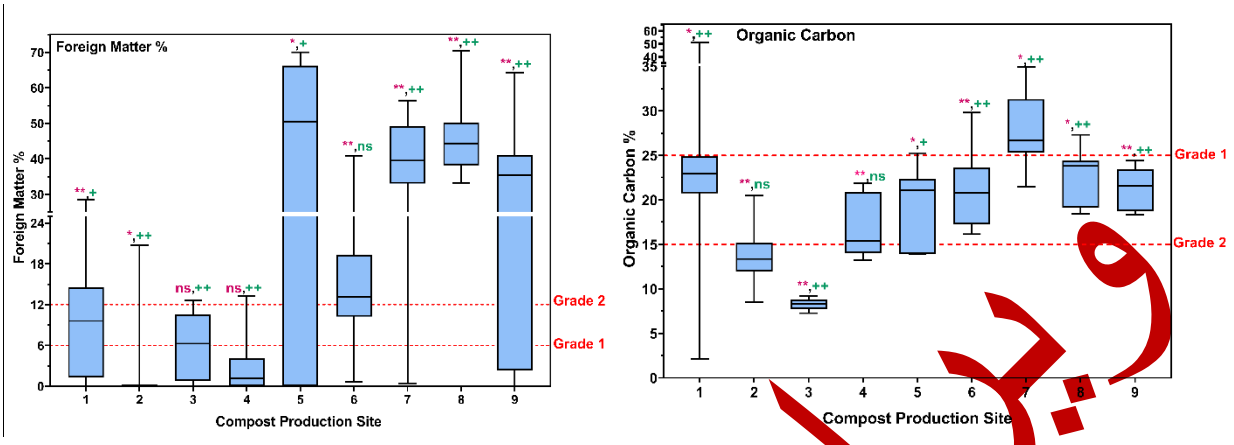
درصد رطوبت موجود در کمپوست، بازتابی از شرایط فرآیند تولید یا ذخیره سازی آن را نشان میدهد و عاملی در سهولت حمل و استفاده از کمپوست میباشد. حد مطلوب رطوبت در استانداردهای بینالمللی، در کمپوست ۱۵ درصد در محصول نهایی است و رطوبت ۱۵ تا ۳۰ درصد هم بعنوان کمپوست درجه دو قابل قبول است. کمپوستهایی با رطوبت کم ممکن است کاملا به شرایط پایدار نرسیده باشند و یا اینکه برای مدت طولانی دپو شده باشند که در هر حال محیط آنها برای فعالیت ریزجانداران نامناسب خواهد بود. کمپوستی که خیلی خشک باشد حالت پودری به خود میگیرد و استفاده از آن سخت می شود و کمپوستی با رطوبت زیاد حالت توده ای خواهد داشت که هم استفاده از آن سخت میگردد و هم هزینه حمل و نقل را افزایش خواهد داد (Rahman et al., 2020). میانگین کل درصد رطوبت در کمپوستهای مورد بررسی برابر با ۲۳/۶ درصد بود که در حد قابل قبول برای کمپوست استاندارد درجه یک (۱۵ درصد) است. این در حالی است که میانگین رطوبت نمونهها در ۳ کارخانه تولیدی در محدوده کمپوست درجه دو و در ۶ کارخانه دیگر در محدوده استاندارد درجه ۲ است. در اکثر سایتهای مورد بررسی، نوسان درصد رطوبت نمونهها زیاد بود.

جدول۲ نشان میدهد که در بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی دارای حد مجاز در استاندارد ملی ایران، بیشترین درصد عدم انطباق با کمپوست درجه یک، در مقدار فسفر (P2O5) و کربن آلی و کمترین آن در پارامترهای پتاسیم (K2O)، pH و EC مشاهده شد. نیاز است پارامترهایی که دارای درصد عدم انطباق بالایی هستند مورد بررسی دقیق و کارشناسانه قرار بگیرند و تمهیدات جدی در جهت کاهش و رفع عدم انطباقها و به تبع آن افزایش کیفیت کمپوستهای تولیدی صورت بگیرد.

ویرایشی نشده

کربن آلی:

شکل۱ تغییرات درصد کربن آلی و مواد خارجی را در سایت‌های عمده تولید کمپوست زباله ایران نشان می‌دهد.



شکل۱ -تغییرات درصد کربن آلی و مواد خارجی در کمپوست‌های تولیدی کشور – *علائم قرمزرنگ نشان دهنده مقایسه با استاندارد ملی درجه یک و علائم سبزرنگ نشان دهنده مقایسه با استاندارد ملی درجه دو هستند.* **- اختلاف معنی دار در سطح یک درصد با استاندارد ملی (کمپوست درجه یک)، *- اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد با استاندارد ملی (کمپوست درجه یک). ++- اختلاف معنی دار در سطح یک درصد با استاندارد ملی (کمپوست درجه دو)، +- اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد با استاندارد ملی (کمپوست درجه دو).

همانگونه که از این شکل و نیز جدول یک پیدا ست، تنها در یکی از کارخانه‌های تولید کمپو ست کشور، میانگین محتوای کربن آلی از حداقل تعیین شده برای کمپو ست درجه یک بالاتر بود (کمپو ست سایت شماره ۷). این در حالی ا ست که میانگین محتوای کربن آلی در طول دوره پایش در برخی سایت‌های تولید کمپو ست حتی از مقدار تعیین شده برای کمپو ست درجه دو نیز کمتر بود. میانگین کربن آلی اندازه گیری شده در کمپوست‌های تولیدی کشور ۲۰/۷ درصد بود که کمتر از حداقل تعیین شده برای کمپو ست درجه یک است (معنی‌دار در سطح یک درصد)، اما با اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد از حد تعیین شده برای استاندارد کمپوست درجه دو بالاتر است. در سایت تولید کمپوست ۱ و ۷ به ترتیب، چارک چهارم و چارک‌های دوم، سوم و چهارم نمونه‌ها حاوی بیش از ۲۵ درصدکربن آلی بودند. مواد آلی ا صلی ترین فاکتور کمپو ست ا ست که بدلیل تاثیر بر بهبود خواص فیزیکی خاک بویژه در شرایط خاک‌های کشـور ما که میانگین کربن آلی در ۷۰ درصـد از خاک‌های کشـاورزی کمتر از یک درصـد اسـت (Rezaei et al., 2022) می‌تواند دلیل قانع کننده ای برای افزودن کمپو ست زباله شهری به خاک با شد. البته یادآوری این نکته ضروری ا ست که چنانچه به دنبال افزودن کمپو ست زباله شهری به خاک کشاورزی با شیم، در شرایط خاک‌های کشور ما، در وهله اول مهم ا ست که کمپو ست دارای کربن آلی در حد قابل قبول باشد و بعد از آن می‌توان سایر ابعاد آن را مورد بررسی قرار داد.

میانگین محتوای مواد خارجی با قطر بیشتر از ۴ میلی‌متر در کمپو ست‌های تولیدی کشور، ۱۶/۸ در صد بود. این عدد بیش از حد ا ستاندارد معرفی شده تو سط سازمان ملی ا ستاندارد ایران، برای کمپو ست درجه یک و دو و غیرقابل قبول می‌با شد. بهترین کیفیت کمپو ست به لحاظ مقدار مواد خارجی، در سایت‌های ۲ و ۴ به ترتیب با میانگین ۲/۰۴ و ۲/۹ در صد م شاهده شد. وجود مواد خارجی کیفیت کمپوست را کاهش می‌دهد و منجر به نارضایتی مصرف‌کننده می‌شود. کمپوست با مواد خارجی زیاد در کاربردهای کشاورزی یا باغبانی مناسب نیست و می تواند به رشد گیاه آسیب برساند (Srivastava et al., 2016).

ویرایش نشده

عناصر غذایی مورد نیاز گیاه

یکی از دلایل استفاده از کمپوست در اراضی کشاورزی بعد تغذیه ای آن و کمک به بهبود رشد محصولات است. البته یادآوری این نکته مهم است که در شرایط خاک‌های کشور ما، در وهله اول محتوای کربن آلی کمپوست حائز اهمیت است و سایر خصوصیات مثبت آن در مراتب بعدی قرار دارند.

نیتروژن، فسفر و پتاسیم از مهم ترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه هستند و از جمله مزایای استفاده از کمپوست افزودن این عناصر غذایی به خاک در جهت بهبود حاصلخیزی خاک است. نیتروژن از عناصر کلیدی رشد گیاهان است و مقدار مناسب آن در کمپوست ضمن بهبود فرآیند تجزیه میکروبی، به رشد سریع گیاه کمک می‌کند (Dadashi et al., 2019). مقدار نیتروژن کل (مجموع نیتروژن آلی و معدنی) در کمپوست‌های تولیدی کشور، از ۰/۸۹تا ۲/۴۲ در صد متغیر بود که اگرچه تغییرات زیادی دارد اما عمدتاً در محدوده استاندارد ملی ایران (کمپوست درجه یک و بعضاً درجه دو) بود. میانگین نیتروژن کل در کمپوست‌های تولیدی کشور ۱/۸۱ درصد بود که اختلاف آن با سقف نیتروژن مورد قبول به عنوان کمپوست درجه یک در سطح یک در صد معنی‌دار است و نمی‌توان آن را به عنوان کمپوست درجه یک و به تبع آن درجه دو (محدوده قابل پذیرش برای کمپوست درجه دو کمتر از درجه یک است) پذیرفت.

مقدار فسفر مناسب در کمپوست یکی از عوامل موثر در بهبود رشد گیاه و تولید محصول است. میزان فسفرکل بر حسب P_2O_5 در محدوده ۰/۳۴ درصد تا ۱/۸۷ درصد با میانگین کشوری ۰/۸۸درصد متغیر بود. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده، مقدار فسفر کل در کمپوست های تولیدی کشور عمدتاً در محدوده کمپوست درجه دو قرار دارد. نتایج این بررسی نشان داد محتوای فسفر موجود در کمپوست‌های مورد بررسی نیز در کل نمونه‌ها و نیز بین نمونه‌های هر یک از کارخانه‌های تولیدی تغییرات زیادی داشته و میانگین محتوای فسفر در کمپوست های تولیدی کارخانه‌ها عمدتاً کمتر از حد استاندارد درجه یک بود.

پتاسیم به عنوان یک عنصر کلیدی در فرایندهای متابولیکی گیاهان عمل می‌کند و کیفیت محصول را افزایش می‌دهد (Epstein and Bloom, 1853). همچنین عنصری ضروری برای تنظیم تعادل آب در گیاهان است و به تقویت مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی کمک می‌کند (Wang and Wu, 2015). میزان پتاسیم کل بر حسب K_2O در کل نمونه‌ها از ۰/۳۳ درصد تا ۱/۵ درصد متغیر و میانگین آن در کشور۰/۹۶ درصد بود که در محدوده استاندارد درجه یک قرار داشت. بنابراین می‌توان گفت کمپوست‌های مورد بررسی از نظر محتوای پتاسیم شرایط مناسبی داشتند.

میانگین مقدار کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در کمپوست‌های تولید شده در سایت‌های مورد بررسی، به ترتیب از۱/۰۵، ۰/۵۷ و ۰/۵۹ درصد، هر سه مربوط به کمپوست تولیدی ۳، تا ۲/۲۱ درصد، ۱/۵۴ درصد و ۱/۲۵ درصد، به ترتیب در کمپوست تولیدی ۱، کمپوست تولیدی ۲، کمپوست تولیدی ۹ متغیر بود. از نظر محتوای نیتروژن، همه کمپوست‌های مورد بررسی، بجز کمپوست تولیدی شهر ۳ دارای شرایط کمپوست درجه یک، به لحاظ محتوای فسفر دارای شرایط کمپوست درجه دو و از نظر محتوای پتاسیم دارای شرایط کمپوست استاندارد (کمپوست درجه یک و دو دارای حدود مجاز یکسان برای مقدار پتاسیم هستند)، بودند.

نسبت کربن به نیتروژن C:N

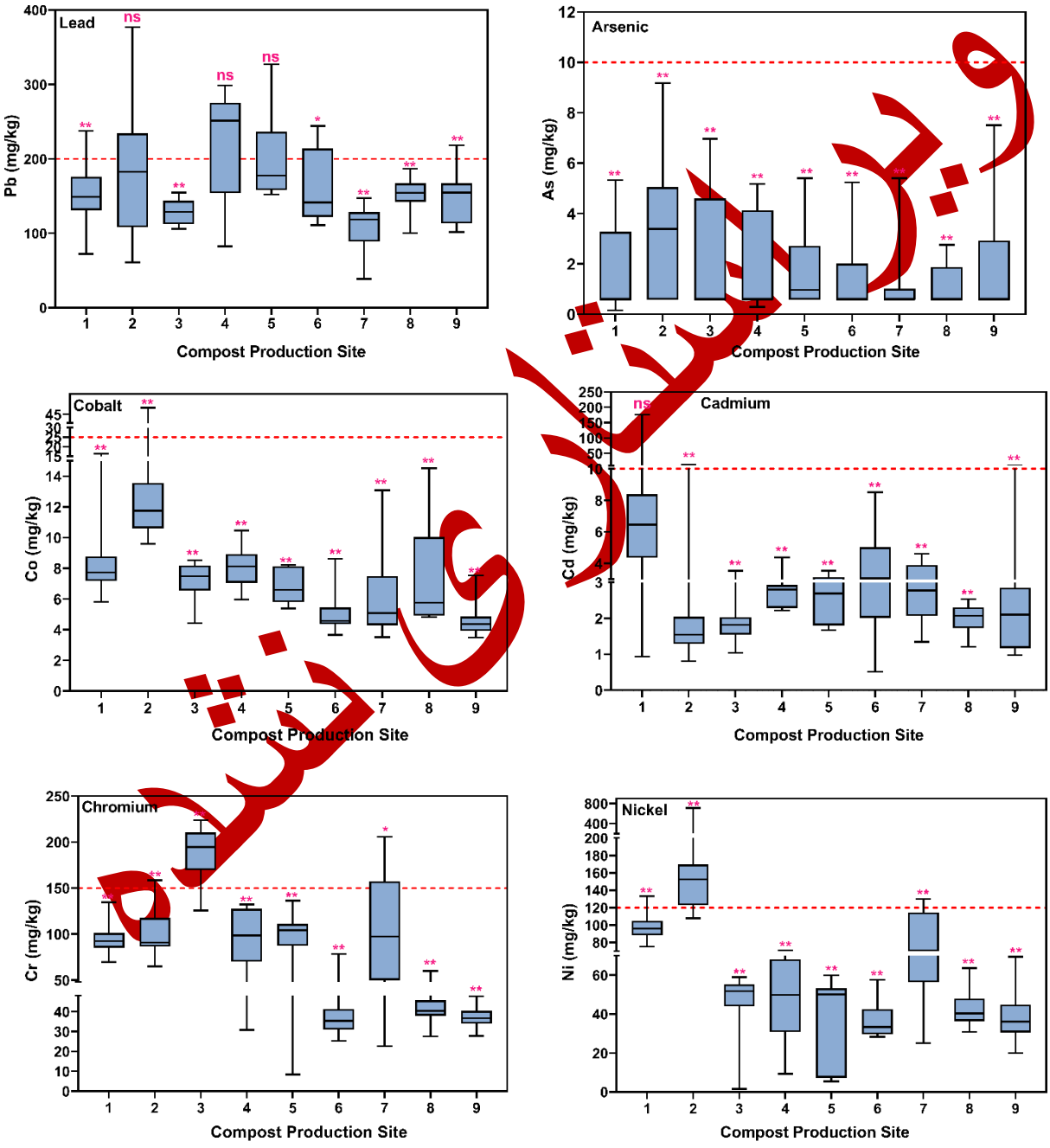
نسبت کربن به نیتروژن، یکی از شاخصه‌های شیمیایی بررسی بلوغ (رسیدگی) کمپوست است. گیاهان رشد یافته در زمین‌هایی که با کمپوست دارای C:N بالا تیمار شده‌اند، معمولا زرد و با رشد کم هستند. علت این امر، کمبود نیتروژن ناشی از تثبیت نیتروژن در خاک است ((Saha et al., 2010). پایش کمپوست‌های تولیدی ایران نشان داد که میانگین C:N کمپوست‌ها، به استثناء کمپوست تولیدی کارخانه‌های ۲ و ۳، در محدوده کمپوست درجه دو، قرار دارند. دو کمپوست ذکر شده دارای C:N کمتر از حد قابل قبول کمپوست درجه دو بودند. اختلاف کارخانه ۲، معنی‌دار نیست و می‌توان آن را به عنوان کمپوست درجه دو پذیرفت، ولی اختلاف کارخانه ۳ با کمینه C:N قابل قبول به عنوان کمپوست درجه دو، در سطح یک درصد معنی‌دار است، بنابراین کمپوست تولیدی این کارخانه، فاقد شرایط کمپوست

ویرایش نشده

استاندارد بود. نسبت C:N پایین در کمپوست، بیانگر این است که عناصر کربنی مناسب برای مصرف به سرعت از بین می‌روند، در حالی که عنصـر نیتروژن بیش از حد نسـبی اسـت. این امر نیتروژن مواد را به نیتروژن آمونیاکی تبدیل می‌کند که تبخیر می‌شـود و در نتیجه کارایی کود به دلیل از دست دادن بیش از حد نیتروژن کاهش می‌یابد (Dickson et al., 1991).

عناصر سنگین

شکل۲ تغییرات غلظت فلزات سنگین را در کمپوست‌های تولیدی کشور نشان می‌دهد.



شکل۲- پایش کیفیت کمپوست‌های تولیدی کشور از نظر محتوای فلزات سنگین (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک)

به ترتیب ۴۰/۸، ۰، ۴/۱۴، ۰، ۰، و ۰ درصد از نمونه‌های مورد بررسی در کمپوست‌های تولیدی کشور دارای غلظت آرسنیک، سرب، کادمیم، کبالت، نیکل و کروم کمتر از حد تشخیص بودند. برای محاسبه میانگین، غلظت این نمونه‌ها (نمونه های کمتر از حد تشخیص)، برابر با نصف حد کمی شدن (LOQ/2) در نظر گرفته شد. محتوای فلزات سنگین در کمپوست، از دیگر فاکتورهای مهم در بررسی کیفیت آن است. فلزات سنگین عامل مهمی در تعیین وضعیت آلودگی و سلامت خاک و گیاه هستند و می‌توانند سلامت محیط زیست، حیوانات و انسان را تحت تاثیر قرار دهند. در مورد سرب، بسیاری از کمپوست‌های تولیدی کشور در محدوده بیشینه مجاز غلظت سرب (۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) قرار داشتند. غلظت آرسنیک در همه نمونه‌های مورد بررسی کمتر از حد بیشینه مجاز غلظت آرسنیک در کمپوست در استاندارد ملی (۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) بود. غلظت کبالت نیز در اکثر نمونه‌های مورد بررسی کمتر از حد مجاز معرفی شده در استاندارد ملی ایران بود (۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک). در مورد نیکل و بویژه کروم تعداد نمونه‌هایی که از حد مجاز استاندارد ملی ایران (به ترتیب ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) فراتر بودند، بیشتر بود. میانگین غلظت نیکل و کروم در کمپوست‌های تولیدی کشور به ترتیب ۶۹ و۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و دامنه آن از ۱/۵۳میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک تا ۷۰۶/۵۶ در مورد نیکل و ۸/۳۵ تا ۲۲۳/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک درمورد کروم، متغیر بود. وضعیت معنی‌داری اختلاف میانگین غلظت عناصر سنگین مورد بررسی با استاندارد ملی ایران در شکل۲ قابل مشاهده است.

درصد عدم انطباق کمپوست تولیدی در کشور با استاندارد ملی ایران (کمپوست درجه یک)، و وضعیت معنی‌داری اختلاف میانگین غلظت عناصر سنگین و استاندارد ملی ایران، در جدول۲ و جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- درصد عدم انطباق کمپوست تولیدی در کشور با استاندارد ملی ایران از نظر محتوای فلزات سنگین (تعداد نمونه=۱۶۹)

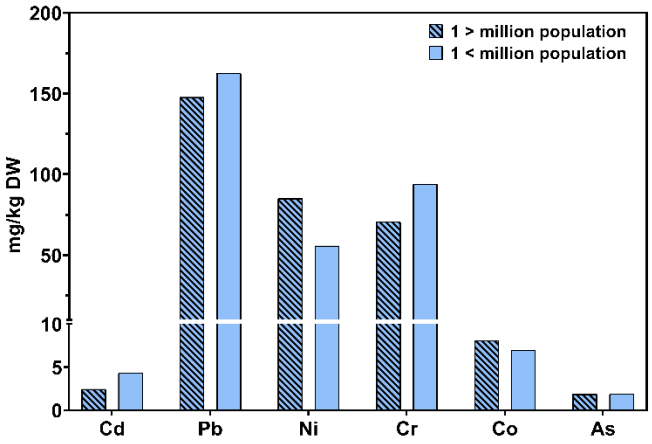
پارامتر	میانگین	حد مجاز	درصد عدم انطباق
Cd	۳/۲۷**	۱۰	۶/۵
Pb	۱۳۴**	۲۰۰	۱۶
Ni	۶۹**	۱۲۰	۱۱/۲
Cr	۷۶**	۱۵۰	۹/۴۷
Co	۷/۹۰**	۲۵	۰/۵۹
As	۳**	۱۰	۰

اگرچه میانگین غلظت عناصر سنگین مورد بررسی در کمپوست‌های تولیدی کشور، کمتر از حدود مجاز معرفی شده توسط سازمان ملی استاندارد بود (معنی‌دار در سطح یک درصد)، بیشترین و کمترین درصد عدم انطباق‌ها به ترتیب در پارامترهای سرب و کبالت مشاهده شد. بررسی نتایج آرسنیک در نمونه‌های کمپوست نشان داد در هیچ یک از نمونه‌ها مقدار آرسنیک بالاتر از حد مجاز استاندارد ملی ایران نبود.

ارتباط جمعیت شهرها با کیفیت کمپوست‌های مورد بررسی

در برخی منابع گزارش شده است که محتوای فلزات سنگین در زباله شهری و کمپوست حاصل از آن در شهرهای بزرگ بیشتر از شهرهای کوچک است (Mohanty et al., 2022; Saha et al., 2010). در این مطالعه نیز مقایسه بین غلظت فلزات سنگین در کمپوست تولیدی در شهرهای مختلف و جمعیت آن‌ها انجام شد (شکل ۳).

ویرایشگاری نشده



شکل ۳- تاثیر جمعیت شهرها بر محتوای فلزات سنگین موجود در کمپوست زباله شهری

نتایج این پروژه نیز نشان داد که فلز سرب، بالاترین غلظت را در هر دو گروه جمعیتی نشان داد و بیشتر بودن آن در شهرهایی با جمعیت بیش از یک میلیون نفر، نشان از تاثیر منفی جمعیت بالا بر آلودگی سرب در کمپوست دارد. غلظت کادمیم و کروم نیز در شهرهای بزرگتر، بیشتر بود. غلظت کبالت و آرسنیک در هر دو گروه جمعیتی نسبتا پایین است و تفاوت زیادی بین دو گروه مشاهده نمی شود. بیشتر بودن مقدار این عناصر در کمپوست تولیدی در شهرهای بزرگتر، می‌تواند به دلیل تولید بیشتر زباله و فعالیت‌های صنعتی مرتبط با جمعیت‌های بزرگ شهری باشد. همچنین شکل ۳ نشان می‌دهد که غلظت نیکل در کمپوست تولیدی شهرهای با جمعیت بیشتر، کمتر از غلظت آن در شهرهای کوچکتر است. این امر ممکن است بدلیل جداسازی زباله‌های حاوی نیکل (زباله های الکترونیکی و صنعتی) در شهرهای بزرگتر باشد. بازیافت زباله در ایران عمدتا در شهرهای بزرگ انجام می‌شود (Golhosseini and Ghazizade, 2024). نیکل یکی از فلزات با ارزش در بازار جهانی است و در صنایع مختلف همچون تولید فولاد ضد زنگ و باطری های الکتریکی کاربرد گسترده دارد (Harasim and Filipek, 2015).

بررسی‌ها نشان می‌دهد کیفیت کمپوست‌های تولیدی درکشورهای مختلف در قالب یک سیستم معین مورد ارزیابی و پایش مداوم قرار می‌گیرد. نتایج پایش کمپوست کشورهای مختلف بصورت گسترده منتشر نگردیده اما اطلاعات موجود نیز بیانگر کیفیت متغیر و بعضاً بسیار خوب کمپوست‌های تولیدی در بعضی از کشورها است. به عنوان مثال نتایج پایش ۳۶۵۹ نمونه کمپوست زباله شهری تولید شده در کشور آمریکا و ۲۷۵۴ نمونه کمپوست تولید شده در کشور آلمان در ادامه ارائه شده است. همانگونه که جدول ۴، نشان می‌دهد تنها عنصری که میانگین غلظت آن در کمپوست‌های ایران پایین تر از کمپوست‌های آمریکا و کاناداست، عنصر آرسنیک است. در مورد سایر عناصر، کیفیت کمپوست‌های تولیدی کشور نسبت به دو کمپوست دیگر پایین‌تر است. همچنین از جدول ۴، استنباط می‌شود که میانگین غلظت عناصر آلاینده در کمپوست این دو کشور بسیار کمتر از حد مجاز آلاینده معرفی شده در این کشورهاست (به عنوان مثال میانگین غلظت سرب در کمپوست‌های تولیدی کمتر از یک سوم حد بیشینه مجاز تعریف شده است). میانگین غلظت آلاینده‌های مورد بررسی، بجز عنصر سرب، بیش از نصف حد مجاز معرفی شده در در استاندارد کیفیت کمپوست ایران (استاندارد ملی ۱۰۷۱۶، کمپوست- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی) است. در مورد عنصر سرب، شرایط بدتر است و میانگین غلظت به مجاز نزدیک شده است. این امر موید ضرورت بهبود کیفیت کمپوست‌های تولیدی کشور از نظر محتوای فلزات سنگین است، همچنین لزوم بازنگری استاندارد ملی کمپوست بویژه حد مجاز سرب را می‌توان از نتایج این پایش برشمرد.

ویرایش نشده

جدول ۴- نتایج پایش محتوای فلزات سنگین در کمپوست‌های زباله شهری آمریکا و کانادا

ویژگی	کشور							
	آمریکا					آلمان		
	تعداد	میانگین	حد استاندارد ۵۰۳ (mg/kg)	رفرنس	تعداد	میانگین	استاندارد آلمان (mg/kg)- RAL, 2010	رفرنس
As (mg/kg)	۳۶۵۹	۷/۲	۴۱	Evanylo,2020	۲۷۵۴	–	–	Siebert, et al
Cd (mg/kg)		۲/۴	۳۹			۰/۴۲	۱/۵	
Cr (mg/kg)		۳۰	۱۲۰۰			۲۱/۲	۱۰۰	
Cu (mg/kg)		۱۲۱	۱۵۰۰			۴۳/۳	۱۰۰	
Pb (mg/kg)		۳۵	۳۰۰			۳۶	۱۵۰	
Hg (mg/kg)		۰/۴	۱۷			۰/۱۱	۱	
Ni (mg/kg)		۱۷	۴۲۰			۱۳/۱	۵۰	

نتیجه گیری

پایش کمپوست‌های تولیدی در استان‌های مورد بررسی نشان داد که کیفیت کمپوست تولید شده در استان ۲، از نظر میانگین محتوای کربن آلی و نیکل دارای کیفیت استاندارد نبود. کمپوست تولید شده در استان خراسان رضوی، از نظر محتوای کربن آلی، مواد خارجی و رطوبت دارای کیفیت تعریف شده برای استاندارد درجه یک نبود ولی می‌تواند به عنوان استاندارد درجه دو پذیرفته شود. کمپوست‌های تولید شده در استان ۶، از نظر پارامتر مواد خارجی دارای مشکل جدی بودند و هیچکدام نتوانستند کیفیت استاندارد درجه یک یا دو را کسب کنند. کمپوست تولیدی در سایت۴ که به عنوان کمپوست درجه یک عرضه می‌شود از نظر محتوای کربن آلی، فسفر و سرب مورد تایید استاندارد نبود و کمپوست تولیدی سایت ۵ نیز از نظر محتوای مواد خارجی و سرب کیفیت استاندارد ملی ایران برای کمپوست درجه دو را نداشت. کمپوست تولیدی در سایت شماره ۳، از نظر محتوای کربن آلی و کروم شرایط استاندارد برای کمپوست درجه یک و دو را نداشت، همچنین از نظر محتوای نیتروژن و فسفر می‌توان آن را به عنوان کمپوست درجه دو تلقی کرد. این یافته‌ها نیاز فوری به مدیریت مؤثر زباله و روش‌های کمپوست‌سازی در شهرهای بزرگ‌تر را نشان می‌دهد. این کار می‌تواند به جلوگیری از آلودگی فلزات سنگین و بهبود کیفیت کمپوست کمک کند. نتایج این پایش نشان داد که هیچ از کمپوست‌های تولید شده در کشور، شرایط پایدار کمپوست استاندارد را ندارند و لازم است از نظر محتوای کربن آلی، مواد خارجی، سرب و نیکل مورد بررسی قرار بگیرند و کیفیت آن‌ها بهبود یابد، در غیر اینصورت برای استفاده در زمین‌های کشاورزی مناسب نیستند. مهم ترین فاکتوری که عدم انطباق آن باید به جد مورد اصلاح قرار بگیرد، درصد کربن آلی است. بعد از رفع این عدم انطباق، در گام بعدی تولیدکنندگان باید در جهت رفع عدم انطباق‌های مربوط به فلزات سنگین اقدام کنند.

ویراستاری نشده

منابع

استاندارد ملی ایران، شماره ۱۰۷۱۶، سال ۱۳۸۶، کمپوست- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی.

تجارت نیوز، ۱۴۰۱، https://tejaratnews.com/

سالنامه آماری، ۱۳۹۵. مرکز آمار ایران.

شهبازی، کریم، داودی، محمد حسین و فیض اله زاده اردبیلی، مهناز. ۱۳۹۷. روش های تجزیه کود. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

Barahimi, N., Afyuni, M., Karami, M., and Rezaee Nejad, Y. (2009). Cumulative and residual effects of organic amendments on nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in soil and wheat. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing* **12**, 803-812.

Chen, G.-Q., Chen, Y., Zeng, G.-M., Zhang, J.-C., Chen, Y.-N., Wang, L., and Zhang, W.-J. (2010). Speciation of cadmium and changes in bacterial communities in red soil following application of cadmium-polluted compost. *Environmental engineering science* **27**, 1019-1026.

Dadashi, S., Sepanlou, M. G., and Mirnia, S. K. (2019). Influence organic compost compounds on soil chemical and physical properties. *International Journal of Human Capital in Urban Management* **4**.

Dickson, N., Richard, T., and Kozlowski, R. (1991). "Composting to reduce the waste stream-A guide to small scale food and yard waste composting," Northeast regional agricultural engineering service.

Epstein, E., and Bloom, A. J. (1853). "Mineral nutrition of plants: principles and perspectives," Sinauer.

Flowers, T. J., and Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New phytologist*, 945-963.

Golhosseini, Z., and Ghazizade, M. J. (2024). Municipal Solid Waste Status in Iran: From Generation to Disposal. *Environmental Protection Research*, 16-29.

Harasim, P., and Filipek, T. (2015). Nickel in the environment. *Journal of Elementology* **20**.

Hoornweg, D., and Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management.

Ingle, P., Bhange, H., Gavit, B., and Purohit, R. (2017). Urban organic solid wastes as farmland manure and fertilizers: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **6**, 1487-1495.

Iranian national standard, no: 10716. 2007. Compost- physical and chemical specifications. (In Persian)

Kaur, A., and Katyal, P. (2021). Microbial interventions for composting of organic and lignocellulose waste. *Applied Biochemistry and Microbiology* **57**, 127-132.

Minghua, Z., Xiumin, F., Rovetta, A., Qichang, H., Vicentini, F., Bingkai, L., Giusti, A., and Yi, L. (2009). Municipal solid waste management in Pudong new area, China. *Waste management* **29**, 1227-1233.

Mohanty, S., Saha, S., Santra, G. H., and Kumari, A. (2022). Future perspective of solid waste management strategy in India. *In* "Handbook of Solid Waste Management: Sustainability through Circular Economy", pp. 191-226. Springer.

Rahman, M., Bhuiyan, M., Rouf, M., Sarker, R., and Rashid, M. (2020). Quality assessment of municipal solid waste compost. *Acta Chemica Malaysia* **4**, 33-39.

Rajan, R., Robin, D. T., and Vandanarani, M. (2019). Biomedical waste management in Ayurveda hospitals–current practices and future prospectives. *Journal of Ayurveda and integrative medicine* **10**, 214-221.

Rezaei, H., Saadat, S., Mirkhani, R., Bagheri, Y. R., Esmaeelnejad, L., Nouri Hosseini, M., Baybordi, A., Karami, A., Sedri, M. H., and Hamedi, F. (2022). The state of soil organic carbon in agricultural lands of Iran with different agroecological conditions. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* **102**, 4623-4639.

Saha, J., Panwar, N., and Singh, M. (2010). An assessment 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.

Shahbazi, K., Davoodi, M.h. and Feizolahzadeh Ardebili, M. 2018. Methods of fertilizer Analysis. Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (In Persian).

Sharholy, M., Ahmad, K., Vaishya, R. C., and Gupta, R. D. (2007). Municipal solid waste characteristics and management in Allahabad, India. *Waste management* **27**, 490-496.

Srivastava, V., De Araujo, A. S. F., Vaish, B., Bartelt-Hunt, S., Singh, P., and Singh, R. P. (2016). Biological response of using municipal solid waste compost in agriculture as fertilizer supplement. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **15**, 677-696.

Statistical Yearbook, 2015. Iran Statistics Center. (In Persian).

Tabari, M., Salehi, A., and Ali-Arab, A. (2008). Effects of waste water application on heavy metals (Mn, Fe, Cr and Cd) contamination in a black locust stand in semi-arid zone of Iran.

Tanji, K. K. (2002). Salinity in the soil environment. *In* "Salinity: Environment-plants-molecules", pp. 21-51. Springer.

Tejarat News, 1401. https://tejaratnews.com/ (In Persian).

Tibu, C., Annang, T. Y., Solomon, N., and Yirenya-Tawiah, D. (2019). Effect of the composting process on physicochemical properties and concentration of heavy metals in market waste with additive materials in the Ga West Municipality, Ghana. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* **8**, 393-403.

Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., and Itävaara, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource technology* **72**, 169-183.

Wang, Y., and Wu, W.-H. (2015). Genetic approaches for improvement of the crop potassium acquisition and utilization efficiency. *Current Opinion in Plant Biology* **25**, 46-52.

Zahariev, A., Kostadinova, S., and Aladjadjiyan, A. (2014). Composting municipal waste for soil recultivation in Bulgaria. *International Journal of Plant & Soil Science* **3**, 178-185.

ویرایش شده

Monitoring the quality of municipal solid waste Compost produced in Iran

Extended Abstract

Introduction: Population growth, increasing urbanization, changing lifestyles, and rising waste production have become global issues today. Compost production from the biodegradable portion of waste is one of the waste management methods that has been initiated in our country for several years. If the compost produced from urban waste has suitable quality, it can be a viable option for use in agricultural lands in Iran, considering its organic carbon content and nutrients as a soil improver.

Purpose: This study aimed to investigate the quality of compost produced in Iran.

Research Method: compost samples were collected monthly from composting facilities in Mashhad, Kermanshah, Tehran (first and second grade from Kahrizak), Tabriz, Isfahan (Isfahan, Shahin Shahr, Lenjan, and Najafabad) from winter2016 to winter2018. The quality indicators of compost included: nitrogen, phosphorus, potassium, total lead, total nickel, total chromium, total cadmium, total arsenic, total cobalt, percentage of foreign materials, moisture percentage, electrical conductivity, and acidity, which were measured in all samples at the central laboratory of the Soil and Water Research Institute of Iran.

Results: none of the composts produced in the country met the conditions for standard compost, and at least one or more parameters did not comply with the national standard of Iran. The average concentrations of cadmium, lead, nickel, chromium, cobalt, and arsenic in the composts produced in the country were 3.27, 134, 69, 76, 7.90, and 3 mg/kg of dry weight, respectively, indicating non-compliance with the national standard of Iran by 6.5%, 16%, 11.2%, 9.47%, 0.59%, and 0%. The results of the physical and chemical parameter assessments also indicated that the pH, with an average of 7.32, had 13.4% non-compliance with the standard. EC (dS/m), OC (%), C:N, N (%), P2O5 (%), K2O (%), and moisture (%) had average values of 5.71, 20.7, 12.7, 1.81, 1.01, 0.96, and 23.6, respectively, which showed non-compliance with the national standard of Iran by 10.7%, 80.5%, 68%, 36.4%, 96.7%, 0%, and 31.4% for first-grade compost, and 0%, 18.3%, 32%, 27.2%, 0%, 0%, and 0% non-compliance for second-grade compost.

Conclusion: Therefore, for use in agricultural lands, it is necessary to assess the produced compost regarding organic carbon content and then heavy metals, especially lead, and improve the quality to address the non-compliances with national standard.

Keywords: urban waste compost, heavy metals, quality monitoring, standards, non-compliance.

Author Contributions

"Conceptualization, Kambiz Bazargan, Fardin Hamedi, Peyman Keshavrz, HamidReza Rahmani, Ahmad Bybordi, Karim Shahbazi; methodology, Kobrasadat Hasheminasab; data curation and software, Mojgan Yeganeh; writing—original draft preparation, Mojgan Yeganeh, Kambiz Bazargan and Kobrasadat Hasheminasab; writing—review and editing, Kobrasadat Hasheminasab; visualization, Mojgan Yeganeh; supervision, and project administration, Y.Y. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript." All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data will be available based on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of the University of ABCD (Ethical code: IR.UT.RES.2024.500). The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

نمونه