مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره شانزدهم ، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۷۳۱ تا ۷۴۶

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

بررسی میزان فلزات‌سنگین کمپوست تولیدی در صنایع کمپوست استان مازندران

محمدعلی ززولی[۱]، سمانه دهقان[۱]، مهدیه محمدی آلاشتی[۱،*]، افسانه فندرسکی[۲]، رضا دهبندی[۳،۴]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲- گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳- دانشکده جغرافیا، علوم زمین و محیط‌زیست، دانشگاه بیرمنگهام، بیرمنگهام، انگلستان
۴- مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

واژگان کلیدی: کیفیت کمپوست، آنالیز شیمیایی، عناصر سمی

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
mahdiemohammadi00@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از کمپوست، امکان وجود فلزات‌سنگین با غلظت‌های زیاد است. این عناصر بر خلاف آلاینده‌های آلی نمی‌توانند توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه شوند و در غلظت‌های بالا برای خاک، گیاهان، زندگی آبزیان و سلامت انسان سمی تلقی می‌شوند. لذا مطالعه حاضر، به بررسی غلظت فلزات‌سنگین در کمپوست تولیدی در صنایع کمپوست استان مازندران و مقایسه آن با مقادیر استاندارد پرداخته است.

روش بررسی: این مطالعه، یک مطالعه توصیفی-مقطعی بوده که در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. نمونه‌ها از سه کارخانه کمپوست مازندران (بابل، بهشهر و تنکابن) با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی برداشته شدند و طبق روش هضم اسیدی (موسسه ملی استاندارد ۵۶۱۵) آماده‌سازی شدند. غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کبالت، کروم، مس و نیکل بر حسب mg/kg در نمونه‌های مورد بررسی به ترتیب برابر با ۳/۴۷±۱/۳۸، ۱۵۱/۵±۴۹۰، ۱۲±۷۴، ۰/۶۵±۲/۵۷، ۱/۴۶±۴/۵، ۱۶/۴۷±۳۱/۷۲، ۴۹/۹±۱۸۶، ۴/۲±۲۲/۷ بوده است. میانگین غلظت فلزات‌سنگین نیز در شهرهای مختلف با استفاده از آزمون کروسکال والیس مقایسه شد که بر اساس آن غلظت فلزات‌سنگین در هیچ کدام از شهرها تفاوت معنی داری با همدیگر نداشتند ($p>0/05$).

نتیجه‌گیری: غلظت فلزات‌سنگین نمونه‌های کمپوست مورد بررسی کمتر از مقادیر ذکر شده در استانداردهای داخلی و خارجی بوده است، لذا محصول نهایی کمپوست کارخانجات مورد بررسی از نظر فلزات‌سنگین معیارهای بهداشتی را رعایت کرده و قابلیت استفاده ایمن در مقاصد محیط زیستی را دارد.

Please cite this article as: Zazouli MA, Dehghan S, Mohammadi Alashti M, Fendereski A, Dehbandi R. Investigating the amount of heavy metals in compost produced in the compost industries of Mazandaran province. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;16(4):731-46.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

مقدمه

پسماندها از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست‌اند که جزء جدایی‌ناپذیر زندگی انسان محسوب می‌شوند (۱). سوء مدیریت پسماندهای شهری نه تنها پیامدهای زیانبار زیست‌محیطی دارد، بلکه خطرات بهداشت عمومی را نیز به همراه دارد و نگرانی‌های اجتماعی – اقتصادی دیگری را ایجاد می‌کند (۲).

در ایران هر فرد به طور میانگین بین g ۷۰۰ الی g ۱۰۰۰ پسماند تولید می‌کند که حدودا ۷۰ درصد آن پسماند تر، ۲۹ درصد آن پسماند خشک و ۱ درصد آن را پسماند خطرناک تشکیل می‌دهد. در استان مازندران نیز مواد فسادپذیر حدود ۷۷ درصد از پسماندهای شهری را تشکیل می‌دهند (۳). بر اساس بررسی‌های انجام شده در استان مازندران، بالغ بر ton/day ۳۱۵۰ پسماند تولید می‌شود که ton ۱۴۵۰ به مناطق روستایی و ton ۱۷۰۰ به کلان شهرها مربوط است. از کل پسماندهای تولید شده در استان، ۶۸ درصد پسماندهای تر و مابقی شامل ۹ درصد ضایعات کاغذ، ۵ درصد شیشه، ۷ درصد پلاستیک، ۳ درصد فلز و ۳ درصد چوب است (۴).

بعلاوه نتایج مطالعه Nabi Bidhendi و همکاران که در بابل انجام شد نشان داد، ۶۵ درصد پسماندهای تولیدی در شهر بابل را مواد فسادپذیر تشکیل می‌دهد که قابلیت تبدیل شدن به کمپوست را دارد. بعلاوه درصد کاغذ و مقوا، پت، لاستیک (تایر)، پلاستیک، منسوجات، شیشه، فلزات آهنی و غیر آهنی، چوب و سایر پسماندها به ترتیب برابر با ۸/۷، ۱/۱، ۰/۵، ۷/۳، ۱/۱، ۱/۲، ۱/۸، ۲/۳، ۱/۲، ۹/۵ بوده است (۵).

در بابلسر میانگین تولید پسماند ۷۴۸۳ ± ۷۳۶۰۸ بر حسب kg/day گزارش شده است که با توجه به جمعیت بابلسر در سال ۲۰۱۲ (ton ۶۱۹۸۴)، سرانه تولید پسماند در این شهر kg/day ۱/۲ بوده است. در این مطالعه پسماند مواد غذایی، کاغذ و پلاستیک بیش از ۸۵ درصد کل پسماند شهری را تشکیل می‌دادند (۶).

با توجه به مطالعات ذکر شده قسمت بزرگی از پسماند شهری در کشور و بالاخص استان مازندران از مواد آلی تشکیل گردیده است. اگر این مواد آلی از میان ترکیبات پسماند جدا شود و مورد تجزیه باکتری‌ها قرار گیرد، کود هوموس خوانده می‌شود. به عبارتی تغییر و تبدیل مواد آلی پسماند به پدیده‌ای به نام کمپوست مشهور است که نه تنها باعث رهایی جوامع بشری از بسیاری از معضلات موجود پسماند می‌شود بلکه کیفیت خاک را نیز بهبود می‌بخشد و علاوه بر کمک به حفظ منابع طبیعی موجود، موجب دستیابی به سود اقتصادی هم می‌شود (۷). اما از آنجایی که پسماند شهری به دلیل وجود رنگ‌ها، باتری‌ها، پلاستیک‌ها، ترکیبات خطرناک خانگی، پاک کننده‌ها و باقی‌مانده مواد دارویی و غیره از فلزات‌سنگین سمی و سرطان‌زا در انواع مختلف تشکیل شده است، یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از کمپوست نیز، وجود فلزات‌سنگین در آن در غلظت‌های زیاد است (۸، ۹).

فلزات‌سنگین طی مراحل تولید کمپوست از جمله فاز میکروبی می‌توانند بدون تغییر باقی بمانند و پس از وارد شدن به خاک تحت تاثیر فرآیندهای مختلفی مانند باران، خصوصیات خاک و جذب گیاهی آزاد شوند (۱۰). این عناصر بر خلاف آلاینده‌های آلی نمی‌توانند توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه شوند و در غلظت‌های بالا برای خاک، گیاهان، زندگی آبزیان و سلامت انسان سمی تلقی می‌شوند (۱۱).

فلزات سمی به دلیل عدم تجزیه‌پذیری زیستی، برای مدت طولانی در محیط خاک باقی مانده و در بدن موجودات زنده تجمع می‌یابند و اختلالات متعددی در بدن آنها ایجاد می‌کنند. فلزات سنگین، به ویژه سرب (ppm ۵۰۰-۲۵۰)، کادمیوم (ppm ۶-۳) و کروم (ppm ≥۱۵۰) که با غلظت بالا در محیط خاک، به عنوان یک تهدید بزرگ برای سلامت انسان در نظر گرفته شده‌اند، از طریق زنجیره غذایی سبب آسیب شدید به محیط‌زیست می‌شوند. سطح آستانه کروم در آب mg/L ۰/۰۵ است، در حالی که هر سطحی از سرب می‌تواند اثر سمی بر روی انسان داشته باشد. برداشت محصولات کشاورزی در خاک‌های آلوده به فلزات‌سنگین سبب کاهش حاصلخیزی خاک و

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

کاهش عملکرد گیاه می‌شود. تجمع فلزات‌سنگین باعث ایجاد اختلالاتی در رشد گیاه از جمله تنفس گیاه، سرعت فتوسنتز و تعرق می‌شود که در نتیجه رشد گیاه و تولید محصول کاهش می‌یابد (۱۲).

مطالعات متعددی در مورد کیفیت فیزیکی-شیمیایی و غلظت فلزات‌سنگین در کود کمپوست، حاکی از وجود فلزات‌سنگین در کود کمپوست است. نتایج مطالعه Yazdani و همکاران نشان داد که میانگین مقادیر سرب، کادمیوم، کروم، مس، روی و نیکل بر حسب mg/kg در کمپوست تولیدی از پوست پسته و فضولات دامی به ترتیب ۶۷/۰۹، ۲/۸۴، ۴۹/۵۸، ۱۰۷/۹۵، ۱۸۸/۲۴، ۷۹/۷۵ گزارش شده است (۱۰).

نتایج مطالعه Li و همکاران (۲۰۲۱) در چین نشان داد که میانگین مقادیر آرسنیک، کادمیوم، مس و روی بر حسب mg/kg در کمپوست آلوده به فلزات‌سنگین به ترتیب ۰/۷۹±۶/۰۴، ۰/۰۹±۱/۸۸، ۳/۱۶±۲۹/۹۳، ۱۱/۴۵±۱۵۰/۳۱ گزارش شده است (۱۳).

یافته تحقیق Karimian و همکاران (۲۰۲۲)، میانگین مقدار عناصر کبالت، کادمیوم، روی، سرب، نیکل، مس، کروم و آرسنیک بر حسب mg/kg کود کمپوست به ترتیب ۱۷/۳۵، ۶/۲۱، ۳۲۴/۸۳، ۷۱/۵۴، ۴۲/۲۶، ۲۲۹/۳۵، ۴۶/۲۹ و ۰/۰۹ گزارش شده است (۷). بر اساس نتایج مطالعه Ding و همکاران (۲۰۱۶) در چین، میانگین غلظت کادمیوم، کروم، سرب، آرسنیک، جیوه، روی، نیکل و مس در نمونه‌های کمپوست بر حسب mg/kg به ترتیب ۴۲/۲، ۳۵/۵۲، ۳۲/۳۸، ۱۶/۳۳، ۰/۳۲، ۲۵۸/۱، ۹/۷۱ و ۷۲/۲۴ بوده است (۱۴).

همچنین بر طبق نتایج مطالعه Zazouli و همکاران، میانگین pH، قطر ذرات، فسفر، درصد مواد خارجی و فلزات سنگین در کمپوست صنایع کمپوست بابل، آق قلا و رشت پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ایران، سازمان جهانی بهداشت و نظریه گوتاس بوده است. در این مطالعه همچنین میانگین غلظت فلز سرب در کود کمپوست آق قلا بیشتر از بقیه شهرها بود، اما در کود کمپوست رشت میانگین غلظت کادمیوم و نیکل بیشتر بود. از نظر غلظت فلز روی، کود کمپوست بابل میانگین بیشتری داشت (۱۵).

در مطالعه Amouei و همکاران میانگین مقادیر پارامترهای شیمیایی در کودهای تولیدی از پسماندهای مخلوط روستایی شهرستان بابل شامل نسبت کربن به ازت، درصد مواد آلی، کربن و نیتروژن و همینطور غلظت سرب و کادمیوم بر حسب mg/kg به ترتیب برابر با ۱/۵±۱۴، ۳/۹±۷۳، ۲/۲±۳۲، ۰/۵±۲/۵، ۰/۷±۳/۵ و ۰/۰۵±۰/۳ بوده است (۱۶).

در استان مازندران حدود ton/day ۲۵۰۰ پسماند تولید می‌شود که در ایام پربازدید به حدود ton/day ۴۰۰۰ نیز می‌رسد که از این میزان ۵۸ درصد در مناطق شهری و مابقی در روستا تولید می‌شود. در استان مازندران ۷ کارخانه کمپوست در شهرهای تنکابن، نوشهر، نور، بابلسر، قائم‌شهر، ساری و بهشهر وجود دارد که بیشترین فعالیت مربوط به کارخانه‌های کمپوست بابل، بهشهر و تنکابن است.

با توجه به آنچه که ذکر شد تعیین غلظت فلزات‌سنگین موجود در کود کمپوست به جهت بررسی مطابقت آن با استانداردهای موجود برای حفظ سلامت محیط‌زیست و انسان ضروری بنظر می‌رسد، لذا مطالعه حاضر با هدف اندازه‌گیری غلظت فلزات‌سنگین (آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کبالت، کروم، مس و نیکل) در کمپوست تولیدی از صنایع کمپوست مازندران در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد.

مواد و روش‌ها

_ مشخصات صنایع کمپوست مورد مطالعه

این مطالعه توصیفی – مقطعی بر روی نمونه‌های کمپوست از کارخانه‌های کمپوست استان مازندران (واقع در بابل، بهشهر و تنکابن) در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. کارخانه کمپوست بابل در منطقه‌ای بنام انجیل‌سی با ظرفیت ton/day ۲۵۰ پسماند و در کنار محل دفن پسماند احداث شده است. از مجموع حدود ton/day ۲۵۰ پسماندی که به سایت انجیل‌سی وارد می‌شود، ton ۱۸۰ مربوط به شهر بابل و ton ۷۰ مربوط

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

به سایر شهرهای شهرستان و روستاهای اطراف است. میزان پسماند ورودی ۱۰۰ ton/day است. پسماند پس از عبور از سرند دوار و عملیات تفکیک وارد سالن تخمیر سرپوشیده می‌شوند که پس از طی مراحل تجزیه فعال و رسیدگی پردازش نهایی انجام می‌شود.

روش تولید کمپوست در این کارخانه تخمیر و هوادهی است (۵).

کارخانه کمپوست بهشهر با وسعت ۱۰ ha و زیربنای ۱ ha در اراضی بایر واقع در ۷/۵ km شمال بهشهر واقع شده است. این کارخانه ظرفیت پذیرش ۲۵۰ ton/day پسماند را دارا است. میزان پسماند ورودی ۱۲۰ ton/day است. پسماند پس از تفکیک، به صورت ویندرو مورد کمپوست قرار می‌گیرد. هوادهی توده‌های پسماند در این روش با استفاده از ماشین کمپوست و بصورت مکانیکی انجام می‌شود (۱۷).

تنکابن (به نام سابق شهسوار) مرکز شهرستان تنکابن است که در استان مازندران در شمال ایران قرار دارد. کل پسماند تولیدی در کارخانه کمپوست تنکابن به طور متوسط ۱۲۰ ton/day است که به کارخانه کمپوست منتقل می‌شود و ۵ ton/day کمپوست تولید می شود. روش تولید کمپوست در این کارخانه نیز سیستم ویندرو است و میزان پسماند ورودی ۱۰۰ ton/day است (۱۸).

ـ روش نمونه‌برداری و حجم نمونه

نمونه‌های مورد استفاده در این آزمایش به صورت تصادفی از کود کمپوست نهایی کارخانه‌های کمپوست بابل، بهشهر و تنکابن جمع‌آوری شد.

نمونه‌برداری از توده‌های کمپوست به روش TMECC(Test Methods for the Examination of Composting and Compost) که یک روش نمونه‌برداری مرکب است، انجام شد. بدین صورت که جهت نمونه‌برداری از هر توده کمپوست در ۵ قسمت توده برش ایجاد نموده (۳ برش در یک طرف و ۲ برش در طرف دیگر) و در هر برش ۱۵-۱۰ نمونه به وزن ۱ kg برداشت شد و سپس تمام نمونه‌ها با هم مخلوط شدند. در نهایت حجم نمونه به یک چهارم کاهش یافت تا مقدار نمونه نهایی به حدود ۱۲ kg برسد (۱۹). با توجه به اینکه سه کارخانه کمپوست فعال در مازندران وجود داشته، با سه مرتبه نمونه‌برداری طی ۳ ماه (در ماه‌های دوم از سه فصل بهار، تابستان و زمستان) از هر کارخانه و سه مرتبه تکرار نمونه‌برداری، در مجموع تعداد ۲۷ نمونه جمع آوری شد. سپس نمونه‌ها درون کیسه‌های غیرپلاستیکی (پارچه‌ای) قرار داده شد و در مجاورت یخ (دمای ۴ °C) به آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده بهداشت ساری جهت اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی و سنجش غلظت فلزات‌سنگین انتقال داده شد. نمونه‌ها به روش هضم اسیدی (موسسه ملی استاندارد ۵۶۱۵) آماده‌سازی شدند و درنهایت غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP-OES (مدل Varian، سری 735ES) اندازه‌گیری شد (۲۰).

حجم نمونه مورد نیاز این مطالعه بر اساس معادله ۱ محاسبه شد:

$$n = \frac{Z^2_{1-\frac{\alpha}{2}} \times \sigma^2}{d^2} \qquad (1)$$

در سطح خطای ۵ درصد و دقت d=2 بر اساس واریانس میزان غلظت روی محاسبه شد. بیشترین تعداد نمونه مورد نیاز بر اساس مقدار کادمیوم برابر ۷۸۳۶۷ نمونه برآورد شد که امکان جمع آوری این تعداد نمونه وجود نداشت (۱۰). پس از آن بیشترین تعداد نمونه مورد نیاز بر اساس میزان غلظت روی برابر ۲۶ نمونه محاسبه شد. در نهایت تعداد ۲۷ نمونه در سه شهر و با ۳ تکرار در ۳ فصل جمع آوری شد.

ـ روش آنالیز پارامترهای فیزیکوشیمیایی

روش انجام آنالیز فیزیکوشیمیایی کود کمپوست، در جدول ۱ ارائه شده است. تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایشات محصول شرکت مرک آلمان بوده است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

جدول ۱- روش آزمایش پارامترهای فیزیکوشیمیایی کود کمپوست کمپوست (۲۰)

پارامتر	روش آزمایش
درصد کربن	خاکسترسازی
درصد ازت	ازت کجلدال
فلزات سنگین	هضم با اسیدنیتریک و قرائت توسط دستگاه اسپکترومتری پلاسمای جفت شده القایی ICP-OES, Agilent735
درصد ماده خارجی (مواد تجزیه‌پذیری از قبیل پلاستیک، فلزات، منسوجات و شیشه با قطر بیش از ۵ mm اطلاق می‌شود)	آنالیز الک با قطر روزنه ٤ mm

ـ روش تجزیه و تحلیل آماری

پس از انجام آزمایشات، تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶، آزمون همبستگی اسپیرمن و آزمون کروسکال والیس (Kruskal Wallis) انجام شد. برای محاسبه میانگین غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌های کمپوست از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ استفاده شد. در پایان میانگین نمونه‌ها با استانداردهای موجود در ایران و استانداردهای بین‌المللی مقایسه گردید.

یافته‌ها

در مطالعه حاضر، ابتدا خصوصیات فیزیکوشیمیایی کمپوست تولیدی این صنایع شامل درصد کربن و ازت و مواد خارجی و نسبت کربن به ازت اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۲ به تفکیک شهرهای مورد مطالعه آمده است. سپس مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر ذکر شده در استاندارد ملی ایران مقایسه شد. بر طبق نتایج جدول ۲، درصد کربن‌آلی و ازت کل در نمونه‌های کمپوست در هر سه کارخانه کمپوست بالاتر از حد قابل قبول برای کمپوست رده یک بوده است. نسبت کربن به ازت نمونه‌ها نیز مطابق استاندارد ملی ایران برای کمپوست درجه دو بوده اما درصد مواد خارجی برای کمپوست بابل بالاتر از حد قابل قبول استاندارد ملی ایران بوده است.

همچنین میانگین کلی درصد کربن آلی (۱/۸۸±۳۷/۸۵ درصد) و مواد خارجی (۰/۵۸±۱۵/۸۳ درصد) و نسبت کربن به ازت (۱۵/۱±۹۲/۸۷) در کمپوست تولیدی در شهر بابل مقادیر بالاتری از سایر شهرها نشان می‌دهد، اما درصد ازت و نسبت کربن به ازت در سه کارخانه تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین میزان مواد خارجی در کمپوست بابل به طور معنی‌داری بیشتر از دو کمپوست دیگر بود (p=۰/۰۲۶). از نظر میزان کربن آلی، اگرچه در سطح خطای ۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین کمپوست کارخانه‌ها وجود نداشت اما با توجه به مقدار معنی‌داری، می‌توان گفت در سطح خطای ۱۰ درصد، میزان کربن آلی در کمپوست بابل به طور معنی‌داری بیشتر از سایر کارخانجات بوده است (p=۰/۰۶۱).

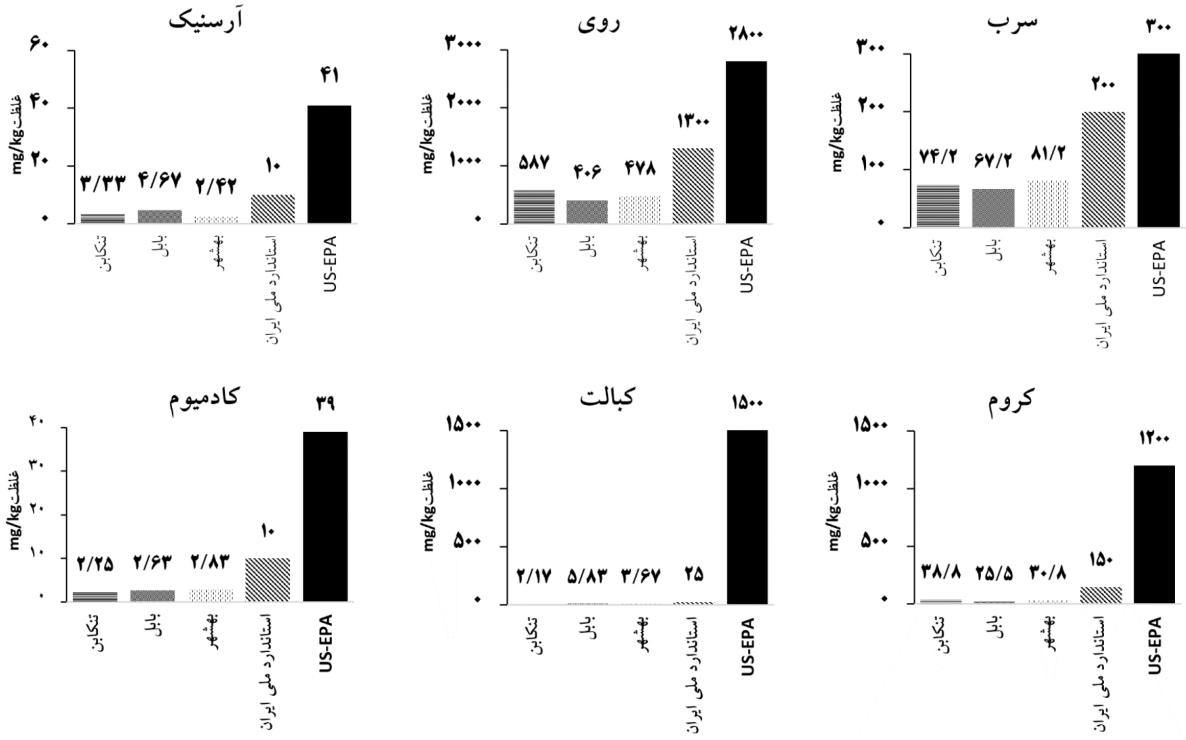
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی کمپوست تولیدی صنایع کمپوست مازندران و مقایسه آن با استاندارد ملی ایران

پارامتر مورد سنجش	نام کارخانه کمپوست			p*	حد قابل قبول استاندارد ملی ایران (۲۱)	
	تنکابن	بابل	بهشهر		کمپوست رده یک	کمپوست رده دو
کربن آلی (درصد)	۳۳/٤٤±۳/۲٤	۳۷/۸۵±۱/۸۸	۳۱/۱۹±۰/۸۵	۰/۰٦۱	حداقل ۲۵	حداقل ۱۵
ازت کل (درصد)	۲/٤٤±۰/۲۰	۲/٤۱±۰/٤۳	۲/۲۹±۰/۰٦	۰/۵٦۱	۱/۲۵–۱/٦٦	۱/۰–۱/۵
نسبت کربن به ازت	۱۳/٦۸±۰/۷٦	۱۵/۹۲±۱/۸۷	۱۳/٦۰±۰/۲۵	۰/۱۷۷	۱۵–۲۰	۱۰–۱۵
مواد خارجی (درصد)	۸/۳۹±۰/۸٤	۱۵/۸۳±۰/۵۸	۱/۰۱±۰/۸٤	۰/۰۲٦	حداکثر ٦	حداکثر ۱۲

* آزمون کروسکال–والیس

مقادیرمیانگین غلظت فلزات‌سنگین در نمونه‌های مورد بررسی بر حسب mg/kg در نمودار ۱ ارائه شده است. طبق این نمودار، برای تمامی فلزات‌سنگین مورد بررسی، مقادیر اندازه‌گیری شده کمتر از مقادیر مجاز ذکر شده در استاندارد ملی ایران و استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) است. همچنین میانگین غلظت فلزات‌سنگین در شهرهای مختلف با استفاده از آزمون کروسکال والیس مقایسه شد که بر اساس آن غلظت فلزات‌سنگین در هیچ کدام از شهرها تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (نمودار ۱).



نمودار ۱- مقدار فلزات‌سنگین بر حسَب mg/kgکمپوست در نمونه‌های کمپوست تهیه شده از کارخانه‌های کمپوست استان مازندران

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

جدول ۳ نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن برای بررسی همبستگی بین فلزات‌سنگین را نشان می‌دهد که بر اساس آن مقدار آرسنیک با کبالت، نیکل و کربن همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. همچنین مقدار بالای کادمیم با درصد بالاتری از ازت همراه بوده است. مقدار کبالت نیز با مقدار نیکل و درصد کربن همبستگی مثبت نشان داد. افزایش مقدار کروم با افزایش درصد ازت و افزایش مقدار نیکل با افزایش درصد کربن همراه بوده است. درصد کربن و درصد مواد خارجی نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند.

جدول ۳- نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن بین فلزات‌سنگین

	C.N	N	C	مواد خارجی	Zn	Pb	Ni	Cu	Cr	Co	Cd	As
As	۰/۳٤	۰/۰۷	۰/٦٦*	۰/۵۷	۰/۳۱	-۰/۰۳	۰/۷۷*	۰/۱۱	۰/۰٤	۰/۹۲**	۰/۰۲	۱/۰۰
Cd	۰/۷۳*	-۰/٤۹	۰/۱۰	-۰/۱۰	۰/۲٤	۰/۱۷	۰/۳٦	۰/۵۳	-۰/۰۸	-۰/۰۲	۱/۰۰	
Co	۰/۲۰	۰/۳۲	۰/٦۵*	۰/۳٦	۰/۳۱	-۰/۱۵	۰/۸۸**	۰/۱۹	۰/۳۹	۱/۰۰		
Cr	-۰/۲۷	۰/٦۵*	۰/۱۵	-۰/۲۹	۰/۲٤	-۰/۳۰	۰/٤۵	۰/۱۳	۱/۰۰			
Cu	۰/۰٤	-۰/۲۲	-۰/۲۳	-۰/٦۲	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۲۵					
Ni	۰/۵۲	۰/۲۵	۰/۷۵*	۰/۳۰	۰/۲۲	-۰/۲۳	۱/۰۰					
Pb	-۰/۰۳	-۰/۲۵	-۰/۳۰	-۰/۳٦	۰/۵۷	۱/۰۰						
Zn	-۰/۱۰	۰/۰۲	-۰/۲۲	-۰/۱۹	۱/۰۰							
مواد خارجی	۰/۵۰*	-۰/۲۱	۰/٦٦*	۱/۰۰								
C	۰/٦۵*	۰/۱۵	۱/۰۰									
N	-۰/٤۳	۱/۰۰										
C.N	۱/۰۰											

*همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی دار است (دو دنباله)

**همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است (دو دنباله)

بحث

در این مطالعه به بررسی مقدار فلزات‌سنگین در کمپوست تولیدی از کارخانه‌های کمپوست استان مازندران و مقایسه آن با استانداردها پرداخته شد. با توجه به نتایج آماری، تفاوت معنی دار در درصد مواد خارجی و همچنین تا حدودی کربن آلی در کمپوست تولیدی در شهرهای مورد بررسی را می‌توان به عواملی مانند تفاوت در ماهیت پسماند تولیدی اولیه در این شهرها، تفاوت در راندمان کارخانه‌های کمپوست مورد بررسی در کاهش این عوامل و همچنین تفاوت جمعیت شهرهای مورد بررسی نسبت داد. طبق آمار جمعیت شهر بابل بیشتر از سایر شهرهای مورد بررسی بوده که می‌تواند در بالاتر بودن میزان مواد خارجی و همچنین کربن آلی در کمپوست تولیدی این شهر نسبت به سایر شهرها موثر باشد.

محتوای ماده آلی پارامتر مهمی است که تحرک فلزات‌سنگین را نیز کنترل می‌کند. لذا ارتباط ماده آلی با فلزات‌سنگین، تأثیر آن بر تحرک و شار فلزات‌سنگین در کمپوست است. غلظت

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

بالای مواد آلی در کمپوست نشانه این است که فلزات‌سنگین در محصولات کمپوست در دسترس هستند، زیرا فلزات‌سنگین با مواد آلی کمپلکس‌هایی تشکیل می‌دهند که در دسترس بودن آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۲).

مقدار فلزات‌سنگین در کمپوست تولیدی در شهرهای استان به طور قابل ملاحظه و معنی داری پایین‌تر از استاندارد ملی ایران و همچنین USEPA بوده است. مقدار پایین فلزات‌سنگین اندازه‌گیری شده در محصول کمپوست صنایع کمپوست استان مازندران می‌تواند به دلیل تفکیک پسماندهای حاوی فلزات‌سنگین در مبداء تولید در منازل مسکونی و در صنایع کوچک مستقر در سطح شهر و یا در مکان‌های جمع‌آوری موقت پسماند توسط زباله‌گردها و شرکت‌های خصوصی تفکیک پسماند باشد که مقدار فلزات‌سنگین را در کود کمپوست نهایی کاهش می‌دهد.

عدم وجود تفاوت معنی دار در مقدار عناصر سنگین در بین شهرهای مورد بررسی در شهرها می‌تواند ناشی از تفاوت ناچیز در مقدار و ماهیت پسماندهای فلزی تولید شده در شهرهای مختلف استان و همچنین در فصول مختلف باشد که دلایل آن را می‌توان شباهت در فرهنگ مصرف کالا و نوع کالای مصرفی دانست.

بعلاوه در تمام نمونه‌های کمپوست مورد بررسی، غلظت روی و سپس مس بالاتر از بقیه فلزات‌سنگین بودند. غلظت کادمیوم نیز در تمام نمونه‌ها در مقایسه با سایر فلزات کمترین مقدار را نشان داد. غالب بودن روی در نمونه‌ها را می‌توان به تثبیت اکسیدهای روی در کمپوست نسبت داد، زیرا گزارش شده است که اکسیدهای روی در خاک، ثابت پایداری بالایی دارند (۲۳). افزایش غلظت فلز مس در طول دوره کمپوست‌سازی نسبت به فلزات نیکل و آرسنیک می‌تواند به دلیل تجزیه مواد آلی شامل ضایعات گیاهی و حیوانی در داخل کمپوست و از دست رفتن مواد آلی در طول زمان رخ دهد. در این فرایند، میکروارگانیسم‌ها و باکتری‌ها مواد آلی را تجزیه کرده و مواد معدنی مانند مس را آزاد می‌کنند. این مواد معدنی می‌توانند به طور تدریجی در کمپوست تجمع یابند و غلظت مس را افزایش دهند. همچنین در طول زمان، برخی از مواد معدنی ممکن است به دلیل فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی در کمپوست از بین بروند که این نیز می‌تواند منجر به افزایش غلظت مس شود (۲۴).

در مورد کادمیوم، غلظت های پایین‌تر آن نسبت به بقیه عناصر کمپوست، ممکن است به دلیل ماهیت جذب ضعیف کادمیوم در خاک باشد (۲۵).

نتایج مطالعه Jimoh و همکار (۲۰۱۳) در ارتباط با بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در کمپوست حاصل از پسماند شهری در شهر کانو (Kano) واقع در نیجریه نشان داد که کل کربن آلی کمپوست نهایی در محدوده ۸/۶۵-۶/۲۸ درصد بوده است که بسیار کمتر از کربن آلی موجود در نمونه‌های کمپوست مطالعه حاضر بوده است؛ که دلیل احتمالی آن می‌تواند ترکیب و درصد اجزای متفاوت و همینطور ماهیت متفاوت پسماند شهری شهر کانو در نیجریه در مقایسه با شهرهای استان مازندران در کشور ایران باشد (۲۲). در مطالعه Jimoh و همکار همچنین نتایج بررسی غلظت فلزات سنگین کمپوست پسماند شهری بیانگر غلظت روی (۵۲/۱۸-۵۴۷/۸۲)، مس (۳۴/۵۰-۲۶۲/۰۶)، آهن (۱۰۹/۰۸-۱۸/۱۸) نیکل (۹/۵۲-۷۶/۱۹)، منگنز (۱۲/۷۳-۴۰/۴۵)، سرب (۱۳/۸۰-۶۲/۰۷) و کادمیوم (۲/۵-۷/۵) بر حسب mg/kg بوده است. غلظت فلزات سنگین بر حسب (mg/kg) در کمپوست مورد مطالعه این محققین مشابه مطالعه حاضر، کمتر از حداکثر غلظت مجاز این فلزات در کمپوست در مقایسه با استاندارد USEPA و استانداردهای کمپوست هند، ایتالیا و مقررات کمپوست ایالات متحده آمریکا بوده است. غلظت کم فلزات سنگین ثبت شده در کمپوست احتمالاً به دلیل تفکیک در مبداء پسماند بوده که احتمال آلودگی فلزات‌سنگین را کاهش می‌دهد (۲۲).

نتایج پژوهش Asgharzadeh و همکاران (۲۰۱۴) در شهر بابل در بررسی مقادیر فلزات‌سنگین در نمونه‌های کمپوست

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

نشان داد که غلظت فلز کادمیوم، سرب و روی به ترتیب برابر با ۱/۹±۱، ۲۸/۹±۶۷/۱، ۵۵/۶±۶۰۳/۷ بر حسب (mg/kg) و مشابه مطالعه حاضر مطابق با استانداردهای ملی ایران و سازمان جهانی بهداشت بوده، لذا برای گونه‌های مختلف گیاهان قابل استفاده بوده است (۲۶).

Sadeghi و همکاران (۲۰۱۵)، در پژوهشی در سنندج خواص فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات‌سنگین کمپوست حاصل از پسماند شهری را مورد بررسی قرار دادند. بر طبق نتایج این مطالعه، میانگین غلظت عناصر کروم، کادمیوم، سرب و آرسنیک به ترتیب ۱/۶۶ ± ۴۰/۲۷، ۰/۰۳۸ ± ۱/۵۷، ۴/۱۲ ± ۹۵ و ۰/۰۴۵ ± ۰/۳۹ بر حسب (mg/kg) بوده که مشابه با مطالعه حاضر مقادیر فلزات‌سنگین کمتر از مقادیر استاندارد بوده است. همچنین نسبت کربن به ازت ۸/۴۵ بوده که در مقایسه با استانداردها و همینطور مطالعه حاضر پایین‌تر بوده که در چنین مواردی لازم است موادی مانند خرده چوب، خاک اره، پوست، شاخه و برگ، ضایعات مواد غذایی، کاه، غلات سبوس دار، ضایعات سبز و ... را در ابتدای فرآیند به مواد کمپوست اضافه کرد (۲۷).

Khater (۲۰۱۵)، در پژوهشی برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی کمپوست در مصر را مورد بررسی قرار داد و نتایج نشان داد که مجموع مقادیر کربن آلی از ۲۳/۸-۱۶/۶ درصد، مقادیر کل مواد آلی ۴۱/۲۰-۲۸/۶ درصد، مقدار نیتروژن ۱/۶۸-۰/۹۵ درصد و مقادیر نسبت کربن به نیتروژن (C/N) از (۱۴/۲۲ به ۱ تا ۱۸/۵۲ به ۱) متغیر بود (۲۸)، که در مقایسه با مطالعه حاضر مقادیر کربن آلی و نیتروژن کمپوست مازندران بیشتر بوده اما نسبت کربن به ازت کمپوست مازندران پایین تر بوده است. کاهش مقدار کربن آلی در طول کمپوست ممکن است در نتیجه تجزیه میکروبی بسترهای آلی باشد (۲۹).

Tibu و همکاران (۲۰۱۹)، پژوهشی تحت عنوان تأثیر فرآیند کمپوست بر خواص فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات‌سنگین در پسماندهای بازار در شهرداری Ga West، در غنا انجام دادند، نتایج نشان داد که مقدار کل کربن آلی و نیتروژن کل به ترتیب ۳۱/۰۶-۲۷/۰۵ تا ۰/۹۷-۰/۷۷ درصد بوده است. مقادیر نسبت کربن به ازت ۲۹/۰۹ به ۱ تا ۳۶/۲۲ به ۱ بوده، همچنین غلظت فلزات‌سنگین شامل کروم، مس، نیکل، جیوه، آرسنیک، سرب، کادمیوم و روی در نمونه ها به ترتیب ۴۴/۷۵-۲۶/۰۲، ۲۳/۳۶-۱۵/۲۳، ۷۳/۶۷-۲۶/۳۲، ۰/۳۷-۰/۲۷، ۰/۸-۰/۳، ۳۹/۴- ۱۵/۹، ۱/۹۳-۱/۳۶، ۳۹/۶۳-۳۰/۱۶ بر حسب (mg/kg) بوده که کمتر از استانداردهای شورای وزیران محیط‌زیست کانادا بوده است (۲۴). در مقایسه با مطالعه حاضر، نسبت کربن به ازت کمپوست مازندران کمتر و مقدار ازت کمپوست مازندران بالاتر از مقادیر مطالعه قبلی بوده است. Yazdani و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی میزان فلزات‌سنگین را در کمپوست تولیدی از پوست پسته و فضولات دامی در مشهد اندازه گرفتند. میانگین غلظت فلزات‌سنگین در تمامی نمونه‌ها (به‌جز فلز مس)، کمتر از حد مجاز استاندارد موسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران و استاندارد USEPA بوده است (۱۰) که در مقایسه با مطالعه حاضر، غلظت کادمیوم، کروم و نیکل بیشتر و غلظت فلزات مس، سرب و روی کمتر بوده است. این محققین به این نتیجه رسیدند که رعایت استانداردها برای کنترل کیفیت محصول نهایی کمپوست، دارای اهمیت بالایی است و مطابقت شاخص‌های کنترل کیفی کود کمپوست نهایی با استانداردها، سبب می‌شود از اثرات نامطلوب محصول بر محیط زیست و زنجیره غذایی جلوگیری شود (۱۰).

در پژوهشی که توسط Amouei و همکاران (۲۰۲۰)، جهت بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک غنی شده با کمپوست در بابل انجام گرفت نتایج نشان داد، در عمق ۵ سانتی‌متری خاک بیشترین غلظت سرب با میانگین ۹/۵±۳۵/۷ و در عمق ۱۵ سانتی‌متری حداکثر غلظت کادمیوم با میانگین ۰/۲±۱/۱ و روی با میانگین ۲۲/۶±۸۸ بر حسب (mg/kg) مشاهده شده است. میانگین غلظت کادمیوم در هر دو فصل زمستان و تابستان بیشتر از مقدار استاندارد ایران بود. کادمیوم که به راحتی از طریق ریشه جذب می‌شود و در زنجیره غذایی سمیت ایجاد می‌کند، بدون شک مهمترین آلاینده در خاک‌های

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

کشاورزی و محصولات گیاهی است؛ این نتایج نشان می‌دهد که غلظت سرب، کادمیوم و روی در خاک‌های کشاورزی غنی‌شده با کودهای کمپوست در محدوده قابل قبول قرار دارند، اما خاک‌های کشاورزی غنی‌شده با کودهای شیمیایی میزان بالاتری از این عناصر نسبت به خاک‌های غنی‌شده با کودهای کمپوست و بیشتر از حداکثر غلظت مجاز نشان می‌دهند (۱۱). Jalalipour و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی غلظت فلزات‌سنگین را در کمپوست حاصل ازپسماندهای آلی شهری در شیراز اندازه گرفتند و میانگین غلظت فلزات سرب، کادمیوم، کروم، نیکل، روی و کبالت به ترتیب ۲۷/۳۵، ۰/۰۴، ۸/۳۲، ۱۵/۳۴، ۹۵/۲۶ و ۰/۴ بر حسب (mg/kg) گزارش کردند که در محدوده قابل قبول استاندارد ملی ایران بوده و همچنین کمپوست تولید شده دارای غلظت فلزات‌سنگین کمتری نسبت به مقادیر تعیین شده توسط استاندارد آلمان بوده است. این نتایج نشان داد اهمیت تفکیک پسماند به منظور اطمینان از کیفیت محصول نهایی است که به همین دلیل فلزات‌سنگین مورد بررسی در مقایسه با نمونه‌های مطالعه حاضر غلظت کمتری داشتند (۳۰). Malakoutian و همکاران (۲۰۱۵)، میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیوم، کروم، نیکل و روی را در نمونه‌های کمپوست تولیدی کارخانه کرمان به ترتیب ۱۵/۶۹±۲۲۱/۸۵، ۰/۱۱±۱/۳۶، ۵/۹±۱۴۷/۹۴، ۹/۴۵±۱۲۹/۷۱، ۲۸/۰۸±۶۳۴/۷۱ بر حسب (mg/kg) گزارش کردند که غلظت عناصر سرب و کادمیوم در مقایسه با مطالعه حاضر کمتر بوده است (۹).

در مطالعات جهانی نیز Cesaro و همکاران (۲۰۱۹)، میانگین غلظت فلزات‌سنگین کادمیوم، نیکل، سرب، روی و کروم را در کارخانه کمپوست جنوب ایتالیا به ترتیب کمتر از ۰/۰۱، ۰/۹۳±۹/۸۴، ۱۱/۷±۳۴/۹، ۴/۷±۱۱۴/۷ و کمتر از ۰/۰۱ بر حسب (mg/kg) و همچنین مقدار کربن آلی، نیتروژن آلی و نسبت کربن به ازت را به ترتیب ۳/۸±۲۴/۵، ۲/۸±۸۸ و ۱۲/۷ گزارش کردند که در مقایسه با مطالعه حاضر مقادیر فلزات‌سنگین کمتر بودند (۳۱). Hemidat و همکاران (۲۰۱۸)، میانگین غلظت فلزات‌سنگین سرب، کادمیوم، کروم، نیکل و روی را در کمپوست کشور اردن به ترتیب ۹/۳۰-۲، ۰/۹۵-۰/۴۲، ۷۰-۴۳، ۵۹-۳۰ و ۷۵-۴۶ بر حسب (mg/kg) گزارش کردند که در مقایسه با استاندارد اروپا بسیار کمتر و در مقایسه با مطالعه حاضر، مقادیر فلزات‌سنگین کروم و نیکل بیشتر بوده است. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که تفکیک در مبداء به عنوان روشی موثر و امیدوارکننده برای بهبود کیفیت کمپوست از نظر محتوای فلزات‌سنگین در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان بهبود قابل توجهی در کیفیت کمپوست و در نتیجه بهبود عملکرد آن در کشاورزی و باغبانی داشت (۳۲). Ahn و همکاران (۲۰۲۱)، میانگین غلظت فلزات‌سنگین کروم، مس، نیکل و روی را در کمپوست کود مایع در کره جنوبی به ترتیب ۲/۹، ۲۰/۴، ۱/۳ و ۷۹/۸ بر حسب (mg/kg) گزارش کردند که در مقایسه با مطالعه حاضر کمتر بوده است (۳۳).

Adamu و همکاران (۲۰۲۳)، میانگین غلظت فلزات‌سنگین روی، کادمیوم، مس، نیکل، آرسنیک، سرب و کروم را در نمونه‌های کمپوست کارخانه کمپوست شهر Sokoto واقع در کشور نیجریه، اندازه گرفتند که به ترتیب ۸۹/۸۶±۲۷۵/۴۷، ۱/۰۴±۱/۸۲، ۹۱/۴۶±۲۶۳/۴۶، ۱۱/۷۲±۴۵/۲۳، ۰/۰۹۵±۱/۵۳، ۲۱/۴۶±۷۱/۷۱، ۰/۳۹±۰/۲۹ بر حسب (mg/kg) بوده است. همچنین نسبت کربن به ازت ۹/۵۱-۲/۲۸ و میانگین کربن آلی ۱/۹۴±۱۴/۳۹ گزارش شده است. مقادیر فلزات‌سنگین در محدوده مجاز ایالات متحده آمریکا و WHO بوده و در مقایسه با مطالعه حاضر غلظت نیکل و مس نمونه‌ها بیشتر بوده است (۳۴).

صنایع کوچک واقع شده در مناطق شهری اغلب پسماندهای خود را همراه با پسماندهای شهری دفع می‌کنند (۳۵).

Yang و همکاران (۲۰۱۷)، غلظت فلزات‌سنگین را در کمپوست‌های کود حیوانی در چین بررسی کردند که غلظت روی، مس، آرسنیک، کروم، کادمیوم، سرب، کبالت و نیکل به ترتیب ۴۳۵، ۱۰۳، ۹/۲۸، ۷۴/۶، ۰/۶۷، ۱۱/۲، ۵/۴۸ و ۱۵/۱ بر حسب (mg/kg) گزارش شده است و بر این اساس، غلظت

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

عناصر آرسنیک، کروم و کبالت در مقایسه با مطالعه حاضر بیشتر بودند. از آنجایی که این محصولات کمپوست عمدتاً از کودحیوانی و کاه تهیه می‌شدند، احتمال می‌رود که سطوح بالای این فلزات و متالوئیدها به دلیل افزودن این عناصر به خوراک دام به دلایل بهداشتی و رفاهی بوده است. افزودن مس و روی به خوراک مورد استفاده برای دام، یک روش معمول برای افزایش مواد مغذی و اثرات مفید فارماکولوژیک در خوراک دام است. همچنین، غلظت بالای آرسنیک در برخی از نمونه‌ها ممکن است به دلیل افزودن ترکیبات آلی (مانند روکسارسون) به خوراک دام، به ویژه برای طیور باشد (۳۶).

Ding و همکاران (۲۰۱۶) غلظت فلزات‌سنگین را در کمپوست‌های تجاری از ۹ استان جنوبی چین مورد بررسی قرار دادند (۱۴)، بر این اساس، غلظت فلزات کادمیوم، سرب، نیکل، روی و مس در مقایسه با مطالعه حاضر کمتر و غلظت فلزات کروم و آرسنیک بیشتر از مطالعه حاضر بود. در این مطالعه کنترل محتوای فلزات در افزودنی‌های خوراک و اجرای اقداماتی برای دفع مدفوع حیوانات با غلظت بالای فلزات‌سنگین ضروری بود تا بتوان کودهای کمپوست با کیفیت مناسب‌تری از نظر غلظت فلزات‌سنگین تولید کرد. دفع پسماندهای حاوی فلزات‌سنگین از محصولات حاوی کادمیوم مانند باطری‌های نیکل، کادمیوم، پلاستیک، سرامیک، شیشه، رنگ، میناکاری که در تولید آن‌ها از رنگ‌های حاوی کادمیوم استفاده می‌شود می‌توانند از منابع تولید کادمیوم باشند که در کود کمپوست نیز یافت می‌شوند (۳۶).

با مقایسه میانگین غلظت فلزات‌سنگین (آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کبالت، کروم، مس و نیکل) اندازه‌گیری شده در نمونه‌های کمپوست تولیدی کارخانه کمپوست مازندران در مطالعه حاضر با استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا و موسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران مشخص شد که میزان فلزات‌سنگین در مطالعه حاضر پایینتر از حد مجاز بوده است. در کشورهای پیشرفته پسماندهای خطرناک (مثل باتری‌ها و پسماندهای الکترونیک) و پسماندهای صنعتی هم به صورت جداگانه تفکیک و جمع‌آوری می‌شوند؛ ولی در ایران پسماند تفکیک نشده جمع‌آوری می‌شود، لذا انتظار می‌رود درصد پسماندهای خطرناک و حاوی فلزات‌سنگین در کودهای کمپوست تولیدی از پسماند در سطح کشور بالاتر باشد (۲۴).

بر اساس نتایج ماتریس همبستگی (جدول ۳)، رابطه بالا و معنی دار بین مواد خارجی و کربن نیز می‌تواند بیانگر آن باشد که ترکیبات آلی شامل مواد غذایی و همچنین مواد پلاستیکی که عموما پلیمرهای حاوی کربن هستند بخش مهمی از مواد خارجی موجود در کمپوست تولیدی را تشکیل می‌دهند. همبستگی بالای بعضی از عناصر مانند آرسنیک، کبالت و نیکل با کربن می‌تواند ناشی از جذب این عناصر توسط مواد آلی و ذرات پلاستیک و ریزپلاستیک، تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی و همچنین حضور بعضی از این عناصر به عنوان افزودنی (additive) در پلاستیک‌ها و رنگ‌ها باشد (۳۷، ۳۸). همچنین بعضی از این عناصر به صورت مشترک در تولید آلیاژهایی که ابزارها، کاربردهای مفید در زندگی روزمره دارند مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳۹، ۴۰). به طور کلی بقایای کمپوست حاصل از پسماندهای شهری و پسماندهای سبز میل ترکیبی بالایی برای اتصال فلزات‌سنگین دارند و فرآیندهای کمپوست هوازی باعث افزایش کمپلکس فلزات‌سنگین در پسماندهای آلی می‌شوند و فلزات به شدت به ماتریس کمپوست و مواد آلی متصل هستند و حلالیت و فراهمی زیستی بالقوه آنها در خاک را محدود می‌کنند (۴۱).

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری شاخص‌های کنترل کیفی کود کمپوست با استفاده از استانداردها، کمک می‌کند تا محصولی با کیفیت و قابل قبول به بازار فروش عرضه شود. با جداسازی و تفکیک اصولی پسماند در مبداء و نیز در ورودی کارخانه‌های کمپوست می‌توان در کاهش میزان فلزات‌سنگین در محصول کمپوست نهایی نقش موثری داشت. مقدار فلزات‌سنگین نمونه‌های کمپوست مورد بررسی کمتر از مقادیر ذکر شده

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

در استانداردهای داخلی و خارجی بوده است، لذا محصول نهایی کمپوست کارخانجات مورد بررسی از نظر فلزات‌سنگین معیارهای بهداشتی را رعایت کرده و قابلیت استفاده ایمن در مقاصد محیط زیستی را دارد. از کاستی‌های مطالعه حاضر عدم امکان انجام تعدادی از آنالیزها شامل آنالیز فسفر و پتاسیم و کم بودن حجم نمونه‌ها بدلیل محدودیت‌های بودجه طرح بوده است.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. بعلاوه طرح تحقیقاتی این مطالعه، توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی مازندران مورد تایید قرار گرفته است (کد اخلاق IR.MAZUMS.REC. 1400. 294).

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "بررسی فراوانی میکروپلاستیک‌ها و غلظت فلزات‌سنگین در کمپوست تولیدی کارخانه‌های کمپوست مازندران در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹" در مقطع کارشناسی ارشد بوده که با حمایت معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران اجرا شده است. بدینوسیله از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران، مدیریت کارخانه‌های کمپوست بابل، بهشهر و تنکابن و همچنین کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های شیمی و تحقیقات دانشکده بهداشت ساری که به محققین در انجام این پژوهش یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Dehghani M, Hashemi H, Abedi T, Shamsedini N, Khodabakhshi A, Ghasemi R. The survey of knowledge, attitude, and Behavior of students in Shiraz University of Medical Sciences about the recycling of solid waste in 2012. Journal of Health System Research. 2015;10(4):821-9.(In Persian)
2. Shah AV, Srivastava VK, Mohanty SS, Varjani S. Municipal solid waste as a sustainable resource for energy production: State-of-the-art review. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021;9(4):105717. (In Persian)
3. Hosseini SH, ebrahimi AA, Dehghani Tafni A, Marvati Sharifabad MA. Citizen Participation in Urban Waste Separation from Origin and its Barriers (Case Study: city of Babol). The Journal of Toloo-e-behdasht. 2021;19(6):15-32. (In Persian)
4. Amirnejad H, Jahanifar K, Shahpori A, Eshghi F. Establishment of a New Urban Solid Waste Management Programs in Mazandaran Province, North of Iran. Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 2018;22(7):1037-41. (In Persian)
5. Nabi Bidhandi G, Hassanzadeh Moghimi O, Rabiei Abianeh M. Analytical investigation of organic fertilizer production line problems in Babol compost factory and suggestions for improvement in order to improve the quality and optimize the compost production process. The 10th national conference

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

on environment, energy and sustainable natural resources2019. (In Persian)

6. Manbohi A, Mehdinia A, Rahnama R, Dehbandi R. Microplastic pollution in inshore and offshore surface waters of the southern Caspian Sea. Chemosphere. 2021;281:130896.
7. Karimian A, Nadaf Fard L, Norouzi M, Bagheripoor Monfared I, Mohseni SS. Comparison of physical, Chemical and Microbial Properties of Municipal Waste Compost Fertilizer with Bio compost Obtained from Green Squares in Tehran. Journal of Environmental Science Studies. 2022;7(2):4844-55. (In Persian)
8. Gujre N, Mitra S, Soni A, Agnihotri R, Rangan L, Rene ER, et al. Speciation, contamination, ecological and human health risks assessment of heavy metals in soils dumped with municipal solid wastes. Chemosphere. 2021;262:128013.
9. Malakootian M, Momenzadeh R. Assessment of Heavy Metals Lead, Cadmium, Chromium, Nickel and Zinc in Compost Production Plant in Kerman. Journal of Ilam University of Medical Sciences. 2015;23(1):63-70. (In Persian)
10. Yazdani M, Alidadi H, Dehghan A, Davoudi M, Dankoob M, Taghavi M, et al. Assessment Of Heavy Metals In The Compost Produced By The Pistachio Hull And Livestock Waste. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences. 2019;26(1):153-9. (In Persian)
11. Amouei A, Fallah H, Asgharnia H, Mousapour A, Parsian H, Hajiahmadi M, et al. Comparison of heavy metals contamination and ecological risk between soils enriched with compost and chemical fertilizers in the North of Iran and ecological risk assessment. Environmental Health Engineering and Management Journal. 2020;7(1):7-14. (In Persian)
12. Irfan M, Mudassir M, Khan MJ, Dawar KM, Muhammad D, Mian IA, et al. Heavy metals immobilization and improvement in maize (Zea mays L.) growth amended with biochar and compost. Scientific Reports. 2021;11(1):18416.
13. Li M, Zhang J, Yang X, Zhou Y, Zhang L, Yang Y, et al. Responses of ammonia-oxidizing microorganisms to biochar and compost amendments of heavy metals-polluted soil. Journal of Environmental Sciences. 2021;102:263-72.
14. Ding F, He Z, Liu S, Zhang S, Zhao F, Li Q, et al. Heavy metals in composts of China: historical changes, regional variation, and potential impact on soil quality. Environmental Science and Pollution Research International. 2016;24(3):3194-209.
15. Zazooli MA, Yazdani J, Khanbabaee M. Investigation of Compost guality of Babol (Mazandaran), Aq Qala (Golestan) and Rasht (Gilan) compost plant and comparison with the standards. Journal of Research in Environmental Health. 2020;5(4):341-52. (In Persian)
16. Amouei AA, Asgharnia HA, Khodadi A. Study of compost quality from rural solid wastes (Babol, Iran). Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2010;19(74):55-61. (In Persian)
17. Rostam Kalai SR, Bahmanesh A, Hosseinpourrodsari H. Environmental risk assessment of Behshahr compost factory by William fine method. International Conference on New Researches in Agricultural and Environmental Sciences2014. (In Persian)
18. Azizpour A, Azarafza M, Akgun H. The impact of municipal waste disposal of heavy metals on environmental pollution: A case study for

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

Tonekabon, Iran. Advances in Environmental Research. 2020;9(3):175-89.

19. Moradi T, Abolhasani MH. The study of the age of compost on the quality of the produced compost (a case study of compost municipal waste management organization). Journal of Environmental Health Enginering. 2020;7(2):165-78. (In Persian)
20. Zazouli MA, Samaneh D. Solid waste and compost sampling and analysis Guideline2015. 43-107-31-40-48 p. (In Persian)
21. Sefidkar E, Kazemi M, Mohebbrad B, Sadeghi A. Chemical analysis of the compost produced in Mashhad city and comparison with standards. Journal of North Khorasan University of Medical Sciences. 2014;5(4):775-82. (In Persian)
22. Jimoh W, Sabo Y. Evaluation of Physicochemical Properties and Heavy Metals Concentration in Municipal Dumpsite Compost in Kano Metropolis, Nigeria. ChemSearch Journal. 2013;4(2):26-30.
23. Ma LQ, Rao GN. Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel, and zinc in contaminated soils. Wiley Online Library; 1997. Report No.: 0047-2425.
24. Tibu C, Annang TY, Solomon N, Yirenya-Tawiah D. 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. 2019;8:393-403.
25. Mido Y, Satake M. Chemicals in the environment. In toxic metals, eds, MS Sethi and SA Igbal, 45-68. New Delhi: Discovery Publishing House; 2003.
26. Asgharzadeh F, Ghaneian MT, Amouei A, Barari R. Evaluation of cadmium, lead and zinc content of compost produced in Babol Composting Plant. 2014. (In Persian)
27. Dehvari M, Committee SSSR. Physical-Chemical Analysis and Comparison with Standards of the Compost Produced in Sanandaj, Iran. Open Access Library Journal. 2015;2(10):1. (In Persian)
28. Khater E-SG. Some physical and chemical properties of compost. International Journal of Waste Resources 2015;5(1):72-9.
29. Bernal MP, Alburquerque J, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bioresource Technology. 2009;100(22):5444-53.
30. Jalalipour H, Jaafarzadeh N, Morscheck G, Narra S, Nelles M. Potential of producing compost from source-separated municipal organic waste (A case study in Shiraz, Iran). Sustainability. 2020;12(22):9704.
31. Cesaro A, Conte A, Belgiorno V, Siciliano A, Guida M. The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste. Journal of Environmental Management. 2019;232:264-70.
32. Hemidat S, Jaar M, Nassour A, Nelles M. Monitoring of Composting Process Parameters: A Case Study in Jordan. Waste and Biomass Valorization. 2018;9(12):2257-74.
33. Ahn T, Kim D, Lee H, Shin H, Chung E. A study on the nutrient composition and heavy metal contents in livestock manure compost· liquefied fertilizer. Journal of Korean Society on Water Environment. 2021;37(4):306-14.
34. Adamu MS, Bello I, Idris B, Muhammad MU, Hadi BA. Assessment of Physiochemical Properties and Heavy Metals Concentration of Municipal

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

Solid Compost (MSWC): A Case Study in Sokoto Metropolis, Nigeria. Open Access Library Journal. 2023;10(3):1-12.

35. Chen G, Zeng G, Du C, Huang D, Tang L, Wang L, et al. Transfer of heavy metals from compost to red soil and groundwater under simulated rainfall conditions. Journal of Hazardous Materials. 2010;181(1-3):211-6.

36. Yang X, Li Q, Tang Z, Zhang W, Yu G, Shen Q, et al. Heavy metal concentrations and arsenic speciation in animal manure composts in China. Waste Managment. 2017;64:333-9.

37. Sendra M, Pereiro P, Figueras A, Novoa B. An integrative toxicogenomic analysis of plastic additives. Journal of Hazardous Materials. 2021;409:124975.

38. Turner A, Filella M. Hazardous metal additives in plastics and their environmental impacts. Environment International. 2021;156:106622.

39. Geng C, Chen C, Shi X, Wu S, Jia Y, Du B, et al. Recovery of metals from municipal solid waste incineration fly ash and red mud via a co-reduction process. Resources, Conservation and Recycling. 2020;154:104600.

40. Gujre N, Rangan L, Mitra S. Occurrence, geochemical fraction, ecological and health risk assessment of cadmium, copper and nickel in soils contaminated with municipal solid wastes. Chemosphere. 2021;271:129573.

41. Smith SR. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. Environment International. 2009;35(1):142-56.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Original Article

Investigating the amount of heavy metals in compost produced in the compost industries of Mazandaran province

MohammadAli Zazouli[1], Samaneh Dehghan[1], Mahdieh Mohammadi Alashti[1,*], Afsaneh Fendereski[2], Reza Dehbandi[3,4]

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
2- Department of biostatistics, School of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
3- School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Edgbaston, B 15 2TT Birmingham, United Kingdom
4- Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 17 October 2023
Revised: 24 December 2023
Accepted: 30 December 2023
Published: 05 March 2024

Keywords: Compost quality, Chemical analysis, Toxic elements

ABSTRACT

Background and Objective: One of the main limitations of using compost is the possibility of heavy metals with high concentrations. Unlike organic contaminants, these elements resist decomposition by microorganisms and, when present at elevated levels, pose a toxicity risk to soil, plants, aquatic ecosystems, and human health.

Materials and Methods: This study was a descriptive cross-sectional study conducted in 2021-2022w. Samples were collected from three compost factories in Mazandaran (Babol, Behshahr, and Tonekabon) using random sampling methods and prepared according to the acid digestion method (National Standard Institute 5615). The concentration of heavy metals in the samples was measured using an ICP-OES.

Results: The average concentration of arsenic, zinc, lead, cadmium, cobalt, chromium, copper, and nickel in the analyzed samples were 1.38±3.47, 490±151.5, 74±12, 2.56±0.65, 4.5±1.46, 31.72±16.47, 186.11±49.9, 22.72±4.2 mg/kg dry weight of compost, respectively. The average concentration of heavy metals in different cities was compared using the Kruskal-Wallis test, based on which the concentration of heavy metals in none of the cities was significantly different from each other ($p>0.05$).

Conclusion: The concentration of heavy metals in the investigated compost samples was lower than the limits specified in both domestic and international standards. Therefore, the final product of the examined compost factories meets the health standards for heavy metals and is safe for use in environmental applications.

***Corresponding Author:**
mahdiemohammadi00@gmail.com

Please cite this article as: Zazouli MA, Dehghan S, Mohammadi Alashti M, Fendereski A, Dehbandi R. Investigating the amount of heavy metals in compost produced in the compost industries of Mazandaran province. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;16(4):731-46.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-27]