دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 36, Issue 2, 2026, Pages 305-316

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

The effect of adding Vermicompost Products and Compost Tea to the bed of Raw Materials prepared from Cow Dung on the final Vermicompost Product

Rahim Mohammadpour[1], Hamid Reza Ghassemzadeh[2*], Mohammad Moghaddam[3]

Received: March 3, 2025	Accepted: May 31, 2025

1-Former MSc Student, Dept. of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2-Prof., Dept. of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3-Prof., Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Corresponding Author E-mail: ghassemzadeh@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: The present research was aimed to investigate the possibility of providing a more suitable environment for better nutrition of vermi (worms), and to increase the conversion efficiency of waste materials, as well as to study the effect of adding percentages of vermi-compost and compost tea into the vermicompost bed containing solid and pure cow dung, on the compost quality and changes in worm biomass and number of cocoons in contrast to the control treatment.

Materials and Methods: This study was carried out for five weeks with eight vermicompost treatments ($C_{70}V_{30}W$ ،$C_{80}V_{20}W$ ،$C_{90}V_{10}W$ ،$C_{100}W$(Control)، $C_{70}V_{30}T$ ،$C_{80}V_{20}T$ ،$C_{90}V_{10}T$ ،$C_{100}T$), each of which had a certain combination of solid cow dung and a percentage of vermicompost with compost tea, in the form of a split-plot design based on a completely randomized design in three replications for worm biomass and the number of cocoons, in which vermicompost treatments were placed in the main plots and weeks in sub-plots. T and W, are indications for recycled compost tea or water, respectively. In addition, macronutrients (K, N, P) and micronutrients (Cu, Fe, Mn, Zn), C/N ratio, EC, and pH were measured at the end of the fifth week. Then, the data were analyzed in the form of a completely random design with three replications.

Results: The results showed that during the compost production process, by adding 30% vermicompost to solid cow dung, worm biomass, cocoon number, pH, C/N, and N increased. But adding compost tea had a negative effect on the dependent variables, except for EC and K. The highest negative effect was observed in the combination of 10% compost tea with 90% solid cow dung. No significant changes in P were observed in different treatments.

Conclusion: The results indicated the positive effect of adding 30% of vermicompost to raw materials on worm biomass, cocoon number, and some macro and micronutrients present in the resulting vermicompost, and the negative effect of adding compost tea to raw materials on these variables.

Keywords: Chemical Analysis, Cocoon, Environment, Recycling, Soil Amendment

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2026 Hamid Reza Ghassemzadeh E-mail: ghassemzadeh@tabrizu.ac.ir
https://doi.org/10.22034/SAPS.2025.66203.3349

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، صفحات ۳۱۶-۳۰۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر افزودن ورمی کمپوست آماده و چای کمپوست به بستر مواد خام تهیه‌شده از پسماند جامد گاوی روی محصول نهایی ورمی کمپوست

رحیم محمدپور[۱]، حمیدرضا قاسم‌زاده[۲*]، محمد مقدم[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

۱-دانشجوی سابق مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۲- استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳- استاد گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

چکیده

مقدمه و اهداف: هدف تحقیق حاضر بررسی امکان فراهم آوردن محیط رشد مناسب‌تر برای تغذیه بهتر ورمی (کرم)، و افزایش بازده تبدیل پسماند و نیز مطالعه اثر افزودن درصدی از ورمی‌کمپوست و بازگردانی چای کمپوست به بستر ورمی‌کمپوست حاوی درصدی از پسماند جامد و خالص گاو، روی کیفیت کمپوست، تغییرات وزن زیست‌توده کرم و میزان کوکون نسبت به تیمار شاهد بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه به مدت پنج هفته با هشت تیمار ($C_{70}V_{30}W$، $C_{80}V_{20}W$، $C_{90}V_{10}W$، $C_{100}W$ (شاهد)، $C_{70}V_{30}T$، $C_{80}V_{20}T$، $C_{90}V_{10}T$، $C_{100}T$) که هر تیمار دارای درصدی از پسماند جامد گاو ($C_{\%}$) و ورمی‌کمپوست ($V_{\%}$) بود، در قالب طرح کرت‌های خردشده بر مبنای طرح کاملا تصادفی در سه تکرار برای وزن زیست‌توده کرم و میزان کوکون انجام شد که در آن تیمارها در کرت‌های اصلی و هفته‌ها در کرت‌های فرعی قرار گرفتندحروف T وW، نشان دهنده به‌ترتیب چای کمپوست بازگردانی شده (T) و آب (W) می‌باشند. افزون بر این، اندازه‌گیری عناصر ماکرو (K، N، P) و میکرو (Cu، Fe، Mn، Zn)، نسبت C/N، EC و pH در پایان هفته پنجم صورت گرفت که داده‌های حاصل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار تجزیه شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در طی فرایند تولید کمپوست، با افزودن ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست به پسماند جامد گاو، مقادیر زیست‌توده کرم، تعداد کوکون، نسبت C/N، N و pH افزایش می‌یابد. اما افزودن چای کمپوست بجز EC و K، روی بقیه متغیرهای وابسته اثر منفی داشت. بیشترین اثر منفی در ترکیب ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست با ۹۰ درصد پسماند جامد گاو مشاهده شد. در تیمارهای مختلف تغییرات معنی‌داری در میزان P مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده حاکی از اثر مثبت افزودن ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست به مواد خام روی زیست‌توده کرم، تعداد کوکون و برخی عناصر ماکرو و میکرو موجود در ورمی‌کمپوست حاصل و اثر منفی افزودن چای کمپوست به مواد خام، روی متغیرهای مذکور بود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح خاک، بازیافت، تجزیه شیمیایی، کوکون، محیط زیست

مقدمه

تولید کمپوست در واقع یک فرایند تجزیه بیولوژیک است که مواد آلی را در تحت شرایطی ویژه به مواد پایداری مانند هوموس و غیره تبدیل می‌کند (عبدلی ۲۰۰۵، سارایا و همکاران ۲۰۲۰). از روش‌های بسیار مفید در مدیریت پسماند، تبدیل بیولوژیکی این مواد آلوده‌کننده محیط زیست به کود آلی و یا کمپوست است. کمپوست کردن یک روش تصفیه سالم و بی‌خطر از نظر اکولوژیکی به حساب می‌آید، زیرا با استفاده از این روش بخش آلی مواد زاید جامد دوباره وارد چرخه طبیعی می‌شود (بیلیتوسکی و همکاران ۲۰۱۰، اجاوید و همکاران ۲۰۲۲). کمپوست به دو روش کمپوستینگ و ورمی‌کمپوستینگ تولید می‌شود (نینگ و همکاران ۲۰۲۱). فرآیند کمپوستینگ موجب کاهش جرم، تثبیت پسماند و کاهش پاتوژن می شود (نیر و همکاران ۲۰۰۶، اینده ۲۰۲۲). در فرایند ورمی‌کمپوستینگ، پسماندهای آلی در بستر مرطوب با استفاده از کرم‌های خاکی تجزیه و به کود آلی تبدیل می‌شوند. فرآورده‌ای که ورمی‌کمپوست خوانده می‌شود، از نظر کیفی سرشار از عناصر غذایی قابل جذب گیاه، انواع ویتامین‌ها و مواد آنتی اکسیدان و نیز قابلیت نگهداری آب است (سینگ و سینها ۲۰۲۲). گونه *Eisenia fetida* به عنوان کرم کمپوست کننده شناخته می‌شود (مونرو ۲۰۰۷) و نیاز شدید به تهویه کافی دارد (اصغری صفدر و مرادی کر ۲۰۱۴). این گونه برای تولید کمپوست به دلیل برخورداری از سرعت تولید مثل بالا، تجزیه مواد آلی سریعتر و تحمل طیف گسترده ای از شرایط محیطی حایز اهمیت است (ماهارجان و همکاران ۲۰۲۳). پسماند جامد احشام از جمله گاو، بز، اسب (پاریهار و همکاران ۲۰۱۹، سارکر و همکاران ۲۰۲۱)، گوسفند (پاریهار و همکاران ۲۰۱۹) و ماکیان (جوشی و همکاران ۲۰۲۰)، پسماند حاصل از پرورش کرم ابریشم (شرمان–هانتون ۲۰۰۰)، مواد پسماند جامد شهری (دوکاسه و همکاران ۲۰۲۲)، لجن حاصل از واحدهای تولید بیوگاز (گارگ و همکاران ۲۰۰۶)، پسماند جنگلی (مانا و همکاران ۲۰۰۳) و لجن فاضلاب (کولوستو و همکاران ۲۰۲۲) قابلیت تبدیل به ورمی‌کمپوست را دارند. همچنین اثر کمپوستینگ مخلوط پسماند دامی و بقایای گیاهی روی بقا و رشد کرم خاکی مطالعه شده است (ودونو و همکاران ۲۰۱۶).

بر اساس آمار رسمی تعداد دام سنگین کشور در سال ۱۴۰۲ در حدود ۵/۴۶ میلیون راس برآورد شده است (بی‌نام ۲۰۲۴). با فرض وزن متوسط هر دام ۳۱۲ کیلوگرم و تولید متوسط ۱۷ کیلوگرم پسماند در روز به ازای هر دام، سالانه ۳۴ میلیون تن پسماند دام سنگین در کشور تولید می‌شود (جرفی‌نژاد و همکاران ۲۰۱۲) که بر اساس اطلاعات کسب شده از تولید کنندگان محلی دارای استعداد تبدیل به تقریبا ۱۴ میلیون تن ورمی کمپوست است و می‌تواند بازار ۵۶۰۰۰ همتی را به خود اختصاص دهد.

تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که بازگردانی کسری از کمپوست آماده به داخل بستر مواد خام در روش کمپوستینگ پیوسته، به حفظ رطوبت مناسب در بستر کمک می‌کند (پلپراسرت ۱۹۹۶). همچنین در فرآیند ورمی‌کمپوستینگ، رطوبت بستر با آبیاری بستر تامین و آب مازاد خارج شده از بستر، تحت عنوان چای کمپوست دارای عناصر مفیدی است که که می‌توان از آن به عنوان کود مایع برای گیاهان استفاده کرد (آلن،۲۰۱۶). از طرفی، چای کمپوست دارای مواد آلی و مواد تجزیه‌شده میکروبی از قبیل ریزمغذی‌هایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، همچنین اسید هومیک و مقدار کمی اسیدهای آلی است (یین و همکاران ۲۰۲۵) که می‌تواند برای رشد جمعیت کرم‌های بستر(زو وهمکاران، ۲۰۲۱) مفید واقع شود. مطالعات زیادی در مورد استفاده از پسماند دامی در فرایند ورمی‌کمپوستینگ انجام شده است (ادوارد ۱۹۸۷).

هدف این پژوهش بررسی اثر افزودن درصدی از ورمی‌کمپوست و چای کمپوست به بستر ورمی‌کمپوست حاوی پسماند جامد و خالص گاو، روی تغییرات وزن زیست‌توده کرم، میزان کوکون، عناصر ماکرو و میکرو، pH وEC در مقایسه با کمپوست حاصل از پسماند جامد خالص گاو با استفاده از روش مرسوم بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شرکت کود آلی شهرستان تبریز و در قالب طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده در زمان بر مبنای طرح کاملا تصادفی در دمای محیط و در نیمه دوم فصل تابستان به مدت پنج هفته برای مطالعه وزن زیست‌توده کرم و میزان کوکونانجام شد. پسماند جامد گاو (C_x) و ورمی‌کمپوست (V_x) با درصدهای مختلف ($C_{70}V_{30}W$، $C_{80}V_{20}W$، $C_{90}V_{10}W$، $C_{100}W$ (شاهد)، $C_{70}V_{30}T$، $C_{80}V_{20}T$، $C_{90}V_{10}T$، $C_{100}T$) در کرت‌های اصلی و هفته‌ها در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. رطوبت بسترها با آب خالص (W) یا چای کمپوست (T) تامین و در سطح ۷۰ تا ۹۰ در صد ترپایه حفظ شد.قبل و بعد از آزمایش، میزان عناصر ماکرو (C/N، K، N، P) و میکرو (Cu، Fe، Mn، Zn) با استفاده از روش های فلیم فوتومتری و جذب اتمی و نیز pH و EC تعیین شدند. و داده‌های این عناصر بر مبنای طرح کاملا تصادفی در سه تکرار با استفاده از نرم افزار SPSS تجزیه شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن صورت گرفت.

مواد خام (پسماند جامد گاو، ورمی کمپوست، و چای کمپوست) و اندازه واحد آزمایشی و زیست‌توده کرم

علت انتخاب پسماند جامد گاو، برای رشد بهتر کرم‌ها بود (ودونو و همکاران ۲۰۱۶، انبه و اراسموس ۲۰۲۳). پسماند جامد گاو سرند، و به مدت ۱۰ روز در دمای محیط به صورت فله نگهداری، و سپس به عنوان مواد خام مورد استفاده قرار گرفت. چگالی پسماند و ورمی‌کمپوست به‌ترتیب kg/m^3 ۶۱۶/۱۶ و kg/m^3 ۵۲۱/۸۸ بود و از چای کمپوست موجود در شرکت کود آلی استفاده شد. وزن هر واحد آزمایشی ۲/۹ kg و دارای ۱۱۱ g کرم **از گونه *Eisenia foetida*** بود که به عنوان کرم کمپوست کننده شناخته می‌شود (مونرو ۲۰۰۴). این گونه، بهترین کرم برای تولید ورمی‌کمپوست بوده و پسماند جامد گاو، بز و گوسفند را دوست دارد (علیخانی ۱۳۸۵).

آنالیز شیمیایی

رطوبت پسماند گاوی و ورمی‌کمپوست- در پایان آزمایش

اندازه‌گیری رطوبت خشک‌پایه با استفاده از قسمت ۱-۶-۳ استاندارد ASAE S358.2 DEC93 انجام شد. سه نمونه تر ۵۰ گرمی (W_w) تهیه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد و وزن خشک (W_d) آن تعیین و با استفاده از رابطه زیر درصد رطوبت محاسبه شد.

$$\text{Moisture content (wb \%)} = [(Ww-Wd) / Ww] \times 100$$

pH- در ورمی کمپوست اشباع و با نسبت ۱ به ۲/۵ (ورمی‌کمپوست به آب) و با استفاده از pH متراندازه‌گیری شد (علی احیایی و بهبهانی نژاد ۱۳۷۲).

EC- به روش عصاره اشباع و با نسبت ۱ به ۵ (ورمی-کمپوست به آب) بر حسب میکروزیمنس و با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شد (علی احیایی و بهبهانی نژاد ۱۳۷۲).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه شیمیایی پسماند خام گاوی ورمی-کمپوست و چای کمپوست قبل از ورمی‌کمپوستینگ در جدول ۱ آورده شده است. میزان pH و EC در ورمی کمپوست و چای کمپوست به ترتیب کمتر و بیشتر از مواد خام (پسماند جامد گاو) بود. همچنین درصد کربن آلی و میزان فسفر ورمی کمپوست به طور قابل توجهی کمتر از میزان آن‌ها در مواد خام بود.

تغییرات زیست‌توده کرم خاکی و تعداد کوکون: تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر تیمارهای ورمی کمپوست، مدت زمان تیمار و اثر متقابل آن‌ها از نظر وزن زیست توده کرم زنده و تعداد کوکون در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار است. شکل ۱ روند تغییرات وزن زیست توده کرم زنده و شکل ۲ روند تغییرات تعداد کوکون را نشان می‌دهد. همان‌طور

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی مواد خام، ورمی کمپوست و چای کمپوست در ابتدای ورمی کمپوستینگ

ویژگی	پسماند گاوی	ورمی‌کمپوست	چای کمپوست	واحد
pH	۸/۵۸	۸/۱۵	۸/۱۵	–
EC	۲/۳۸	۵/۹۴	۵/۹۴	dS/m
OM	۵۲/۳۶	۶۵/۵۶	–	٪
OC	۱۶/۵۷	۹/۷۵	–	٪
TN	۰/۸۳	۰/۸۵	–	٪
P	۷/۹۰	۱/۹۴	–	g/kg
K	۸/۰۳	۶/۵۰	–	g/kg
Ca	۱/۵۸	۱/۲۵	۱/۲۵	g/kg
Fe	۳/۹۱	۲/۴۲	۲/۴۲	g/kg
Mn	۰/۲۷	۰/۲۱	–	g/kg
Zn	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۹	g/kg
Cu	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	g/kg

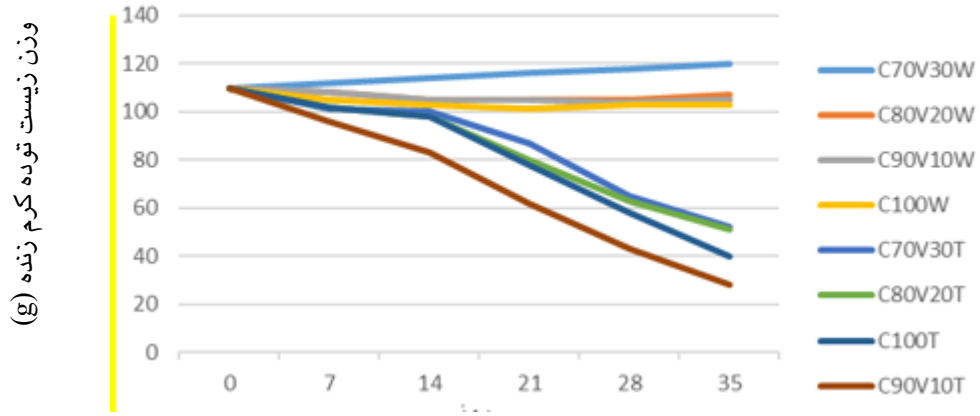
OM: درصد مواد آلی؛ OC: درصد کربن آلی؛ TN: در صد نیتروژن کل.

که در شکل ۱ نشان داده شده است، بیشترین مقدار زیست‌توده کرم مربوط به تیمار $C_{70}V_{30}W$ و کمترین آن مربوط به تیمار $C_{90}V_{10}T$ بود. این نتایج حاکی از اثر مثبت افزودن جزئی ورمی کمپوست به درون مواد خام و اثر منفی پاشش چای کمپوست به روی مواد خام برای حفظ رطوبت بستر در فرایند تولید ورمی کمپوست است. ، تغییرات تعداد کوکون نیز بر اساس شکل ۲ در تیمارهای دارای چای کمپوست، از یک روند نزولی تبعیت کرد. در حالی که تعداد آن در تیمارهایی که رطوبت آن ها با آب تامین شده بود، بجز تیمار $C_{90}V_{10}W$ که در روز ۲۸ام دارای افت بود، از یک روند صعودی منظم پیروی کرد. بالاترین میزان تعداد کوکون مربوط به تیمار $C_{70}V_{30}W$و پایین‌ترین آن مربوط به تیمار $C_{90}V_{10}T$ بود. این نتایج بازهم بیانگر اثر مثبت افزودن جزئی ورمی کمپوست به داخل مواد خام و اثر منفی پاشش چای کمپوست به روی مواد خام برای حفظ رطوبت بستر برای تولید کوکون بود.

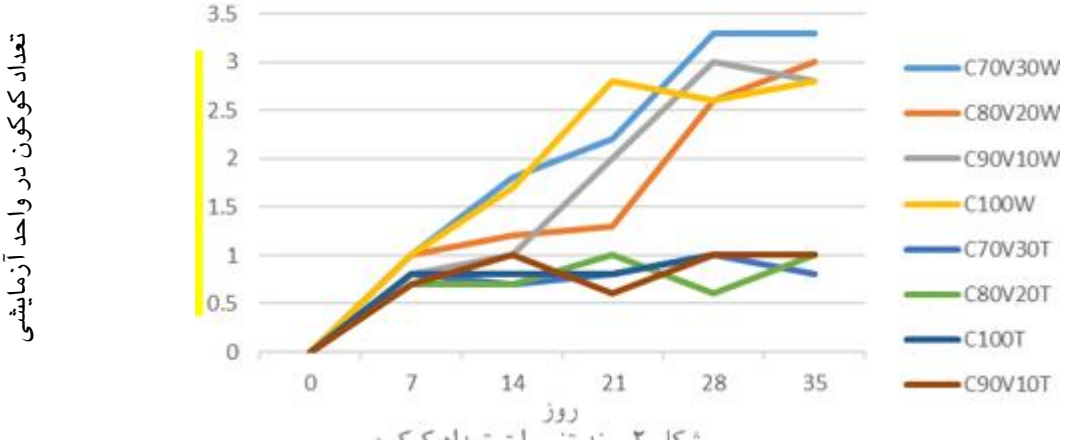
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای ورمی کمپوست و زمان تیمار بر زیست‌توده کرم زنده و تعداد کوکون

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		زیست‌توده کرم زنده	تعداد کوکون
تیمار	۷	۵۴۲۴**	۶/۳۸**
هفته	۴	۴۰۸۵**	۵/۳۴**
هفته × تیمار	۲۸	۴۴۱**	۰/۸۱**
خطای آزمایش	۸۰	۲۰۱	۰/۳۲

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱؛ نظر به اینکه کرت‌های اصلی معنی‌دار نبود، این خطا با خطای کرت‌های فرعی ادغام و بنابراین تجزیه واریانس به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل برمبنای طرح کاملا تصادفی انجام شده است تا حساسیت آزمایش برای مقایسه میانگین تیمارهای ورمی‌کمپوست افزایش یابد.



شکل ۱- روند تغییرات وزن زیست توده کرم زنده در تیمارهای مختلف ورمی کمپوست؛ C و V: به ترتیب پسماند جامد گاو و ورمی کمپوست با درصدهای مختلف؛ W و T: به ترتیب رطوبت بسترهای کشت با آب خالص و چای کمپوست.



شکل ۲- روند تغییرات تعداد کوکون در تیمارهای مختلف ورمی کمپوست؛ C و V: به ترتیب پسماند جامد گاو و ورمی کمپوست با درصدهای مختلف؛ W و T: به ترتیب رطوبت بسترهای کشت با آب خالص و چای کمپوست.

درصد نیتروژن کل: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نیتروژن کل در جدول ۳ آورده شده است که بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای ورمی کمپوست در سطح احتمال ۰/۰۱ است. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که تیمارهایی که مواد خام آن‌ها حاوی ورمی کمپوست بودند، دارای نیتروژن کل بیشتری بودند ولی وارد کردن چای کمپوست در مواد خام مقدار آن را کاهش داد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، بالاترین میزان نیتروژن کل مربوط به تیمار $C_{70}V_{30}W$ و کمترین آن مربوط به $C_{70}V_{30}T$ بود. رازا و همکاران (۲۰۲۴) نیز افزایش نیتروژن را در فرایند ورمی کمپوستینگ گزارش کردند.

درصد کربن آلی: چنان که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، از نظر درصد کربن آلی بین تیمارها اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ وجود داشت. با توجه به جدول ۴، افزودن جزئی ورمی کمپوست به درون مواد خام سبب

کاهش درصد کربن آلی شد که بالاترین میزان آن در تیمار $C_{100}T$ و پایین‌ترین آن مربوط به تیمار $C_{70}V_{30}W$ بود. به طور کلی در طول فرایند ورمی کمپوستینگ کربن الی به صورت CO_2 تلف می‌شود (دومه و همکاران ۲۰۲۱).

نسبت کربن به نیتروژن: جدول‌های ۳ و ۴ به ترتیب تجزیه واریانس مربوط به نسبت کربن به نیتروژن و مقایسه میانگین‌های مربوط را نشان می‌دهد. چنان که در جدول ۳ دیده می‌شود، اختلاف بین تیمارها از نظر نسبت کربن به نیتروژن در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود. بر اساس جدول ۴، افزودن ورمی کمپوست نسبت کربن به نیتروژن را به طور معنی‌داری کاهش داد ولی افزودن چای کمپوست سبب افزایش این نسبت شد. دلیل آن می‌تواند افزایش میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده ساکن در ورمی کمپوست باشد. همچنین کاهش نسبت کربن به نیتروژن به عنوان شاخص رسیدگی کمپوست در فرایند ترموکمپوستینگ می‌تواند به علت اتلاف کربن و تبدیل آن به دیاکسید کربن باشد (تریپاتی و باردواج ۲۰۰۴). در حالی که در ورمی کمپوستینگ علاوه بر اتلاف کربن، فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی موجب افزایش نیتروژن و در نتیجه کاهش نسبت C/N می‌شود (رازا و همکاران ۲۰۲۴). یاداو و همکاران (۲۰۱۷) و رازا و همکاران (۲۰۲۰) نیز کاهش نسبت کربن به نیتروژن را در فرایند ورمی کمپوستینگ گزارش کردند.

درصد مواد آلی و فسفر و پتاسیم کل: جدول ۳ تجزیه واریانس مربوط به درصد مواد آلی، فسفر و پتاسیم کل را نشان می‌دهد. مندرجات جدول حاکی از معنی‌دار نشدن اختلاف بین تیمارهای مختلف ورمی کمپوست از نظر مواد آلی و فسفر کل و معنی‌دار شدن این اختلاف از نظر پتاسیم کل در سطح احتمال ۰/۰۱ بود. هرچند در این آزمایش اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف ورمی کمپوست از نظر فسفر کل مشاهده نشد، لیکن برخی محققان افزایش فسفر کل در محصول نهایی را نسبت به مواد خام گزارش کرده‌اند (ندگوا و همکاران ۲۰۰۰، گارگ و همکاران ۲۰۰۶). از طرف دیگر، افزودن ورمی کمپوست سبب افزایش میزان پتاسیم کل در مقایسه با مواد خام بدون ورمی کمپوست شد. رازا و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که پتاسیم کل در محصول نهایی حاصل از ورمی کمپوستینگ بیشتر است. درحالی که برخی محققان (الویرا و همکاران ۱۹۹۸، بنیتز و همکاران ۲۰۰۰) خلاف آن را گزارش نموده و دلیل آن را شستشوی محتوای عناصر محلول در مواد خام دانستند

pH و EC: جدول‌های ۳ و ۴ به‌ترتیب تجزیه واریانس و مقایسه میانگین مربوط به داده‌های متغیرهای pH و EC را نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۳ اختلاف بین تیمارهای مختلف از نظر pH و EC به ترتیب در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی‌دار شد. در عین حال در بین تیمارها فقط تیمار$C_{80}V_{20}T$ با بقیه اختلاف معنی‌داری از نظر pH داشت و بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری دیده نشد. به طور کلی بین تیمارهای آزمایش اختلاف چندانی از نظر وجود pH نداشت. با جود این، برخی مطالعات نشان داده‌اند که در فرایند ورمی کمپوستینگ میزان pH از حد طبیعی کمتر است (گارگ و همکاران ۲۰۰۶، رازا و همکاران ۲۰۲۰).

در تیمارهای دارای ورمی کمپوست، میزان EC کاهش و در تیمارهای حاوی چای کمپوست میزان آن افزایش یافت (جدول۴). دلیل این امر می‌تواند شستشوی آن توسط آب در تیمارهای دارای ورمی کمپوست و بالا بودن آن در چای کمپوست باشد. بنابراین، بر اساس نتایج این آزمایش، ورمی کمپوست حاصل از تیمارهای برخوردار از چای کمپوست برای تغذیه میکرو اورگانیسم‌ها مناسب نیستند (سماوات و ملکوتی ۲۰۰۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای ورمی کمپوست بر در صد نیتروژن (%TN)، درصد کربن آلی (%OC)، نسبت کربن به نیتروژن (C/N)، درصد مواد آلی (%OM)، فسفر کل (TP)، پتاسیم کل (TK)، pH و EC

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		%TN	C/N	%OM	TP	TK	pH	EC
تیمار	۷	۰/۱۴**	۶۷**	۱۵۷/۸۱	۲۵۲۶۳۹۸۴	۵۴**	۰/۰۷۴*	۶/۵۲۳**
خطا	۱۶	۵/۰۰۲۴	۰/۰۲	۷۶/۴۱	۳۶۷۶۱۴۸۴	۳	۰/۰۲۳	۰/۱۱۵
کل	۲۳							

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ است.

جدول ۴- مقایسه میانگین تیمارهای ورمی کمپوست از نظر در صد نیتروژن (%TN)، pH، EC، درصد کربن آلی (%OC)، نسبت کربن به نیتروژن (C/N) و پتاسیم کل (TK).

تیمار	میانگین‌ها					
	%TN	pH	EC	%OC	C/N	TK(g/kg)
$C_{70}V_{30}W$	۰/۹۲^{a}	۸/۷۶^{ab}	۰/۸^{c}	۷/۳۱^{c}	۱۰/۱۳^{d}	۱۶^{a}
$C_{80}V_{20}W$	۰/۸۹^{ab}	۸/۸۹^{a}	۰/۸۷^{c}	۸/۲۹^{c}	۱۰/۲۳^{d}	۱۵/۸۷^{a}
$C_{90}V_{10}W$	۰/۸۶^{ab}	۸/۸۸^{a}	۰/۸۲^{c}	۸/۷۷^{c}	۱۰/۲۷^{d}	۱۰/۲۷^{b}
$C_{100}W$	۰/۹۱^{a}	۸/۷۳^{ab}	۱/۲۰^{c}	۱۱/۲۱^{b}	۱۲/۳۸^{c}	۸/۰۳^{b}
$C_{70}V_{30}T$	۰/۷۲^{c}	۸/۵۹^{ab}	۴/۳۱^{a}	۱۳/۹۷^{ab}	۱۹/۳۸^{ab}	۶/۵^{b}
$C_{80}V_{20}T$	۰/۷۸^{bc}	۸/۴۲^{c}	۳/۵۱^{ab}	۱۵/۳۵^{a}	۱۹/۶۴^{a}	۷/۱۳^{b}
$C_{90}V_{10}T$	۰/۸۰^{abc}	۸/۶۰^{ab}	۳/۴۸^{ab}	۱۶/۰۹^{a}	۱۹/۰۹^{b}	۷/۴^{b}
$C_{100}T$	۰/۸۴^{abc}	۸/۶۹^{ab}	۳/۰۸^{b}	۱۶/۰۹^{a}	۱۹/۶۶^{a}	۱۵/۸۷^{a}

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ هستند (آزمون دانکن).

عناصر: جدول ۵ تجزیه واریانس مربوط به داده‌های Ca، Cu، Fe، Mn، Na و Zn را نشان می‌دهد. بین تیمارها از نظر میزان سدیم اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ وجود داشت ولی تیمارهای ورمی کمپوست اثر معنی داری بر سایر عناصر نداشتند.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف ورمی کمپوست روی عناصر مختلف

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		Zn	Na	Mn	Fe	Cu	Ca
تیمار	۷	۱۲۴/۷۰	۱۲/۸۸**	۱۰۹۲/۷۷	۱۱۳۵۴۰۲/۰۴	۴۵/۰۴	۶۱۶۲۱/۰۴
خطا	۱۶	۲۹۲/۰۶	۰/۷۲	۱۶۱۳/۹۲	۶۲۵۲۷۹/۸۵	۲۴/۲۲	۴۷۲۱۵/۶۶
کل	۲۳						

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

جدول ۶ میانگین تیمارهای مختلف ورمی کمپوست را از نظر میزان سدیم نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین آن به‌ترتیب به تیمارهای C70V30T و C70V30W تعلق داشت. تیمارهای برخوردار از ورمی کمپوست دارای میزان سدیم کمتری بودند. کاهش سدیم در تیمارهای دارای ورمی کمپوست را می‌توان به وجود تخلخل و شستشوی آن به وسیله آب نسبت داد.

جدول ۶- مقایسه میانگین تیمارهای ورمی کمپوست از نظردرصدNa%

تیمار	میانگین‌ها
$C_{70}V_{30}W$	۲/۲۷^{b}
$C_{80}V_{20}W$	۲/۷۰^{b}
$C_{90}V_{10}W$	۲/۸۴^{b}
$C_{100}W$	۳/۳۶^{b}
$C_{70}V_{30}T$	۷/۰۹^{a}
$C_{80}V_{20}T$	۵/۸۲^{a}
$C_{90}V_{10}T$	۶/۶۳^{a}
$C_{100}T$	۶/۷۶^{a}

میانگین‌های با حروف غیرمشابه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ دارند (آزمون دانکن).

بیشتر عوامل بیماری‌زا در دماهای بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد غیر فعال می‌شوند (بیلیتوسکی و همکاران ۲۰۱۰). از بین بردن بسیاری از این عوامل بیماری‌زا در کمپوست توده‌ای به دلیل دماهای بالای توده و تراکم واکنش‌های میکروبی بسیار آسان است. اگر چه ورمی‌کمپوستینگ در از بین بردن عوامل بیماری‌زای انسانی بسیار موثر عمل کرده است، حذف این عوامل بیماری‌زا به مدیریت دقیق و موثر این فرآیند در تولید ورمی‌کمپوست نیاز دارد. در مورد تاثیر ورمی‌کمپوستینگ بر کاهش عوامل بیماری‌زای انسانی تحت استاندارد USEPA برای پایدار کردن ضایعات جامد، نشان داده شده است که استفاده از فرایند ورمی‌کمپوستینگ در طول ۱۴۴ ساعت سبب کاهش عوامل بیماری‌زای انسانی می‌شود (ایستمان و همکاران ۲۰۰۱). با وجود این، توصیه شده است هنگام استفاده از برخی پسماندها در بستر ورمی‌کمپوستینگ، این مواد ابتدا تحت فرایند کمپوستینگ قرار گیرند و یا ریخته‌های کرمی تولید شده پیش از استفاده ضدعفونی شوند (صفرخانلو ۲۰۰۶). بنابراین لازم است در صورت ادامه تحقیقات، برای ممانعت از آسیب‌های احتمالی ناشی از کاربرد روش حاضر به سلامتی کشاورزان و علاقمندان به پرورش گیاهان زینتی، عوامل بیماری‌زا نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتیجه آزمایش نشان داد که از بین تیمارهای ارزیابی شده، بازگردانی ۳۰ درصد وزنی ورمی‌کمپوست ($C_{70}V_{30}W$)به درون مواد خام بستر، شرایط مطلوبی را برای فعالیت کرم‌ها فراهم می‌کند و سبب بهبود خواص فیزیکی-شیمیایی ورمی‌کمپوست حاصل می‌شود. اما اضافه کردن چای کمپوست به درون مواد خام بستر، روی فعالیت کرم‌ها اثر نامطلوب داشته و نیز کیفیت ورمی‌کمپوست حاصل را کاهش می‌دهد.

سپاسگزاری

این مقاله به عنوان بخشی از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد، با حمایت دانشگاه تبریز اجرا شده است. بنا براین نویسندگان لازم می‌دانند ازدانشگاه تبریز تقدیر و تشکر نمایند. همچنین از همکار محترم جناب آقای دکتر شاهین اوستان استاد گروه آموزشی علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز و نیز از همکاری‌های مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، آقای محمد محمدی‌پور عضو هیئت علمی مرکز مزبور و شرکت کود آلی تبریز قدردانی می‌نماییم.

منابع مورد استفاده

Abdoli ME. 2005. Recycling and disposal of urban solid waste. Tehran University Publications, Tehran, Iran. (In Persian with English Abstract).

Ajaweed AN, Hassan FM, and Hyder NH. 2022. Evaluation of physio-chemical characteristics of bio fertilizer produced from organic solid waste using composting bins. Sustainability, 14: 4738. https://doi.org/10.3390/su14084738

Ali Ehyaei M and Behbahanizadeh A. 1993. Description of methods for chemical analysis of soil. Publication of the Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ministry of Agriculture, Iran. First Edition, No. 893, 128 pages. (In Persian with English Abstract).

Alikhani H. 2006. Raising vermicompost producing worms and sustainable agriculture (translation and compilation). Aizh Publications. (In Persian with English Abstract).

Allen, J. 2016. Vermicomposting. Guide H-164. New Mexico State University. USA.

Anonymous. 2024. Mehr News Agency. 7 April 2024. (In Persian with English Abstract).

Asgari Safdar AH and Moradi Kor N. 2014 .Vermicompost and verminculture: structure, benefits and usage. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(3): 775-782.

Benitez E, Nogales R, Elvira C, Masciandaro G, and Ceccanti B. 2000. Enzyme activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting with *Eisenia fetida.* Bioresource Technology, 67(3): 297-303. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00117-5

Biliteweski B, Hartle G, and Marek K. 2010. Waste management. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Ducasse V, CapowiezY, and Peigné J. 2022. Vermicomposting of municipal solid waste as a possible lever for the development of sustainable agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development, 42: 89. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00819-y

Dume B, Hanc A, Svehla P, Míchal P, Chane AD, Nigussie A. 2021 .Carbon dioxide and methane emissions during the composting and vermicomposting of sewage sludge under the effect of different proportions of straw pellets. Atmosphere, 12(11): 1380. https://doi.org/10.3390/atmos12111380

Eastman BR, Kane PN, Edwards CA, Trytek L, Gunadi B, Stermer AL, and Mobley JR. 2001. The effectivenss of vermiculture in human pathogen reduction for USEPA biosolids stabilization. Compost Science and Utilization, 9(1): 38-49. https://doi.org/10.1080/1065657X.2001.10702015

Edwards CA, 1987. Breakdown of animal, and industrial organic waste by earthworms. In: Edwards CA and Neuhaser EF (Eds.) Earthworms in waste and environmental and management. SPB Academic Publishing, The Hague pp. 21-33.

Elvira C, Sampedro L, Benitez E, and Nogales R. 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot-scale study. Bioresource Technology, 63(3): 205-211. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00145-4

Enebe MC and Erasmus M. 2023. Vermicomposting technology- A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. Journal of Environmental Management, 345: 118585. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585

Eynde S. 2022. Evaluation changes of vermicomposting and thermophilic compost in industrial waste. International Journal of Waste Resources, 12: 493. https://doi.org/10.35248/ 2252-5211.22.12.493

Garg VK, Kuashik P, and Dilbaghi N. 2006. Vermiconversion of wastewater sludge from textile mill mixed with anaerobically digested biogas plant slurry emploing *Eisenia fetida*. Exotoxicology and Environmental Safety, 65(3): 412-419. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.03.002

Jorfinezhad S, Farrokhian F, and Tekdastan A. 2012. Quantitative and qualitative study of livestock industry waste and providing management solutions for their optimal organization and disposal (case study of

Hamidieh Industrial Park dairy farms). First International Conference on Environmental Crises and Solutions for Its Improvement. 14-15 February 2012, Kish Island. Iran. (In Persian with English Abstract).

Joshi TN, Nepali DB, Sah R, Bhattarai T, and Midmore DJ. 2020. A comparison of composting and vermicomposting for the disposal of poultry waste. Animal Production Science, 60: 986-992. https://doi.org/10.1071/AN17177

Kholostov G, Sazanova E, Popov A, Ryumin A, Yakkonen K, and Vishnyakov A. 2022. Sewage sludge as an object of vermicomposting. Bioresource Technology Reports, 2022: 101281. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101281

Maharjan KK, Noppradit P, and Techato K. 2023. Potential of *Eisenia fetida* (Redworm) for the conversion of three varieties of organic waste. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 12(3): 341-350. https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1958871.1466

Manna MC, Jha S, Ghosh PK, and Acharya CL. 2003. Comparative efficiency of three epigeic earthworms under different deciduous forest litters decomposition. Bioresource Technology, 88(3): 197-206. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00318-8

Munroe G. 2007. Manual of on-farm vermicomposting and vermicultutre. Organic Agriculture Center of Canada, pp 39. Dalhousie University. Canada.

Nair J, Sekiozoic V, and Anda M. 2006. Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. Bioresource Technology, 97(16): 2091-2095. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.020

Ndegwa PM, Thompson SA, and Das KC. 2000. Effect of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. Bioresource Technology, 71(1): 5-12. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00055-3

Ning J-Y, Zhu X-D, Liu H-G, and Yu G-H. 2021. Coupling thermophilic composting and vermicomposting processes to remove Cr from biogas residues and produce high value-added biofertilizers. Bioresource Technology, 329: 124869. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124869

Parihar SS, Saini KPS, Lakhani GP, Jain A, Roy B, Ghosh S, and Aharwal B. 2019. Livestock waste management: A review. Journal of Entomology and Zoology Studies, 7(3): 384-393.

Polprasert C. 1996. Organic waste recycling. Chapter 3, pp. 81. England: John Wiley & Sons.

Raza ST, Zhu B, Tang JL, Ali Z, Anjum R, Bah H, Iqbal H, Ren X, Ahmad R. 2020 .Nutrients recovery during vermicomposting of cow dung, pig manure, and biochar for agricultural sustainability with gases emissions. Applied Sciences, 10(24): 8956. https://doi.org/10.3390/app10248956

Raza ST, Rong L, Rene ER, Ali Z, Iqbal H, Sahito ZA, and Chen Z. 2024. Effects of vermicompost preparation and application on waste recycling, NH3, and N2O emissions: A systematic review on vermicomposting. Environmental Technology & Innovation, 35: 103722. https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103722

Safarkhanlou L and Torkamani Bojdani H. 2007. Vermicompost production: New management of wastes. Proceedings of the 3rd National Symposium on Wastes, 21-22 April, Tehran, Iran, pp. 479-488. (In Persian with English Abstract).

Samavat S and Malakouti MG. 2003. Necessity of industrial production of vermi-compost using waste. Technical Publication of Soil and Water Research Institute, Ministry of Agricultural Jihad, Iran. (In Persian with English Abstract).

Sarker MA, Hashem MA, Murshed HM, Kamal MT, Haque MR, and. Rahman MM. 2021. Production and evaluation of vermicompost from different types of livestock manures. Journal of Agriculture, Food and Environment, 2(2): 62-67. https://doi.org/10.47440/JAFE.2021.2211

Sayara T, Basheer-Salimia R, Hawamde F, and Sánchez A. 2020. Recycling of organic wastes through composting: Process performance and cmpost application in agriculture. Agronomy, 10(11): 1838. https://doi.org/10.3390/agronomy10111838

Sherman-Huntoon R. 2000. Latest developments in mid-to-large scale vermicomposting. BioCycle, 41(11): 51-54.

Singh S, Sinha RK. 2022. Vermicomposting of organic wastes by earthworms: Making wealth from waste by converting ‘garbage into gold’for farmers In: Hussain CM, Hait S (eds.) Advanced Organic Waste Management: Sustainable Practices and Approaches, 1st Edition. Elsevier, pp. 93-120. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85792-5.00004-6

Tripathi G and Bhardwag P. 2004. Comprative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savingy) and *Lampito mauritii* (Kinberg). Bioresource Technology, 92(3): 275-283. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.09.005

Vodounnou DSJV, Kpogue DNS, Tossavi CE, Mennsah GA, and Fiogbe ED. 2016. Effect of animal waste and vegetable compost on production and growth of earthworm (Eisenia fetida) during vermiculture. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 5(1): 87-92. https://doi.org/10.1007/s40093-016-0119-5

Yadav J, Gupta RK, Kumar D. 2017. Changes in C: N ratio of different substrates during vermicomposting. Ecology, Environment and Conservation 23(1) : 368-372.

Yin J, Wang J, Zhao L, Cui Z, Yao S, Li G, Yuan J. 2025. Compost tea: Preparation, utilization mechanisms, and agricultural applications potential – A comprehensive review. Environmental Technology & Innovation, 38: 104137.

https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104137

Zhou B, Chen Y, Zhang C, Li J, Tang H, Liu J, Dai J, Tang J. 2021. Earthworm biomass and population structure are negatively associated with changes in organic residue nitrogen concentration during vermicomposting. Pedosphere, 31(3): 433-439.

doi:10.1016/S1002-0160(20)60089-3