مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره چهار، تیر ماه ۱۴۰۲(۵۳-۴۳)

# ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی دستگاه کمپوستر استارکلین در تبدیل پسماندهای تر به کود کمپوست

**حمید عباسعلی‌زاده** [۱]

**ارژنگ فتحی گردلیدانی** [۲*]

Star.arya94@gmail.com

**شهاب خلج** [۳]

**سیاوش جلیلی آرامش** [۴]

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۵** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۳۱**

**چکیده**

**زمینه و هدف:** مدیریت مطلوب مواد زاید آلی شهری، کشاورزی و صنعتی با توجه به حجم بالای تولید روزانه آن‌ها در تمامی کشورها از اهمیت ویژه‌ای به خصوص از دیدگاه محیط‌زیستی و بهداشتی برخوردار است. هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی دستگاه کمپوستر استارکلین در تبدیل پسماندهای تر از مبدأ به کود کمپوست و تجزیه شیمیایی و میکروبی کود تولید شده و مقایسه آن با استانداردهای مرجع در این زمینه بود.

**روش بررسی:** یک دستگاه کمپوستر با ظرفیت تبدیل ۱۰-۵ کیلوگرم پسماند تر در شهرداری منطقه ۲۲ تهران نصب گردید و سپس باکتری *Alicyclobacillus sendaiensis* به مخزن دستگاه اضافه شد و روزانه پسماندهای تر درون آن ریخته می‌شد و بعد از ۲۴ ساعت کمپوست برداشت می‌گردید. سپس کمپوست برداشت شده از نظر ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی مورد آزمایش قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین و تعداد باکتری‌های *سالمونلا و کلی‌فرم‌های مدفوعی* در کمپوست خروجی دستگاه کم‌تر از حد مجاز بود و با استانداردهای مرجع کاملا مطابقت دارد. سایر ویژگی‌های شیمیایی کمپوست نیز مطلوب بود که نشان دهنده تولید کود آلی با کیفیتی است و استفاده از آن می‌تواند سبب بهبود حاصلخیزی خاک‌ها شود.

۱- مدیرعامل شرکت ستاره آریا نوین آیلین.

۲- فارغ التحصیل دکتری علوم خاک، دانشگاه تهران. *(مسوول مکاتبات).

۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد هوش مصنوعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد صفا دشت تهران.

۴- فارغ التحصیل کارشناسی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی بوئین زهرا.

**بحث و نتیجه‌گیری:** دستگاه کمپوستر مورد مطالعه به خوبی و در زمان کوتاه بدون تولید شیرابه و بوی نامطبوع و نیز بدون هیچ‌گونه آلودگی محیط‌زیستی پسماندهای تر را به کود تبدیل کرد و از یک سو سبب تفکیک کامل پسماند تر و خشک در مبدأ و از سوی دیگر سبب تولید یک کود کمپوست با کیفیت گردید. بنابراین استفاده از آن در مکان‌های تولید پسماند تر توصیه می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** دستگاه کمپوستر، استارکلین، تفکیک از مبدا، پسماند تر، کمپوست.

*J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No. 4, July, 2023*

# Evaluation of environmental performance of the Starclean composting machine in converting the wet wastes into compost

**Hamid Abasalizadeh** [1]
**Arzhang Fathi-Gerdelidani** [2*]
Star.arya94@gmail.com
**Shahab Khalaj** [3]
**Siavash Jalili-Aramesh** [4]

Admission Date: June 21, 2023 Date Received: May 15, 2023

**Abstract**

**Background and Objective:** Ideal management of urban, agricultural, and industrial organic wastes is important due to high daily production of them, particularly from environmental and hygienic perspective. The aim of this research was to evaluate the environmental performance of StarClean composting machine in converting wet wastes at origin to compost fertilizer and chemical and microbial analysis of the produced fertilizer and comparing it with reference national standards.

**Material and Methodology:** One composting machine with a capacity to convert 5-10 kg wet wastes was installed in region 22 of Tehran municipality, then *Alicyclobacillus sendaiensis* bacteria were added to the machine tank and wet wastes were strewed in it daily and after 24 hours, the produced compost was picked up. Afterwards, microbial and chemical characteristics of the compost were analyzed.

**Findings:** Results showed that heavy metals concentration and *Salmonella* and *Coliform* fecal bacteria counts of the machine output compost were lower than permissible limits and completely passed the reference standards. Other chemical properties also were ideal which indicates the produced compost is a high quality organic fertilizer and its use can improve soil fertility.

**Discussion and Conclusion:** the studied composting machine converts wet wastes to compost fertilizer with high quality in a short time without the production of leachate and an unpleasant odor. It also allows to complete separation of wet and dry wastes at source and production of compost fertilizer with high quality. Hence it is suggested to use this composting machine in places of wet waste generation.

**Keywords**: Composting Machine, Starclean, Source Separation of Waste, Wet waste, Compost.

1- Chief Executive Officer of Setareh Arya Novin Aylin Company, Tehran, Iran.
2- Ph.D., Soil Science, University of Tehran and soil. *(*Corresponding Author*)
3- M.Sc., Artificial Intelligence, Islamic Azad University, Safadasht Branch, Tehran.
4- B.Sc., Industrial Engineering, Buein Zahra Technical University.

**مقدمه**

موج مصرف گرایی در دنیای کنونی همگام با پیشرفت فناوری موجب تولید مواد زاید متنوع با طیف وسیعی در جهان گردیده است، به‌طوری‌که آهنگ رشد آن در همه کشورها ازجمله کشور ایران به طور چشم‌گیری در حال افزایش می‌باشد. این افزایش روزافزون زباله‌های شهری و صنعتی و رها نمودن آن‌ها در زمین-های اطراف شهرها، رودخانه‌ها، جنگل‌ها و مزارع، منجر به آلودگی زیست بوم آبی- خاکی شده و زندگی انسان‌ها، حیوانات و گیاهان را به خطر انداخته است. جهت رفع این مشکل چاره‌ای باید اندیشیده شود و با استفاده از روش‌های مناسب نسبت به برگشت این مواد به چرخه تولید اقدام نمود، در غیر این صورت در آینده-ای نه چندان دور با مشکلات محیط‌زیستی مواجه خواهیم شد (۱).

عدم اعمال مدیریت صحیح در کنترل زباله شهری و روستایی اعم از مواد زاید انسانی، حیوانی و گیاهی در محیط، به علت وجود انواع مختلف پسماندهای غذایی با رطوبت و حرارت مناسب و پناهگاه‌هایی که همواره در توده‌های زباله وجود دارد از عوامل اصلی و مولد بسیاری از بیماری‌های انسان و حیوان می‌باشد (۲). براساس یک مطالعه جامع توسط سازمان جهانی بهداشت (WHO[1]) عدم توجه به جمع آوری و دفع صحیح زباله می‌تواند ۳۲ مشکل محیط‌زیستی را فراهم نماید که مقابله با آن‌ها به سهولت امکان‌پذیر نمی‌باشد (۳، ۴). بنابر گزارش سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران در کلان شهر تهران روزانه حدود ۸۵۰۰ تن و سالیانه حدود ۳/۱ میلیون تن زباله تولید می‌شود که در این میزان زباله با توجه به تجزیه انجام شده حدود ۷۰-۶۰ درصد زباله تر (مواد آلی قابل کمپوست) و ۳۰-۲۵ درصد مواد خشک قابل بازیافت و ۱۰-۵ درصد سایر مواد زاید وجود دارد (۱). در اکثر مناطق با توجه به نبود فرهنگ سازی و ابزارهای مناسب، زباله‌های تر و خشک را با هم مخلوط می‌کنند و تحویل دستگاه حمل می‌دهند که این‌امر موجب از بین رفتن ارزش آن‌ها و ایجاد مشکلات در فرایند بازیافت و یا دفن زباله می‌شود. در صورت جداسازی این مواد در مبدأ کمک شایانی در بازیافت و دفع بهداشتی آن نموده و از آلودگی محیط زیست و از بین رفتن سرمایه‌های ملی جلوگیری می‌نماییم (۱). بازیافت زباله‌ها، بالاخص زباله‌های خانگی و تبدیل آن‌ها به کمپوست می‌تواند راه حلی مناسب برای کاهش این مشکل باشد (۵، ۶، ۷). براساس پژوهش‌های انجام شده در مراکز مطالعاتی دانشگاهی کشور، هر تن زباله علاوه بر تولید ۴۰۰ تا ۶۰۰ لیتر شیرابه، حدودا ۴۰۰ مترمکعب گاز گل‌خانه‌ای دی‌اکسیدکربن نیز از خود متصاعد می‌کند (۸). نفوذ شیرابه به سفره‌های آب زیر زمینی باعث آلودگی محیط زیست و تهدیدجدی سلامتی انسان‌ها، حیوانات و گیاهان می‌شود که برخی از خسارات ناشی از آن جبران ناپذیر است و هیچ توجیه اقتصادی برای آن وجود ندارد. گازهای متصاعد شده از دفن زباله یا تولید کمپوست در محیط باز نیز سبب کاهش کیفیت هوا و تخریب لایه پراهمیت ازون می‌گردد. با در نظر گرفتن تمام مشکلات ذکر شده تلاش برای تولید کمپوست سالم و عاری از عوامل مزاحم امری ضروری تلقی می-شود. در این راستا با انتقال تکنولوژی از کشور ژاپن گامی نو جهت حل این مشکل برداشته و دستگاه کمپوستر استارکلین مورد استفاده قرار گرفته شد که این دستگاه در مدت ۲۴ ساعت با به کارگیری از پیشرفته‌ترین روش‌های علمی زباله‌های تر خانگی را از طریق فرایندهای بیولوژیکی تبدیل به یک کمپوست با کیفیت می‌کند. هدف از این تحقیق بررسی عملکرد محیط‌زیستی دستگاه کمپوستر مستقر در شهرداری منطقه ۲۲ تهران در تبدیل پسماندهای تر به کود کمپوست در محل تولید پسماند و همچنین مقایسه ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی کود کمپوست تولیده شده از طریق این دستگاه با استانداردهای ملی کمپوست بود.

## آشنایی با دستگاه کمپوستر استارکلین[2]

این دستگاه با توجه به ظرفیت روزانه ورودی مخزن در ابعاد مختلف (۲ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم پسماند تر در روز) موجود است (جدول ۱). درون دستگاه سه پره برای تحرک و زیر و رو کردن

1- World Health Organization

2- Starclean Composter Machine

زباله و یک گرمکن با ترموستات برای حفظ پیوسته دما (بین ۴۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس) تعبیه شده است (شکل ۱). سرعت چرخش پره‌ها ۲ دور در دقیقه تنظیم شده است و هر دو دقیقه جهت چرخش معکوس

**جدول ۱- ظرفیت مخزن، ابعاد و وزن دستگاه‌های کمپوستر استارکلین**

Table 1. Tank capacity, dimensions and weight of the bioclean composter machines

| وزن کل دستگاه (kg) | ابعاد دستگاه (cm) | | | ظرفیت مخزن دستگاه (kg) |
|---|---|---|---|---|
| | ارتفاع | عرض | طول | |
| ۲۵ | ۷۸ | ۴۰ | ۴۰ | **۲** |
| ۹۰ | ۱۰۰ | ۷۸ | ۹۰ | **۱۵** |
| ۱۶۰ | ۱۱۰ | ۷۵ | ۱۲۰ | **۳۰** |
| ۶۰۰ | ۱۴۰ | ۱۱۲ | ۲۱۰ | **۵۰** |
| ۱۲۰۰ | ۱۸۵ | ۱۴۰ | ۲۰۰ | **۱۰۰** |
| ۱۹۰۰ | ۲۰۰ | ۱۶۰ | ۲۶۰ | **۲۰۰** |
| ۶۵۰۰ | ۲۵۵ | ۲۰۰ | ۳۵۰ | **۵۰۰** |
| ۸۰۰۰ | ۲۵۰ | ۲۵۰ | ۳۸۰ | **۱۰۰۰** |

**شکل ۱- تصویر ساختار دستگاه کمپوستر مورد استفاده با ظرفیت پردازش ۱۰-۵ کیلوگرم پسماند تر در روز: A محفظه واکنش، B درب دستگاه، C سه پره چرخشی برای تحرک، D زباله تیمار شده، E گرمکن صندلی شکل با یک ترموستات (۹)**

Figure 1. Illustration of the structure of the composter machine used with a processing capacity of 5-10 kg/day. A, Reaction vessel; B, Door; C, three rotating bars for agitation; D treated garbage; E, seat-shaped heater with a thermostat (9)

می‌گردد. بعد از باز و بسته شدن درب دستگاه به منظور افزودن پسماند درون آن، قسمت مکانیکی دستگاه به مدت ۸ دقیقه شروع به فعالیت می‌کند و سپس به صورت تناوبی به مدت ۲۴ دقیقه متوقف می‌شود و چنان‌چه به مدت ۳۰ ساعت درب دستگاه بسته باشد، وسایل تحرک و گرم کن به طور خودکار متوقف می‌شوند (۹).

**فرایند تبدیل زباله تر به کمپوست از طریق دستگاه کمپوستر استارکلین**

زباله‌های تر خانگی و صنعتی که قابلیت تبدیل به کمپوست را دارند از جمله پسماند غذا، سبزیجات، تفاله چای، پوست میوه، گوشت، پوست و استخوان ماهی و سایر مواد آلی فسادپذیر درون دستگاه ریخته می‌شوند. سپس با تحرک پره‌های چرخشی و روشن شدن گرمکن دستگاه، شرایط برای فعالیت باکتری‌ها جهت تجزیه پسماند فراهم می‌گردد. فرایند تبدیل زباله تر به کمپوست در این دستگاه، اسیدول کمپوستینگ که یک روش بهینه AHTC[1] است و در آن پسماند تر در یک فرایند بیولوژیکی و در دمای بالا بدون تولید شیرابه و بوی نامطبوع در طول ۲۴ ساعت به یک کمپوست با کیفیت تبدیل می‌گردد. دمای مواد بین ۴۰ تا ۶۵ درجه سیلسیوس در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح و pH محصول بین ۴ تا ۶ است (۹). باکتری مورد استفاده در این فرایند نقش دارد، باکتری *Alicyclobacillus sendaiensis* می‌باشد (۱۰). *Alicyclobacillus sendaiensis* یک باکتری غیرپاتوژن، دارای آندوسپور، گرمادوست، هوازی و اسیددوست است که در دامنه دمایی ۶۵-۴۰ و pH ۵/۵-۲/۶ فعالیت بهینه دارد (۱۱). براساس تحقیقاتی که در دانشگاه توهوکو ژاپن بر روی این دستگاه انجام گردید، گزارش شد که جمعیت این باکتری درون دستگاه متغییر است به‌طوری‌که بعد از افزودن زباله تازه، جمعیت آن‌ها افزایش می‌یابد و پس از آن کاهش پیدا می‌کند ولی به طور کلی جمعیت این باکتری درون دستگاه در یک سطح بهینه حفظ می‌شود (۶). این باکتری با تجزیه مواد آلی موجب اسیدی کردن pH کمپوست تولید شده می‌شود. که ایجاد توامان شرایط اسیدی و دمای بالای درطی این فرایند و مدت زمان کافی نگهداری کمپوست در دمای بالا موجب از بین رفتن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از جمله باکتری *سالمونلا و کلیفرم-های مدفوعی* می‌گردد (جدول ۲).

**روش بررسی**

به‌منظور بررسی عملکرد دستگاه‌های کمپوستر شرکت ستاره آریا نوین آیلین در تبدیل پسماندهای تر به کود کمپوست و اطمینان از این‌که کود کمپوست خروجی دستگاه هیچ گونه آلودگی شیمیایی و میکروبی را ایجاد نمی‌کند، کمپوست خروجی دستگاه کمپوستر باظرفیت ورودی مخزن ۵ کیلوگرم پسماند تر در روز مستقر در شهرداری منطقه ۲۲ تهران مورد مطالعه قرار گرفت. در زمان نصب این‌دستگاه برای افزایش سرعت فرایند زیستی کمپوست کردن، تعداد ۲ کیسه ۲ کیلوگرمی مایه تلقیح پودری حاوی باکتری *Alicyclobacillus sendaiensis* که قبلا از کشور ژاپن تهیه شده بود، درون دستگاه ریخته شد و سپس روزانه پسماندهای تر اداره‌بازیافت شهردای منطقه ۲۲ تهران شامل پوست میوه‌ها، سبزیجات، غذا، تفاله چای، نان و از این قبیل مواد آلی فساد پذیر درون دستگاه ریخته شد و بعد از ۲۴ ساعت کود کمپوست برداشت می‌گردید. جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین از جمله مس، روی، نیکل، کروم، کادمیوم، کبالت، آهن، منگنز، آرسنیک و جیوه و شناسایی و شمارش تعداد باکتری‌های *سالمونلا و کلی‌فرم‌های مدفوعی* در کود خروجی دستگاه، توسط کارشناس آزمایشگاه آزمون سلامت آسا (معتمد سازمان حفاظت محیط زیست) از دستگاه کمپوستر مورد مطالعه نمونه برداری انجام گردید. سپس پارامترهای مورد اشاره به روش‌های استاندارد تعیین گردید و نتایج با حدود مجاز مقایسه شد (جدول‌های ۳ و ۴). سایر خصوصیات شیمیایی مهم کمپوست از جمله مقدار منیزیم کل، کلسیم کل، نیتروژن کل، فسفر کل، پتاسیم کل، ماده آلی، کربن‌آلی به روش احتراق خشک، قابلیت هدایت الکتریکی و pH نیز در آزمایشگاه آب، خاک، گیاه و کود پارس به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید (جدول ۵).

1- Accelerated High-Temperature Composting

**جدول ۲- دما و زمان مورد نیاز برای از بین بردن برخی از پاتوژن‌های موجود در کمپوست (۱۲ و ۱۳)**

Table 2. Temperature and retention time required to eliminate some pathogens in the compost (12, 13)

| میکروارگانیسم | دما (درجه سلسیوس) | مدت در معرض قرار گرفتن (دقیقه) |
|---|---|---|
| *سالمونلا تیفی* | ۵۵ | ۳۰ |
| | ۶۰ | ۲۰ |
| *گونه‌های سالمونلا* | ۵۵ | ۶۰ |
| | ۶۰ | ۲۰ |
| *گونه‌های شیگلا* | ۵۵ | ۶۰ |
| *اشریشیا کلی* | ۵۵ | ۶۰ |
| | ۶۰ | ۲۰ |
| *کیست آنتامبا هیستولیتیکا* | ۴۵ | ۱۰ |
| | ۵۵ | ۱ |
| *تنا ساژیناتا* | ۵۵ | ۵ |
| *بروسلا آبورتوس یا سویس* | ۵۵ | ۶۰ |
| | ۶۳ | ۳ |
| *استرپتوکوکوس پیوجنز* | ۵۴ | ۱۰ |
| *مایکوباکتریوم توبرکولوزیس (باسیل سل)* | ۶۶ | ۲۰ |
| *نکاتور آمریکانوس* | ۴۵ | ۵۰ |
| *کورینه باکتریوم دیفتریا* | ۵۵ | ۴۵ |
| *تخم کرم آسکاریس لومبریکوئیدس* | ۵۵ | ۶۰ |
| *کرم قلابدار* | ۴۵ | ۵۰ |
| *میکروکوکوس پیوجنز* | ۵۰ | ۱۰ |

**یافته‌ها**

در جدول ۳ غلظت فلزات سنگین کمپوست خروجی دستگاه کمپوستر و حد مجاز آن‌ها براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۷۱۶ مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست (۱۴) ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تمام فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در کمپوست مورد مطالعه بسیار کم‌تر از حد مجاز تعیین شده و کاملا مطابق با استاندارد می‌باشند. از آن‌جایی که درون دستگاه تنها پسماندهای غذایی ریخته می‌شود و در ابتدا زباله‌های خشک مثل باتری‌ها و لوازم الکتریکی که حاوی فلزات سنگین هستند وارد دستگاه نمی‌گردند، بنابراین طبیعی است که غلظت فلزات سنگین در کود خروجی نیز پایین باشد.

در جدول ۴ نتایج تجزیه میکروبی کمپوست خروجی دستگاه کمپوستر و حد مجاز آن‌ها براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱-۱۳۳۲۱ در ارتباط با ویژگی‌های میکروبی کمپوست (۱۵) نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، تعداد باکتری‌های *سالمونلا و کلی‌فرم‌های*مدفوعی در کمپوست خروجی از دستگاه بسیار کم‌تر از حد قابل قبول و کاملا مطابق با استاندارد مرجع می‌باشند. نظر به این‌که قسمت حرارتی دستگاه با کمک ترموستات دمای محفظه درونی را بین ۴۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس

حفظ می‌کند همین امر سبب می‌شود که باکتری‌های فوق و سایر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از بین بروند (۱۶). بنابراین کود تولید شده از سلامت و کیفیت مطلوبی برخودار است.

**جدول ۳- غلظت فلزات سنگین موجود در کمپوست خروجی دستگاه کمپوستر و حد مجاز آن‌ها براساس استاندارد شماره ۱۰۷۱۶ مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست (۱۴)**

Table 3. Heavy metals concentration in composter machine output compost and their allowed limit according to standard of number 10716 related to chemical and physical properties of compost (14)

| عنصر | *مقدار در کمپوست مورد مطالعه (mg/kg) | حد مجاز (mg/kg) |
|---|---|---|
| مس (Cu) | ۱۶/۹۶۴ | ۶۵۰ |
| روی (Zn) | ۲۹/۵۶ | ۱۳۰۰ |
| نیکل (Ni) | ۱۴/۱۶ | ۱۲۰ |
| کروم (Cr) | ۲۲/۹۹۶ | ۱۵۰ |
| کبالت (Co) | ۲/۷۲ | ۲۵ |
| کادمیوم (Cd) | ۰/۰۶۱ | ۱۰ |
| سرب (Pb) | ۵/۷۲ | ۲۰۰ |
| آرسنیک (As) | ۰/۳۲ | ۱۰ |
| جیوه (Hg) | ۱/۶۳۲ | ۵ |
| مولیبدن (Mo) | ۱/۱۶ | ۵ |

*هر عدد میانگین سه تکرار است.

**جدول ۴- تجزیه میکروبی کمپوست خروجی دستگاه کمپوستر و حد مجاز آن‌ها براساس استاندارد شماره ۱-۱۳۳۲۱ مربوط به ویژگی‌های میکروبی کمپوست (۱۵)**

Table 4- Microbial analysis of composter machine output compost and their allowed limit according to standard of number 13321-1 related to microbial compost properties (15)

| باکتری | *تعداد در کمپوست مورد مطالعه (MPN/g) | حد مجاز (MPN/g) |
|---|---|---|
| ***سالمونلا*** | <۰/۰۶۴۷۳ | < ۳ |
| ***کلیفرم‌های مدفوعی*** | ۰/۴۰ | < ۱۰۰۰ |

*هر عدد میانگین سه تکرار است.

در جدول ۵ ویژگی‌های شیمیایی کمپوست مورد مطالعه حدود قابل قبول برای کمپوست رده یک و رده دو براساس استاندارد ملی ایران به‌شماره ۱۰۷۱۶ در خصوص ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست ارایه شده است. کمپوست خروجی دستگاه از

نظر میزان ماده آلی، کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم کل، قابلیت هدایت الکتریکی و رطوبت مطابق با حدود قابل قبول برای کمپوست رده یک و از نظر میزان‌فسفر مطابق با حدود قابل قبول برای کمپوست رده دو می‌باشند. نسبت نیتروژن به کربن کمپوست بالاتر از حدود استاندارد کمپوست است که دلیل آن مدت کم فرآیندکموست کردن(۲۴ ساعت) می‌باشد. pH کمپوست تولید شده به دلیل تجزیه مواد آلی و تولید اسیدهای آلی توسط باکتری *Alicyclobacillus sendaiensis* (۱۰) کمی پایین‌تر از حدود قابل قبول استاندارد کمپوست است، ولی از آن‌جایی که کشور ایران در یک اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده است، خاک‌ها اکثرا آهکی و دارای pH قلیایی و به تبع آن دارای کمبود عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مثل فسفر، آهن، روی و غیره هستند، استفاده از این کمپوست اسیدی در کاهش pH خاک‌ها و به‌دنبال آن فراهمی عناصر غذایی بسیار موثر خواهد بود.

**جدول ۵- ویژگی‌های شیمیایی کمپوست خروجی دستگاه کمپوستر استارکلین (۱۴)**

Table 5. Chemical properties of composter machine output compost (14)

| نوع ویژگی | *کمپوست مورد مطالعه | حدود قابل قبول برای کمپوست رده "یک" | حدود قابل قبول برای کمپوست رده "دو" |
|---|---|---|---|
| **ماده آلی (٪)** | ۹۴/۱ | کمینه ۳۵ | کمینه ۲۵ |
| **کربن آلی (٪)** | ۵۴/۶ | کمینه ۲۵ | کمینه ۱۵ |
| **میزان نیتروژن کل (٪)** | ۱/۸۳ | ۱/۱-۲۵/۶۶ | ۱/۱-۰/۵ |
| **نسبت کربن به نیتروژن (C/N)** | ۲۹/۸ | ۲۰-۱۵ | ۱۵-۱۰ |
| **میزان فسفر کل براساس $P_2O_5$ (٪)** | ۰/۵۹ | ۳-۱/۸ | ۰/۳-۳/۸ |
| **میزان پتاسیم کل براساس $K_2O$ (٪)** | ۰/۸۵ | ۰/۱-۵/۸ | ۰/۱-۵/۸ |
| **میزان کلسیم کل (٪)** | ۲/۱۱ | - | - |
| **میزان منیزیم کل (٪)** | ۰/۱۱ | - | - |
| **قابلیت هدایت الکتریکی با نسبت ۱:۱۰ آب:کمپوست (dS/m)** | ۶ | بیشینه ۸ | بیشینه ۱۴ |
| **pH (۱:۱۰ آب:کمپوست)** | ۵/۵ | ۸-۶ | ۸-۶ |
| **رطوبت (٪)** | ۲۲/۱ | بیشینه ۱۵ | بیشینه ۳۵ |

*هر عدد میانگین سه تکرار است.

## بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد با بکارگیری این دستگاه تفکیک کامل زباله تر و خشک در مبدأ صورت می‌گیرد و شیرابه زباله که یکی از معضلات محیط‌زیستی است به طور کامل حذف می‌شود. با توجه به این‌که زمان کمپوست کردن از ۱۵ تا ۶۰ روز در روش‌های رایج به ۲۴ ساعت در این روش کاهش می‌یابد، تولید گاز گل‌خانه‌ای $CO_2$ نیز به میزان بیش از ۷۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. به‌علاوه، پسماند تر به طور کامل به کود کمپوست با کیفیت تبدیل گردید و نظر به این‌که در مناطق خشک و نیمه خشک کشور، خاک‌ها معمولاً از کمبود مواد آلی رنج می‌برند، استفاده از این کمپوست در بهبود کیفیت خاک‌های زراعی مؤثر

بوده و موجب تأثیر مثبت بر محصولات کشاورزی می‌شود. همچنین، به دلیل اینکه در مبدأ پسماند خشک از تر جدا می‌شود، به‌طور چشم‌گیری درصد بازیافت پسماند خشک افزایش می‌یابد و با افزایش درصد بازیافت زباله، سرمایه ملی حفظ می‌گردد و به اقتصاد کشور کمک می‌شود. با پردازش پسماند تر در مبدأ نیز میزان حمل و نقل کاهش و در نتیجه ترافیک شهری، آلودگی هوا، صوتی و بصری به طور قابل توجه کاهش می‌یابد. به طور خلاصه استفاده از این دستگاه موجب می‌گردد دفن پسماند تا بیش از ۹۰ درصد کاهش پیدا کند. این امر کمک شایانی به حفظ محیط زیست و سلامت انسان، افزایش سطح بهداشت عمومی می‌کند.

**تشکر و قدردانی**

این پژوهش با حمایت‌های مالی شـرکت سـتاره آریا نوین آیلین انجام گردید که بدین وسیله تقدیر و تشکر می‌گردد.

**References**

1. Naqvi R, and Fadzi-Diri A. (2007). Review of dry waste management in Tehran, the third waste management conference. Tehran, Organization of Municipalities and Villages of the country, Environmental Protection Organization. (In Persian)
2. Tchobanoglous G, and Kreith F. (2002). Handbook of Solid Waste Management McGraw-Hil, New York.
3. Mohammadi MJ, Zarei A, and Fallah H. (2007). The need to review the production of compost from mixed waste and the development of biocompost, the fifth national waste management conference. Mashhad, Organization of Municipalities and Villages of the country. (In Persian)
4. Karimian A, Nadaf Fard L, Nowrozi M, Bagheripour Monfared I, and Mohseni SSA. (2022). Comparison of physical, chemical and microbial properties of urban waste compost with biocompost obtained from wastes of green spaces and vegetable fields in Tehran metropolis. Environmental Science Studies, 7(2), 4844-4855. (In Persian)
5. Tataro A, and Asefi A. (1997). The effects of municipal compost output from Tehran on tomato, cauliflower and potato cropping and the effect of that’s reminder on wheat and barley cropping (Final report), Recycle Organization press.
6. Hemati A, Nobaharan K, Amirifar A, Moghiseh E, and Asgari Lajayer B. (2022). Municipal waste management: current research and future challenges. Sustainable Management and Utilization of Sewage Sludge, 335-351.
7. Hussein L, Uren C, Rekik F, and Hammami Z. (2022). A review on waste management and compost production in the Middle East–North Africa region. Waste Management & Research, 40(8), 1110-1128.
8. Shabanzadeh E, and Moradi D. (2014). Separation of wet and dry waste and compaction of waste at the source, the first electronic conference on new findings in the environment and agricultural ecosystems, in electronic form, New Energy and Environment Research Institute, University of Tehran. (In Persian)
9. Hemmi H, Shimoyama T, Nakayama T, Hoshi K, and Nishino T. (2004). Molecular biological analysis of microflora in a garbage treatment process under thermoacidophilic condition, Journal of bioscience and bioengineering, 97: 119-126.
10. Nishino TOKUZO, Nakayama TORU, Hemmi HISASHI, Shimoyama

TAKEFUMI, Yamashita SATOSHI, Akai MINORU, and Hoshi KATSUJI. (2003). Acidulocomposting, an accelerated composting process of garbage under thermoacidophilic conditions for prolonged periods, Journal of Environmental Biotechnology, 3: 33-36.

11. Tianli Y, Jiangbo Z, and Yahong Y. (2014). Spoilage by Alicyclobacillus bacteria in juice and beverage products: chemical, physical, and combined control methods. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13(5): 771-797.
12. Salvato JA, Nemerow NL, and Agardy FJ. (2003). Environmental engineering, New York, John Wiley & Sons.
13. Techobanoglous G, Theisen L, and Vigil SA. (1993). Integrated solid waste: Engineering Principles and Management Issues. New York, McGraw Hi11.
14. National Standard of Iran No. 10716. (2008). Compost - physical and chemical characteristics. (In Persian)
15. Iran National Standard No. 1 – 13321. (2011). Compost - Microbial characteristics, first part. (In Persian)
16. Amuah, EEY, Fei-Baffoe B, Sackey LNA, Douti NB, and Kazapoe, RW. (2022). A review of the principles of composting: understanding the processes, methods, merits, and demerits. Organic Agriculture, 12(4), 547-562.