

Original Article

Comparison of vermicomposts properties produced from several types of wastes biomass

Maedeh Bohlouli,¹ Hossein Ali Asadi-Gharneh,^{1*} Elham Chavoshi,² Nafiseh Zamindar³

¹Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

²Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

³Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Introduction: One of the environmental challenges of sustainable in agriculture is plant residues management. Medicinal plants are from aromatic groups with high economic value. The usable part of this plants is often a short tissue and these huge biomass is burned in field. Dehulling pistachio as waste parts is rich source of nutrients but these are thrown away. Vermicompost technology is a cheap method to transform agricultural waste to an environment- friendly product. The present study examines some waste plant nutrients recyclability into a suitable organic fertilizer such as vermicompost

Material and Methods: Raw materials were prepared from chamomile, licorice, madder, valerian and pistachio, to produce vermicompost. Substrates have arranged at 15 boxes with 80% V of plant residue plus 15% V cow dung plus 5% *Eisenia fetida*. The substrates were monitored every few days to maintain humidity at 70% and pH ranged in 6.8-7.2, the temperature was between 18-25°C and they stored in a shaded place. Vermicompost harvesting index was C/N ratio range from 20 to 30. Also substrate color change to dark brown and 50% volume decrease of vermicompost displayed vermicompost mature quality. After 30-120 days samples were harvested. A significant difference of data with three replicates was determined by Duncan's multiple range test at the 5% level. To compare the mean value of chemical properties in initial substrate before the vermicomposting with final products was used paired t-test statistical analysis.

Results and discussion: The minimum and maximum duration of vermicomposting was shown in licorice and chamomile, as recorded 30 and 120 days, respectively. The growth rate of earthworms range was between 1.46-9.02 in different substrates. Chemical properties analysis of treatments was showed a significant increase in total nitrogen between 11.66-22.07 g/kg in vermicompost. Significantly different mean results revealed in the amount of total phosphorus for all treatments between raw materials and vermicompost. The amount of total potassium increased after vermicomposting and the range was from 14.01 to 36.34 g/kg. Also, the C/N ratio decreased from 37.46-76.55 in raw materials to 18.21-40.62 in

* Corresponding Author Email Address: h.asadi@khuif.ac.ir

vermicomposts and all treatments reached the harvest index. Nitrogen increase in final substrate is under effect of the mucus secretion, growth-stimulating hormones, nitrogen-containing substances, and enzymes secreted, by earthworms. Earthworm phosphatase enzyme in the digestion process converts insoluble phosphorus into a soluble form. Also, rich micro-flora in the earthworm's digestive system increases the level of potassium in the mature vermicompost. In addition, destruction biomass of plant residues, increased the growth and reproduction of earthworms and decreased the C/N ratio, by vermicomposting either.

Conclusion: According to the results of this study, total nitrogen and potassium in vermicompost of valerian increased by 11.61 and 24.53 g/kg, respectively, that they were better results compare to other treatments. Also, the highest phosphorus changes in raw material and vermicompost were reported 80.8 g/kg in madder treatment. Biotransformation of the medicinal plant waste and nutrient recycling to a fertilizer is possible. The existence of hard cellulose tissue and high phenolic compounds in the waste of medicinal plants has affected on the growth rate of the earthworm and the vermicomposts quality. The present research introduce the unutilized of biomass of some plant residues as a new source of fertilizer without environmental pollution.

Keywords: Bio-degradable, C to N ratio, *Eisenia fetida*, Macro-nutrients, Plant residue

مقایسه ویژگی‌های ورمی کمپوست‌های تولید شده از زیست توده چند نوع ضایعات گیاهی

مائده بهلولی^۱، حسینعلی اسدی قارنه^۱، الهام چاوشی^۲، نفیسه زمیندار^۳

^۱ گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

^۲ گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان

^۳ گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

سابقه و هدف: یکی از چالش‌های زیست‌محیطی در کشاورزی پایدار، نحوه‌ی مدیریت بقایای گیاهی است. گیاهان دارویی از گروه‌های آروماتیک و با ارزش اقتصادی بالا هستند که قسمت کوچکی از آن‌ها قابل استفاده بوده و بخش عظیمی از زیست‌توده در مزرعه سوزانده می‌شود. بقایای پسته پوست‌گیری شده نیز هرچند منابع غنی از عناصر غذایی است اما دور ریخته می‌شود. فناوری ورمی‌کمپوست روشی ارزان برای تبدیل ضایعات کشاورزی به محصولی سازگار با محیط زیست است. مطالعه حاضر به بررسی قابلیت بازیافت مواد مغذی برخی پسماندهای گیاهی به یک کود آلی مناسب مانند ورمی‌کمپوست می‌پردازد.

مواد و روش‌ها: برای تولید ورمی‌کمپوست، مواد اولیه گیاهی از ضایعات گیاهان بابونه، روناس، سنبل الطیب و پسته تهیه شد. این مطالعه به وسیله‌ی طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و سه تکرار اجرا شد. بسترهای هر تیمار با ۸۰ درصد حجمی بقایای گیاهی به اضافه‌ی ۱۵ درصد حجمی کود گاوی و ۵ درصد حجمی کرم خاکی (*Esenia fetida*) تهیه شد. بسترها در مکانی سایه‌پوش نگهداری و هر چند روز یکبار بررسی شدند تا میزان رطوبت ۷۰ درصد، pH در محدوده‌ی ۷/۲-۶/۸ و دما بین ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد حفظ شود. شاخص برداشت ورمی‌کمپوست نسبت C/N بود که بین ۲۰ تا ۳۰ در نظر گرفته شد. پس از ۱۲۰-۳۰ روز نمونه‌ها برداشت شدند. تفاوت معنی‌داری داده‌ها در سه تکرار با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تعیین شد، سپس برای مقایسه میانگین خصوصیات شیمیایی در بستر اولیه قبل از فرآیند ورمی‌کمپوست با محصولات نهایی از آزمون t زوجی استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که کمترین و بیشترین مدت زمان فرآیند انجام ورمی‌کمپوست در شیرین‌بیان و بابونه بود که به ترتیب ۳۰ و ۱۲۰ روز ثبت شد. نرخ رشد کرم‌های خاکی در بسترهای مختلف بین ۹/۰۲-۱/۴۶ متغیر بود. تجزیه خصوصیات شیمیایی تیمارها افزایش قابل توجهی را در نیتروژن کل بین ۱۱/۶۶-۲۲/۰۷ گرم بر کیلوگرم در ورمی‌کمپوست نشان داد. نتایج

† Corresponding Author Email Address: h.asadi@khuisf.ac.ir

مقایسه میانگین ماده‌ی اولیه و ورمی‌کمپوست، اختلاف معنی‌داری در میزان فسفر کل برای همه‌ی تیمارها به‌دست آورد. مقدار پتاسیم کل بعد از تولید ورمی‌کمپوست افزایش یافت و از ۱۴/۰۱-۳۶/۳۴ گرم بر کیلوگرم متغیر بود. همچنین نسبت C/N نیز از ۳۷/۴۶-۷۶/۵۵ در مواد اولیه به ۲۱/۶۲-۱۸/۴۰ در ورمی‌کمپوست‌ها کاهش یافت و همه‌ی تیمارها به شاخص برداشت رسیدند. ترشح مخاط، هورمون‌های محرک رشد، مواد حاوی نیتروژن و آنزیم‌های ترشح شده توسط کرم‌های خاکی بر بهبود سطح نیتروژن بسترها اثرگذار بود. وجود آنزیم فسفاتاز در فرآیند هضم کرم خاکی، باعث تبدیل فسفر نامحلول به فرم محلول شد. همچنین وجود میکرو فلور غنی در دستگاه گوارش کرم خاکی نیز باعث افزایش سطح پتاسیم در ورمی‌کمپوست شد. علاوه بر این با تخریب زیست توده‌ی بقایای گیاهی در طول ورمی‌کمپوست‌سازی، رشد و تولید مثل کرم خاکی افزایش و نسبت C/N کاهش یافت که این تغییرات با توجه به کاربرد ضایعات مختلف نیز سبب تولید توده‌هایی با کیفیت‌های مختلف شد.

نتیجه‌گیری: با توجه نتایج این مطالعه، نیتروژن و پتاسیم کل در ورمی‌کمپوست سنبل‌الطیب به ترتیب ۱۱/۶۱ و ۲۴/۵۳ گرم بر کیلوگرم نسبت به بستر اولیه افزایش یافت که این نتایج بهتر از سایر تیمارها بود. همچنین بیشترین تغییرات فسفر قبل و بعد از تولید ورمی‌کمپوست در تیمار روناس ۸/۸۰ گرم بر کیلوگرم گزارش شد. تبدیل ضایعات گیاهان دارویی و بازیافت مواد مغذی به یک کود زیستی امکان‌پذیر است. کیفیت متفاوت در تولید ورمی‌کمپوست می‌تواند به دلیل بافت سخت سلولزی، ترکیبات فنلی بالا در ضایعات گیاهان دارویی و سرعت رشد کرم خاکی نتیجه‌گیری شود. پژوهش حاضر ورمی‌کمپوست برخی زیست توده‌های پسماند گیاهی را به عنوان یک منبع جدید کودی بدون آلودگی زیست‌محیطی معرفی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بقایای گیاهی، زیست تخریب‌پذیر، عناصر پرمصرف، نسبت C به N، *Eisenia fetida*

مقدمه

مدیریت پسماندهای جامد کشاورزی یک نگرانی مشروع به ویژه برای دولت‌ها و دوستداران محیط‌زیست است. روش‌های نادرست دفع ضایعات کشاورزی می‌تواند باعث آسیب‌های زیست‌محیطی، خطرات بهداشتی و آلودگی آب شود. بنابراین، تبدیل ضایعات کشاورزی به محصول با ارزش و اقتصادی، یک مدیریت مناسب پسماند، سازگار با محیط‌زیست، مقرون به صرفه و پایدار است (Awogbemi and Kallon, 2022). میزان برداشت محصول سالانه در ایران به ۴۵ میلیون تن در هکتار می‌رسد که نیمی از آن در مراحل مختلف تولید تا مصرف از بین می‌رود.

ضایعات کشاورزی سرشار از مواد آلی و منبع مهم عناصر غذایی برای رشد گیاه هستند که می‌تواند از طریق فناوری‌های مختلف به محصولات با ارزش تبدیل شوند. ورمی‌کمپوست‌سازی روشی موثر برای تبدیل ضایعات کشاورزی به کودهای

آلی است که باعث جلوگیری از مخاطرات زیست‌محیطی و حفاظت از کشاورزی پایدار می‌شود (Yang et al., 2023).
ورمی‌کمپوست یک فناوری امیدبخش برای تبدیل ضایعات جامد زیست‌تخریب‌پذیر به یک کود آلی و زیستی است که به وسیله‌ی گونه‌ای از کرم‌های خاکی (*Eisenia fetida*) انجام می‌شود (Hokmabadi, 2018). کودهای زیستی نتیجه‌ی آماده‌سازی‌های بیولوژیکی میکروارگانیسم‌های کارآمد هستند که با بهبود جذب مواد مغذی باعث رشد گیاه می‌شوند. آنها با تثبیت نیتروژن اتمسفر، حل شدن فسفر خاک و تحریک رشد گیاه، بهره‌وری خاک را افزایش می‌دهند. فناوری کود زیستی مدیریت مواد مغذی گیاهی را برای کشاورزی پایدار بهبود می‌بخشد (Kaur Maan and Garcha, 2021).
برای به‌دست آوردن استانداردهای قابل قبول در تولید ورمی‌کمپوست، استفاده از منابع غذایی مناسب برای افزایش تولید مثل و سرعت رشد کرم خاکی ضروری است. مزیت ورمی‌کمپوست نسبت به کمپوست حرارتی، افزایش میزان رطوبت و معدنی شدن بقایای آلی توسط کرم‌های خاکی است که در نتیجه زمان کمپوست‌سازی را کاهش می‌دهد و محصولی تولید می‌شود که ظرفیت تبادل یونی بالاتری دارد (Bhat et al., 2017). مطالعات انجام شده در این زمینه عبارتند از تولید ورمی‌کمپوست از: پوست انار و کمپوست مصرف شده قارچ (A'ali et al., 2017)، ضایعات محصول موز (Mago et al., 2021) و ضایعات گل کلم (Patra et al., 2022). مطالعات نشان می‌دهد که همه‌ی بقایای گیاهی به دلیل دارا بودن مقادیر زیادی ترکیبات آلكالوئیدی، فنولی و تانن‌ها، مناسب مصرف دام نیستند در نتیجه این بقایا به عنوان ضایعات در مزرعه رها شده یا سوزانده می‌شوند (Grogatti et al., 2022).
تاکنون مطالعات زیادی در مورد فرآوری ضایعات گیاهان دارویی حاصل از فعالیت‌های صنعتی گزارش شده است اما به نظر می‌رسد در ارتباط با زیست‌توده گیاهان دارویی باقی‌مانده در مزرعه تحقیقات چندانی انجام نشده باشد. این پژوهش به منظور بررسی امکان استفاده از پسماند مزرعه‌ای چند نوع گیاه دارویی (بابونه، شیرین‌بیان، روناس، سنبل‌الطیب) و یک گیاه اقتصادی و معمول در تولید کمپوست و ورمی‌کمپوست (پسته)، به عنوان بستر اولیه ورمی‌کمپوست و مقایسه نتایج برخی خصوصیات شیمیایی آنها پیش و پس از تولید ورمی‌کمپوست، انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آماری و تیمارها:

این مطالعه به مدت ۱۲۰ روز در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد واحد اصفهان (خوراسگان) طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. این مطالعه به صورت طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. خصوصیات شیمیایی ضایعات گیاهی و ورمی‌کمپوست حاصل از آنها از طریق ANOVA تجزیه واریانس شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون

چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد محاسبه شد. برای مقایسه نتایج ماده‌ی اولیه و ورمی‌کمپوست از آزمون t نمونه‌های جفت شده استفاده شد و سپس رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel 2013 انجام گرفت. به منظور انجام پژوهش پس از برداشت محصول، ضایعات باقی‌مانده در مزرعه شامل اندام هوایی روناس سنبل‌الطیب، شیرین‌بیان، بابونه (به استثنای گل‌ها) و ضایعات پسته پوست‌گیری شده از مزارع تهیه شد. ابتدا نمونه‌های گیاهی به مدت ۴۰ تا ۵۰ روز در دمای اتاق، هوا خشک و به قطعات ۱-۲ سانتی‌متری خرد شدند. سپس به منظور تهیه‌ی بستر هر ورمی‌کمپوست، ۸۰ درصد حجمی ضایعات گیاهی، ۵ درصد حجمی کرم خاکی، و ۱۵ درصد حجمی کود گاوی (به عنوان ماده اولیه برای تغذیه و فعالیت کرم خاکی) در سبدهایی به ابعاد ۲۶×۳۳×۵۲ سانتی‌متری ریخته شد (Abdoli *et al.*, 2016). هر چند روز یکبار بسترها بررسی شدند تا رطوبت در سطح ۷۰ درصد و pH در سطح ۶/۷-۸/۲ حفظ شود. تیمارها در محیطی سایه و در دمای ۱۸-۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. خصوصیات شیمیایی کود گاوی به کار رفته در این مطالعه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- تجزیه خصوصیات شیمیایی کود گاوی
Table 1. Chemical analysis of cow dung

کربن به فسفر	کربن به نیتروژن	کربن آلی	پتاسیم کل	فسفر کل	نیتروژن کل	هدایت الکتریکی	پی‌اچ	خصوصیات
C/N	C/N	organic carbon (g kg ⁻¹)	Total phosphorous (g kg ⁻¹)	Total Phosphorous (g kg ⁻¹)	Total nitrogen (g kg ⁻¹)	Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	pH	Properties
47.93	35.26	300.08	6.32	6.26	8.51	2.92	7.04	کود گاوی
								Cow Manure

شاخص کمی زمان برداشت ورمی‌کمپوست، رسیدن نسبت کربن به نیتروژن در بسترها به ۲۰-۳۰ بود (Fusilero *et al.*, 2013). لذا در طی فرآیند انجام ورمی‌کمپوست، هر ۳۰ روز یکبار از بسترها نمونه‌برداری و میانگین نتایج هر ماه گزارش شد. همچنین تغییر رنگ بسترها به قهوه‌ای تیره و کاهش ۵۰ درصدی حجم آن‌ها نیز به عنوان شاخص‌های فرعی و کیفی زمان برداشت مورد توجه قرار گرفت (Fusilero *et al.*, 2013).

با توجه به نتایج آزمایشگاهی، ورمی کمپوست‌های رسیده پس از ۳۰-۱۲۰ روز برداشت شدند. جداسازی کرم‌های خاکی به صورت دستی و با خشک کردن بسترها صورت گرفت (Patra et al., 2022). در این روش، یک هفته قبل از برداشت ورمی کمپوست، بسترها آبیاری نشدند و کرم‌ها به عنوان جمعیت فعال با مش ۳ (۰/۲۶۵ اینچ) جدا و شمارش گردیدند. شاخص‌های رشدی کرم خاکی در هر بستر (Esmaeili et al., 2020) با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه شد:

$$GR = \frac{W_1 - W_2}{T_v} \quad (1)$$

$$SR = \frac{P_1}{P_2} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه‌ها GR نرخ رشد، W_1 و W_2 به ترتیب وزن اولیه و نهایی کرم‌ها را بر حسب گرم پیش و پس از تولید ورمی کمپوست، و T_v مدت زمان فرآیند تولید ورمی کمپوست را بر حسب تعداد روز، SR نرخ زندمانی، P_1 و P_2 به ترتیب جمعیت اولیه و نهایی کرم‌ها پیش و پس از تولید ورمی کمپوست را نشان می‌دهد.

سطح pH و EC با تهیه سوسپانسیون بقایای گیاهی-آب و ورمی کمپوست-آب به نسبت ۵:۱ وزنی-حجمی به ترتیب با pH متر و EC متر دیجیتال تعیین شد (Tajbakhsh et al., 2008). نیتروژن کل به روش کج‌لدال، فسفر کل و پتاسیم کل پس از انجام احتراق خشک به ترتیب با اسپکتروفتومتر و شعله‌ی فلیم اندازه‌گیری شد (APHA, 2012). در روش احتراق خشک ۰/۲ گرم از نمونه‌های آسیاب شده داخل کروزه چینی ریخته شد و به مدت سه ساعت در داخل کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت (Kamegam et al., 2021). همچنین درصد کربن آلی به روش سوزاندن مواد آلی (Nelson et al., 1996)، نسبت کربن به نیتروژن و نسبت فسفر به نیتروژن با توجه به مقادیر کربن آلی کل، نیتروژن کل و فسفر کل محاسبه شد.

نتایج و بحث

مطابق با جداول ۲ و ۴، سطح pH برای همه تیمارها در بقایای گیاهی و ورمی کمپوست در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، همچنین مقدار pH اولیه در بقایای گیاهی از ۸/۱۲ تا ۷/۷۱ (جدول ۳)، و در ورمی کمپوست بین ۶/۲۵ تا ۴/۹۵ (جدول ۵)، متغیر بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات شیمیایی بقایای گیاهی

Table 2. Variance analysis (mean square) of the plant residue

منابع تغییرات	درجه آزادی	پی‌اچ pH	هدایت الکتریکی	نیتروژن کل	فسفر کل	پتاسیم کل	کربن آلی	کربن به نیتروژن	کربن به فسفر
---------------	------------	----------	----------------	------------	---------	-----------	----------	-----------------	--------------

Source of variation	df	Electrical conductivity	Total nitrogen	Total phosphorous	Total potassium	Organic carbon	C/N	C/P	
بقایای گیاهی Plant residue	4	0.74**	5.40**	0.55**	0.13**	29.76**	1519.87**	58.81**	877.33**
خطا Error	10	0.27	0.15	0.22	0.10	0.53	3.12	2.67	1.07
ضریب تغییرات CV	-	0.08	0.18	0.90	0.13	0.18	0.40	0.07	0.14

** : معنی داری در سطح ۱ درصد

** : Significance at 1%

جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات شیمیایی در بقایای گیاهی
Table 3. Comparison of chemical properties in plant residue

ضایعات گیاهی Plant residue	پی اچ pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	نیتروژن کل Total nitrogen (g kg ⁻¹)	فسفر کل Total phosphorous (g kg ⁻¹)	پتاسیم کل Total potassium (g kg ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (g kg ⁻¹)	کربن به نیتروژن C/N	کربن به فسفر C/P
بابونه Chamomile	7.41 ± 0.40d	5.91 ± 0.02b	10.43 ± 0.04d	10.22 ± 0.10e	10.43 ± 0.04d	485.53 ± 0.02b	46.55 ± 0.01a	133.02 ± 0.01a
شیرین بیان Licorice	8.06 ± 0.06ab	4.67 ± 0.07d	11.65 ± 0.10b	12.19 ± 0.01a	11.65 ± 0.10b	451.40 ± 0.04d	38.74 ± 0.01c	106.96 ± 0.01c
روناس Madder	7.91 ± 0.18bc	7.94 ± 0.10a	11.60 ± 0.02c	10.55 ± 0.03c	11.60 ± 0.02c	438.13 ± 0.01e	37.76 ± 0.01e	129.62 ± 0.01b
پسته Pistachio	7.85 ± 0.10c	5.13 ± 0.14c	12.76 ± 0.02a	10.43 ± 0.01d	12.76 ± 0.02a	490.90 ± 0.01a	38.47 ± 0.01d	95.87 ± 0.01e
سنبل الطیب Valerian	8.12 ± 0.02a	4.17 ± 0.04e	10.46 ± 0.02d	11.81 ± 0.01b	10.46 ± 0.02d	473.22 ± 0.01c	45.24 ± 0.01b	96.57 ± 0.01d

میانگین‌ها با حرف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار است

Means followed by the letter are not significantly different within a column

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست
Table 4. Variance analysis (mean square) of the vermicompost

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	پی اچ pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	نیتروژن کل Total nitrogen	فسفر کل Total phosphorous	پتاسیم کل Total potassium	کربن آلی Organic carbon	کربن به نیتروژن C/N	کربن به فسفر C/P
ورمی کمپوست Vermicompost	4	0.20**	5.53**	95.72**	13.85**	206.28**	787.70**	4.31**	1164.16**
خطا Error	10	0.01	0.16	2.04	0.36	0.30	0.10	2.21	0.44
ضریب تغییرات	-	0.03	0.19	0.32	0.56	0.33	0.06	0.50	0.45

** : Significance at 1%

جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات شیمیایی در ورمی کمپوست
Table 5. Comparison of chemical properties in vermicompost

ورمی کمپوست Vermicompost	پی‌اچ pH	هدایت الکتریکی Eleterical conductivity (dS m ⁻¹)	نیتروژن کل Total nitrogen (g kg ⁻¹)	فسفر کل Total phosphorous (g kg ⁻¹)	پتاسیم کل Total potassium (g kg ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (g kg ⁻¹)	کربن به نیتروژن C/N	کربن به فسفر C/P
بابونه Chamomile	5.23 ± 0.02bc	6.25 ±0.04c	11.66 ±0.11c	14.01 ±0.01e	11.66 ±0.11c	242.52 ±0.01d	20.89 ±0.01b	31.07 ±0.01d
شیرین بیان Licorice	5.43 ±0.01b	5.72 ±0.56d	11.91 ±0.02b	20.64 ±0.47c	11.91 ±0.02b	257.51 ±0.02c	21.62 ±0.01a	31.79 ±0.01c
روناس Madder	4.95 ± 0.02c	8.78 ±0.20a	11.66 ± 0.02c	19.92 ±0.02d	11.66 ±0.02c	214.55 ±0.01e	18.40 ±0.01e	17.60 ±0.01e
پسته Pistachio	7.25 ±0.02a	7.08 ±0.14b	22.04 ±0.10a	24.50 ±0.56b	22.04 ±0.10a	449.50 ±0.10a	20.39 ±0.01c	55.22 ±0.01b
سنبل الطیب Valerian	5.41 ±0.08b	5.61 ±0.02d	22.07 ± 0.04a	36.34 ±0.04a	22.07 ±0.04a	443.12 ±0.01b	20.07 ±0.01d	66.03 ±0.01a

میانگین‌ها با حرف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی دار است

Means followed by the letter are not significantly different within a column

جدول ۶- تجزیه و تحلیل داده‌های آماری بین ماده اولیه و ورمی کمپوست
Table 6. Statistical data analysis between raw material and vermicompost

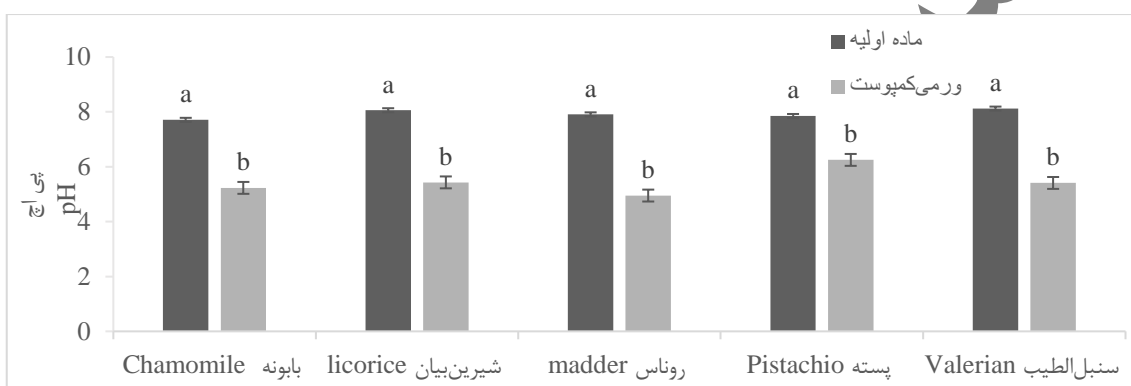
پارامترها Parameters	مقدار احتمال p-value				
	بابونه Chamomile	شیرین بیان Licorice	روناس Madder	پسته Pistachio	سنبل الطیب Valerian
پی‌اچ pH	0.003	<0.001	0.009	<0.001	0.007
هدایت الکتریکی Eleterical conductivity	<0.001	0.005	<0.001	0.017	0.003
نیتروژن کل Total nitrogen	<0.001	0.005	<0.01	0.015	<0.001
فسفر کل Total phosphorous	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	0.013
پتاسیم کل Total potassium	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
کربن آلی Organic carbon	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001

کربن به نیتروژن	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	<0.001
C/N					
کربن به فسفر	<0.001	0.035	<0.001	<0.001	<0.001
C/P					

سطح معنی‌داری در P_0.05 بود

The significant level was at P_0.05

جدول ۶ نشان داد که تغییرات pH در همه‌ی تیمارها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. شکل ۱، تغییرات pH را نشان می‌دهد، در طول فرآیند ورمی‌کمپوست سطح pH روند کاهشی داشته است و این کاهش در روناس بیشتر از سایر تیمارها گزارش شد.



شکل ۱- تغییرات pH در ماده‌ی اولیه و ورمی‌کمپوست تیمارهای مختلف

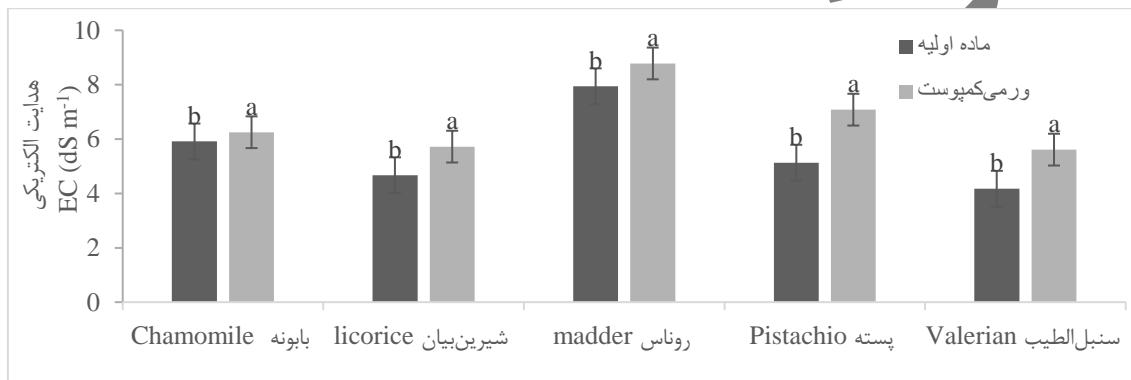
Fig. 1- pH changes in raw material and vermicompost of different treatments

این مطالعه نشان داد که pH بستر اولیه با پیشرفت فرآیند ورمی‌کمپوست به سمت اسیدی شدن پیش می‌رود، این حالت می‌تواند به دلیل تولید دی‌اکسیدکربن و اسیدهای آلی توسط عوامل میکروبی و گرم‌خاکی گزارش شود (Tajbakhsh *et al.*, 2008). نیتروژن معدنی تابعی از بازه تغییرات pH است. با کاهش سطح pH در طی فرآیند ورمی‌کمپوست، محتوای نیتروژن در چربی‌ها و پروتئین‌های گیاهی به صورت تبخیر آمونیاک آزاد می‌شود و این مولکول‌ها به سرعت تجزیه می‌شوند (Garcia-S_anchez *et al.*, 2017). تبدیل کمپوست مصرف شده قارچ به ورمی‌کمپوست نشان داد که سطح pH در محصول نهایی ۸ درصد کاهش یافت. در مطالعات دیگر نیز نتایج مشابهی یافت شد و سطح pH در ورمی‌کمپوست حاصل از کمپوست مصرف شده‌ی قارچ و ضایعات انار نسبت به بستر اولیه کاهش یافت (A'ali *et al.*, 2017). همچنین تبدیل ضایعات موز به ورمی‌کمپوست باعث کاهش سطح pH در محصول نهایی شد (Mago *et al.*, 2021).

تحلیل واریانس نشان می‌دهد که سطح EC برای همه تیمارها در بقایای گیاهی (جدول ۲) و ورمی‌کمپوست (جدول ۴) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین EC در ضایعات روناس و سنبل‌الطیب به ترتیب، ۷/۹۴ و ۴/۱۷

دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد (جدول ۳). سطح EC در ورمی‌کمپوست‌ها از ۸/۷۸ تا ۵/۷۲ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود (جدول ۵). در این مطالعه بالاترین و پایین‌ترین سطح هدایت الکتریکی به ترتیب برای ورمی‌کمپوست حاصل از ضایعات روناس و شیرین‌بیان ثبت شد. همچنین ورمی‌کمپوست شیرین‌بیان و سنبل‌الطیب از نظر سطح هدایت الکتریکی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند.

جدول ۶ نشان داد که تغییرات EC در همه‌ی تیمارها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. با توجه به مقایسه میانگین در شکل ۲، بیشترین سطح EC در نتایج پسته مشاهده شد. همچنین ضایعات سنبل‌الطیب پس از فرآیند ورمی‌کمپوست با ۱/۹۵ دسی‌زیمنس بر متر افزایش نسبت به بستر اولیه، بیشترین تغییرات EC را داشت (شکل ۲).



شکل ۲- تغییرات هدایت الکتریکی در ماده‌ی اولیه و ورمی‌کمپوست تیمارهای مختلف

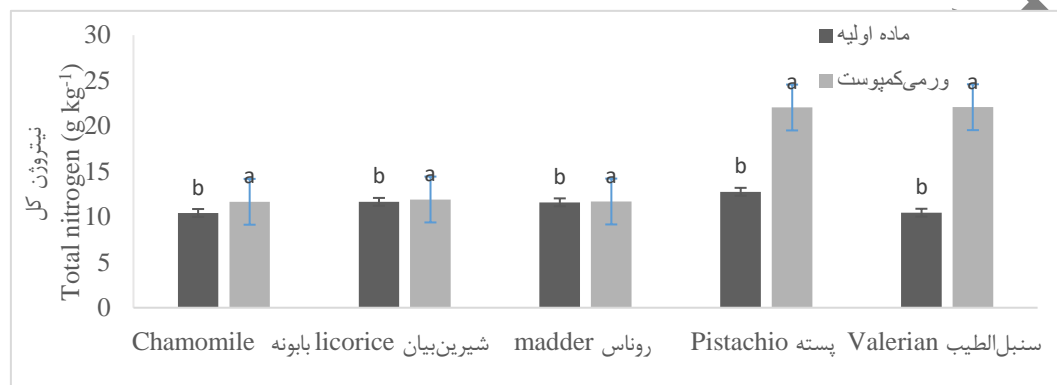
Fig. 2- EC changes in raw material and vermicompost of different treatments

افزایش EC در ورمی‌کمپوست به غلظت نمک‌های معدنی و کاهش مواد آلی بستر وابسته است. در طی فرآیند ورمی‌کمپوست، اشکال نامحلول نمک‌های معدنی محلول می‌شوند و افزایش می‌یابند. این مطالعه نشان داد که بستر بقایای روناس با EC دارای سطح شوری بالاتری در مقایسه با سایر بسترهای آلی بود. روناس یک گیاه شورپسند است که با که با خاک‌های شور قلیایی سازگار شده است. برخی پژوهش‌ها نشان داده است که غلظت نمک در اندام هوایی روناس بیشتر از ریشه است (Biruti *et al.*, 2010)، لذا ممکن است به دلیل توانایی بالای ریشه‌های گیاه روناس در جذب سدیم از خاک‌های شور، میزان شوری ورمی‌کمپوست تهیه شده از آن نیز افزایش یافته باشد. نتایج این پژوهش با یافته‌های به دست آمده از ورمی‌کمپوست حاصل از ضایعات گیاه سیترونلا مطابقت داشت (Banakar *et al.*, 2013).

با توجه به جدول میانگین مربعات، نیتروژن کل برای همه تیمارها در بقایای گیاهی (جدول ۲) و ورمی‌کمپوست (جدول ۴) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین نیتروژن کل را برای ضایعات پسته نشان داد و ضایعات

بابونه و سنبل‌الطیب کمترین سطوح را داشتند (جدول ۳). اما ورمی‌کمپوست سنبل‌الطیب و پسته به ترتیب با ۲۲/۰۷ و ۲۲/۰۴ گرم بر کیلوگرم، بالاترین نیتروژن کل را در بین تیمارها داشت. کمترین نیتروژن کل تیز برای ورمی‌کمپوست روناس و بابونه به ترتیب ۱۱/۶۹ و ۱۱/۶۶ گرم بر کیلوگرم گزارش شد (جدول ۵).

جدول ۶ نشان داد که تغییرات نیتروژن کل در همه‌ی تیمارها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. شکل ۳، نشان می‌دهد که به دنبال روند تولید ورمی‌کمپوست، نیتروژن کل در بسترها افزایش یافت. ورمی‌کمپوست سنبل‌الطیب با ۱۱/۶۱ واحد اختلاف نسبت به ماده اولیه گیاهی بیشترین نیتروژن کل را در بین تیمارها داشت.



شکل ۳- تغییرات نیتروژن کل در ماده‌ی اولیه و ورمی‌کمپوست تیمارهای مختلف

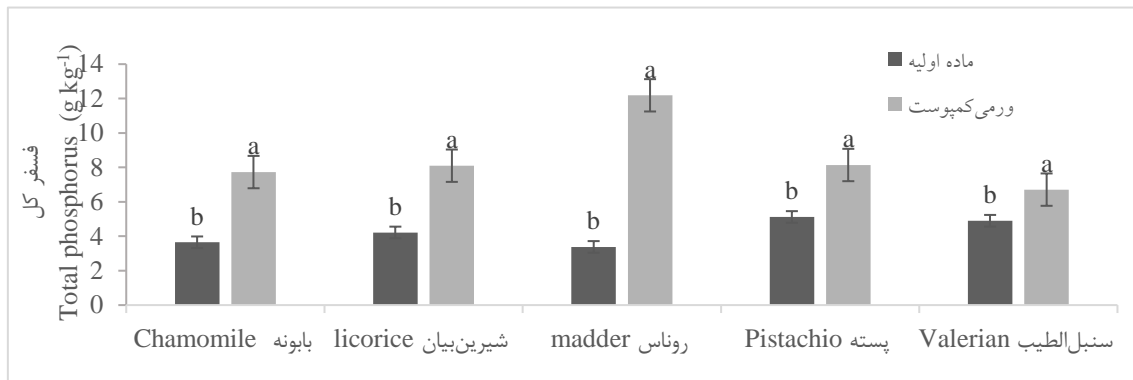
Fig. 3- Total nitrogen changes in raw material and vermicompost of different treatments

محتوای نیتروژن در تمام بسترها با تجزیه مواد اولیه، افزایش یافت. افزایش غلظت نیتروژن و آمونیوم ناشی از کانی‌سازی نیتروژن است. علاوه بر این، از جمله عوامل دیگری که بر سطح نیتروژن در بستر نهایی تأثیر گذار است، ترشح مخاط، هورمون‌های محرک رشد، مواد حاوی نیتروژن و آنزیم‌های ترشح شده توسط کرم‌های خاکی است (Hong et al., 2011).

با توجه به برخی نتایج در طی انجام فرآیند ورمی‌کمپوست از ضایعات ذرت، میزان نیترات بستر افزایش و آمونیوم کاهش یافت و درصد نیتروژن کل در محصول نهایی (ورمی‌کمپوست) با کاربرد ۴۰٪ این ضایعات بیشتر شد (Kharazi et al., 2020).

فسفر کل برای بقایای گیاهی (جدول ۲) و ورمی‌کمپوست (جدول ۴) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نیز نشان داد که بیشترین و کمترین سطح فسفر کل مربوط به ضایعات پسته و روناس به ترتیب ۵/۱۲ و ۳/۳۸ گرم بر کیلوگرم گزارش شد (جدول ۳). فسفر کل در ورمی‌کمپوست تهیه شده از بقایای روناس با غلظت ۱۲/۱۹ گرم بر کیلوگرم به طور قابل توجهی بیشتر از سایر تیمارها بود و کمترین سطح فسفر کل برای ورمی‌کمپوست سنبل‌الطیب به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۶ نشان داد که تغییرات فسفر کل در همه‌ی تیمارها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. گزارش شکل ۴، نشان می‌دهد که فسفر کل در ورمی‌کمپوست همه‌ی تیمارها بیشتر از بقایای گیاهی بود و ورمی‌کمپوست روناس با ۸/۸۰ گرم بر کیلوگرم افزایش نسبت به بقایای روناس به عنوان بهترین تیمار از نظر بهبود سطح کمیت فسفر شناخته شد.



شکل ۴- تغییرات فسفر کل در ماده‌ی اولیه و ورمی‌کمپوست تیمارهای مختلف

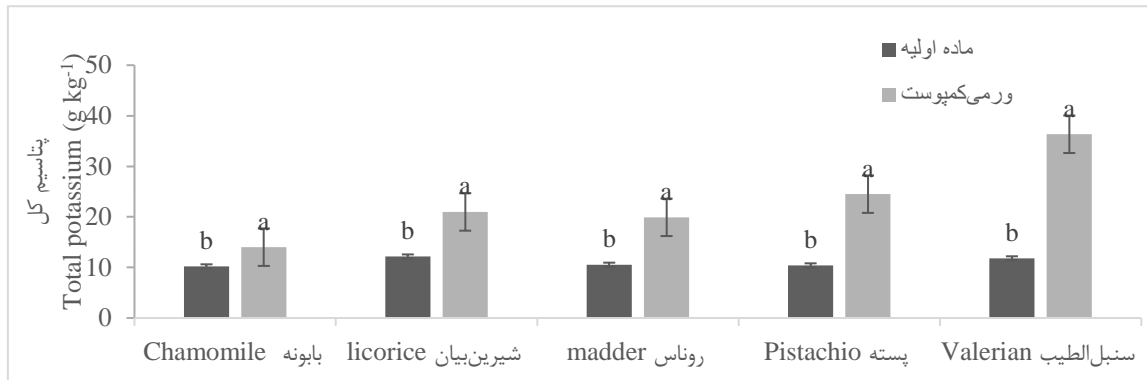
Fig. 4- Total phosphorus changes in raw material and vermicompost of different treatments

نوع و کیفیت مواد اولیه مورد استفاده در آزمایش و همچنین مدت زمان تولید ورمی‌کمپوست، از عوامل اثرگذار بر تغییر غلظت فسفر در بسترهای مختلف است. وجود آنزیم فسفاتاز در فرآیند هضم کرم خاکی، فرم نامحلول را به فسفر محلول تبدیل می‌کند. دکا و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه بر روی تولید کمپوست و ورمی‌کمپوست از برخی بقایای گیاهان معطر اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد گزارش دادند. این گزارشات حاکی از آن بود که سطح نیتروژن و فسفر کل در ورمی‌کمپوست به ترتیب ۱/۹ درصد و ۴/۱ درصد بیشتر از کمپوست عارض می‌شود.

پتاسیم کل برای همه تیمارها در بقایای گیاهی (جدول ۲) و ورمی‌کمپوست (جدول ۴) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. بیشترین و کم‌ترین سطح پتاسیم کل در ضایعات شیرین بیان و بابونه به ترتیب ۱۲/۱۸ و ۱۰/۲۲ گرم بر کیلوگرم گزارش شد (جدول ۳). در بررسی نتایج ورمی‌کمپوست‌ها، پتاسیم کل در سنبل‌الطیب، ۳۶/۳۴ گرم بر کیلوگرم به دست آمد که بالاترین سطح را در بین همه‌ی تیمارها داشت (جدول ۵).

جدول ۶ نشان داد که تغییرات پتاسیم کل در همه‌ی تیمارها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. مقایسه تغییرات پتاسیم کل در ماده اولیه و ورمی‌کمپوست نشان می‌دهد که محتوای پتاسیم کل در ورمی‌کمپوست همه تیمارها بیشتر از ماده اولیه گیاهی بود اما بهترین نتیجه با ۲۴/۵۳ گرم بر کیلوگرم افزایش در تیمار سنبل‌الطیب مشاهده شد.

(شکل ۵). همچنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرآیندهای شیمیایی اثر زیادی بر بهبود سطح پتاسیم کل در ورمی‌کمپوست بابونه در مقایسه با سایر تیمارها نداشت.

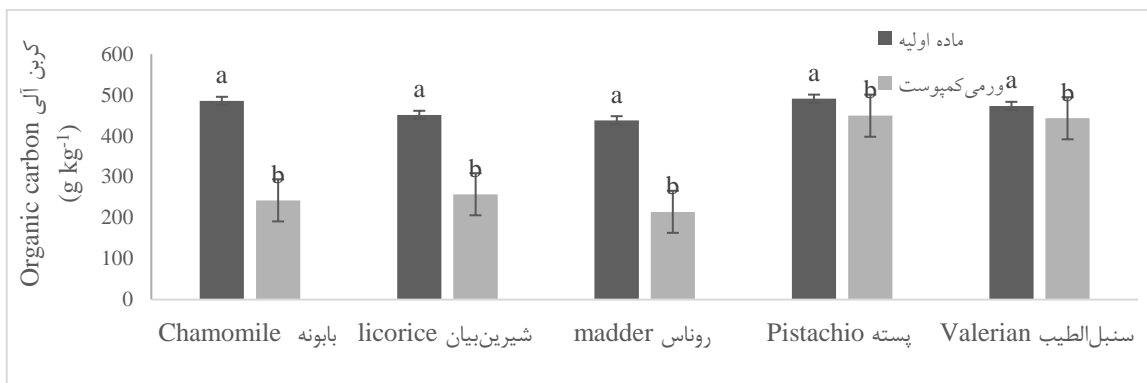


شکل ۵- تغییرات پتاسیم کل در ماده‌ی اولیه و ورمی‌کمپوست تیمارهای مختلف

Fig. 5- Total potassium changes in raw material and vermicompost of different treatments

وجود آنزیم‌های گوارشی و میکروارگانیسم‌های مختلف در دستگاه گوارش کرم‌خاکی باعث افزایش سطح پتاسیم در ورمی‌کمپوست می‌شود (Rupani *et al.*, 2017). با بررسی امکان فرآوری ضایعات چغندر قند به ورمی‌کمپوست گزارش شد که پتاسیم کل در محصول نهایی ۱۶ گرم بر کیلوگرم نسبت به بستر اولیه افزایش یافت و این تغییر با استفاده از فناوری ورمی‌کمپوست بیشتر از سایر روش‌های فرآوری بود (Honarvar *et al.*, 2012).

نتایج تجزیه واریانس بقایای گیاهی (جدول ۲) و ورمی‌کمپوست (جدول ۴) در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. با توجه به مقایسه میانگین ضایعات گیاهان مختلف، بیشترین و کمترین کربن آلی برای ضایعات پسته و روناس به ترتیب ۴۹۰/۹۰ و ۴۳۸/۱۳ گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۳). این در حالی است که پس از تولید ورمی‌کمپوست نیز بیشترین و کمترین سطح کربن آلی برای ورمی‌کمپوست پسته و روناس به ترتیب ۴۴۹/۵۰ و ۲۱۴/۵۵ گرم بر کیلوگرم حاصل شد (جدول ۵). جدول ۶ نشان داد که تغییرات کربن آلی در همه‌ی تیمارها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. مقایسه تغییرات سطح کربن آلی در شکل ۶، نشان می‌دهد که کربن آلی در همه‌ی تیمارها با پیشرفت ورمی‌کمپوست به تدریج روند کاهشی داشت و سرعت این روند به صورت سنبل‌الطیب > پسته > شیرین‌بیان > روناس > بابونه انجام شده است.



شکل ۶- تغییرات کربن آلی در ماده‌ی اولیه و ورمی کمپوست در تیمارهای مختلف

Fig. 6- Total organic carbon changes in raw material and vermicompost of different treatments

با گذر زمان بستر ورمی کمپوست حالت چسبناک و ژله‌ای پیدا می‌کند، در نتیجه فرآیند هوادهی با مشکل مواجه شده و توده‌هایی با فرآیندهای تجزیه متفاوت ایجاد می‌شود (Rostami, 2011). کاهش کربن آلی به دلیل فعالیت همزمان کرم‌های خاکی و سایر میکروارگانیسم‌ها اتفاق می‌افتد که نشان دهنده متعادل‌سازی مواد مغذی به وسیله کانی‌سازی است (Negi and Suthar, 2013).

جدول تجزیه واریانس، نسبت نیتروژن به کربن را برای بقایای گیاهی (جدول ۲) و ورمی کمپوست (جدول ۴) در سطح ۱ درصد معنی‌دار نشان داد. مطابق با جداول ۷ تا ۱۱، مدت زمان فرآیند ورمی کمپوست تا رسیدن به شاخص برداشت را نشان می‌دهد. درصد کربن آلی و نسبت نیتروژن به کربن به دنبال تولید ورمی کمپوست کاهش یافته اما نیتروژن کل در طول این فرآیند تا زمان برداشت افزایش می‌یابد. تجزیه ضایعات شیرین بیان با سرعت بیشتری انجام شد و ورمی کمپوست حاصل شده پس از ۳۰ روز با نسبت نیتروژن به کربن ۲۱/۶۲ به شاخص برداشت رسید، گزارش شد (جدول ۸). طولانی‌ترین مدت زمان تولید ورمی کمپوست مربوط به ضایعات بابونه بود که پس از ۱۲۰ روز عدد نسبت نیتروژن به کربن، ۲۰/۷۹ ثبت شد. سایر تیمارها پس از ۶۰ روز به شاخص برداشت رسیدند (جدول ۷). بیشترین و کمترین نسبت نیتروژن به کربن به ترتیب در بقایای بابونه و روناس گزارش شد (جدول ۳). پس از فرآیند ورمی کمپوست نسبت نیتروژن به کربن در روناس کمتر از سایر تیمارها باقی ماند و بیشترین نسبت نیز برای شیرین بیان ثبت شد (جدول ۵).

جدول ۷- روند پیشرفت فرآیند ورمی کمپوست در بستر بابونه

Table 7. The progress of vermicomposting in chamomile substrate

بسترها	اولیه	۳۰ روز	۶۰ روز	۹۰ روز	۱۲۰ روز	برداشت
Substrate	Initial	30 days	60 days	90 (days)	120 (days)	Harvest

بابونه						
Chamomile						
کربن آلی	485.53±0.02	480.15±0.01	374.28±0.29	363.20±0.50	242.52±0.01	
Organic carbon (g kg ⁻¹)						
نیتروژن کل	10.43±0.04	10.98±0.08	11.32 ±0.12	11.48±0.42	11.66±0.02	
Total nitrogen (g kg ⁻¹)						
کربن به نیتروژن	46.55 ±0.01	43.72±0.01	33.06±0.01	31.63±0.01	20.79±0.01	20.79±0.01
C/N						

جدول ۸- روند پیشرفت فرآیند ورمی کمپوست در بستر شیرین بیان
Table 8. The progress of vermicomposting in licorice substrate

بسترها	اولیه	۳۰ روز	۶۰ روز	۹۰ روز	۱۲۰ روز	برداشت
Substrates	Initial	30 days	60 days	90 (days)	120 (days)	Harvest
شیرین بیان Licorice						
کربن آلی	451.40±0.04	257.51±0.08	—	—	—	—
Organic carbon (g kg ⁻¹)						
نیتروژن کل	11.65±0.01	11.91 ±0.02	—	—	—	—
Total nitrogen (g kg ⁻¹)						
کربن به نیتروژن	38.74±0.01	21.62±0.01	—	—	—	21.62±0.01
C/N						

جدول ۹- روند پیشرفت فرآیند ورمی کمپوست در بستر روناس
Table 9. The progress of vermicomposting in madder substrate

بسترها	اولیه	۳۰ روز	۶۰ روز	۹۰ روز	۱۲۰ روز	برداشت
Substrates	Initial	30 days	60 days	90 (days)	120 (days)	Harvest
روناس Madder						
کربن آلی کل	438.13±0.01	388.17±0.12	214.55±0.01	—	—	—
Organic carbon (g kg ⁻¹)						
نیتروژن کل	11.60±0.02	11.63±0.32	11.66 ±0.02	—	—	—
Total nitrogen (g kg ⁻¹)						
کربن به نیتروژن	37.76±0.01	33.37±0.01	18.40±0.01	—	—	18.40±0.01
C/N						

جدول ۱۰- روند پیشرفت فرآیند ورمی کمپوست در بستر پسته

Table 10. The progress of vermicomposting in pistachio substrate

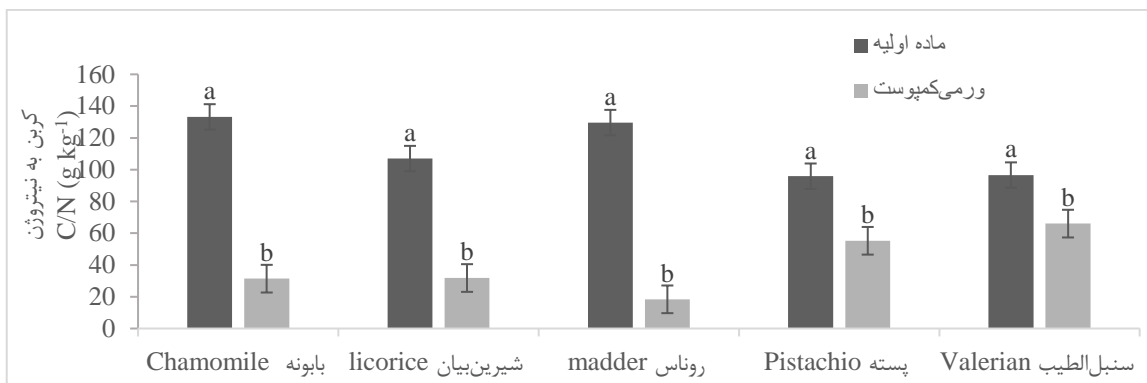
بسترها Substrates	اولیه Initial	۳۰ روز 30 days	۶۰ روز 60 days	۹۰ روز 90 (days)	۱۲۰ روز 120 (days)	برداشت Harvest
Pistachio پسته						
کربن آلی کل Organic carbon (g kg ⁻¹)	490.90±0.01	470.81±1.11	449.50±0.01	—	—	—
نیتروژن کل Total nitrogen (g kg ⁻¹)	12.76±0.02	15.05±0.10	22.04±0.10	—	—	—
کربن به نیتروژن C/N	38.47±0.01	31.28±0.01	20.39±0.01	—	—	20.39±0.01

جدول ۱۱- روند پیشرفت فرآیند ورمی کمپوست در بستر سنبل الطیب

Table 11. The progress of vermicomposting in valerian substrate

بسترها Substrates	اولیه Initial	۳۰ روز 30 days	۶۰ روز 60 days	۹۰ روز 90 (days)	۱۲۰ روز 120 (days)	برداشت Harvest
سنبل الطیب Valerian						
کربن آلی کل Organic carbon (g kg ⁻¹)	473.22±0.01	461.22±0.42	443.13±0.10	—	—	—
نیتروژن کل Total nitrogen (g kg ⁻¹)	10.46±0.02	13.42±0.04	22.07±0.044	—	—	—
کربن به نیتروژن C/N	45.24±0.01	34.36 ±0.01	20.07±0.01	—	—	20.07±0.01

جدول ۶ نشان داد که تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در تمامی تیمارها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی دار بود. نسبت نیتروژن به کربن منعکس کننده طیف تغییر غلظت کربن و نیتروژن مواد زیست تخریب پذیر در طی فرآیند ورمی کمپوست است. در مطالعه حاضر محدوده نسبت نیتروژن به کربن تیمارها با گذشت زمان کاهش یافته است (شکل ۷).



شکل ۷- تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در ماده‌ی اولیه و ورمی کمپوست در تیمارهای مختلف

Fig. 7- C/N ratio changes in raw material and vermicompost of different treatments

تغییر نسبت کربن به نیتروژن به خصوصیات شیمیایی بستر اولیه (زیست توده تخریب پذیر و کود دامی) ورمی کمپوست و شرایط رشدی و تولید مثل کرم خاکی بستگی دارد. کرم خاکی با تجزیه برخی ضایعات گیاهی نسبت کربن به نیتروژن را به کمتر از ۲۰ کاهش می‌دهد (Dume *et al.*, 2023). رشد سریع و افزایش جمعیت کرم خاکی در طول فرآیند ورمی کمپوست باعث کاهش نسبت کربن به نیتروژن می‌شود که کاهش کربن غیرآلی را نیز در پی خواهد داشت (Bingyu *et al.*, 2024). برخی از محققان گزارش کردند که گیاهان دارویی و ضایعات پسته منبع غنی از ترکیبات فنلی هستند که با پوسیدگی بقایای گیاهی، ترکیبات فنلی کاهش می‌یابد اما به طور کامل حذف نمی‌شود. غلظت این ترکیبات ممکن است بر سرعت رشد گونه‌ی *E. fetida* تأثیرگذار باشد (Gavanbakht *et al.*, 2021). نتایج نسبت کربن به نیتروژن حاصل از این مطالعه با نتایج اسماعیلی و همکاران (۲۰۲۰) بر روی تولید ورمی کمپوست از ضایعات پسته مطابقت داشت.

نسبت کربن به فسفر برای همه تیمارها در بقایای گیاهی (جدول ۲) و ورمی کمپوست (جدول ۴) در سطح ۱ درصد معنی دار بود. مقایسه میانگین نتایج مختلف نشان داد که نسبت کربن به فسفر در بقایای بابونه بیشتر از سایر تیمارها بود و کمترین نسبت کربن به فسفر در ضایعات پسته گزارش شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که نسبت کربن به فسفر در ورمی کمپوست تیمارهای متفاوت، اختلاف معنی داری با یکدیگر داشت. ورمی کمپوست سنبل الطیب با عدد ۶۶/۰۳ بیشتر از سایر تیمارها بود و کمترین نسبت کربن به فسفر برای ورمی کمپوست روناس، ۱۷/۶۰ محاسبه شد (جدول ۵). جدول ۶ نشان داد که تغییرات نسبت کربن به فسفر در همه تیمارها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی دار بود. با توجه به شکل ۸، نسبت کربن به فسفر در بقایای گیاهی بین ۱۳۳/۰۲-۹۵/۸۷ متغیر بود که به محدوده‌ی ۶۶/۰۳-۱۷/۶۰ در ورمی کمپوست آماده‌ی برداشت کاهش یافت. به دنبال فرآیند ورمی کمپوست‌سازی بیشترین و کمترین سرعت کاهش نسبت کربن به فسفر به ترتیب در تیمار روناس و سنبل الطیب مشاهده شد.



شکل ۸- تغییرات نسبت کربن به فسفر در ماده‌ی اولیه و ورمی کمپوست در تیمارهای مختلف

Fig. 8- C/P ratio changes in raw material and vermicompost of different treatments

افزایش سطح فسفر در طول تجزیه ترکیبات آلی منجر به کاهش محتوای کربن به فسفر شد. کاهش نسبت کربن به نیتروژن و کربن به فسفر به افزایش نیتروژن کل و فسفر کل در طول فرآیند تولید ورمی کمپوست و افزودن مقدار کود گاوی بستگی دارد. نتایج این مطالعه با نتایج تولید ورمی کمپوست از کود دامی از نژادهای مختلف گاوهای بومی (Balachandar *et al.*, 2021) و ضایعات علف‌های هرز (Rini *et al.*, 2020) مطابقت داشت. با توجه به جدول ۱۲ نتایج تجزیه واریانس نرخ رشد در سطح ۱ درصد و میانگین وزن نهایی، وزن خالص، جمعیت نهایی و درصد زنده‌مانی کرم‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. تغییر نرخ رشد کرم بالغ و نابالغ در همه بسترها بین ۰.۲-۹/۱۴۶ مشاهده شد. همچنین وزن خالص کرم‌ها در تمامی تیمارها بیشتر از بستر بابونه بود (جدول ۱۳).

جدول ۱۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های رشدی کرم *E. fetida* در بسترهای مختلف
Table 12. Variance analysis (mean square) *E. fetida* growth index in different substrates

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین وزن اولیه	میانگین وزن نهایی	وزن خالص	نرخ رشد	جمعیت اولیه کرم‌ها	جمعیت نهایی کرم‌ها	درصد زنده‌مانی
Source of variation	df	Primary weight mean	Terminal weight mean	Net weight gained	Growth rate	Primary worms population	Terminal worms population	Survival rate
بسترهای ورمی کمپوست	4	61.43ns	478.93*	381.56*	23.48*	456.66ns	1044.33*	918.09*
Vermicompost substrates								
خطا	10	14.80	19.13	16.43	0.13	14.71	20.03	20.01
Error								
ضریب تغییرات		0.20	0.90	0.16	0.59	0.06	0.80	0.09
CV								

* , ** و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری

*, ** and ns: Significance at 1%

جدول ۱۳- شاخص‌های رشدی کرم *E.fetida* در بسترهای مختلف

Table 13. *E. fetida* growth index in different substrates

بسترها Substrates	میانگین وزن پایانی Terminal weight mean (g)	وزن خالص Net weight gained (g)	نرخ رشد Growth rate	جمعیت پایانی کرم‌ها Terminal worms population	درصد زنده‌مانی Survival rate (%)
بابونه Chamomile	422.66±57.4c	177.66±48.9b	1.46±0.4d	2113.13±2.0c	197.51±23.6b
شیرین‌بیان Licorice	523.33±25.1a	270.66±19a	9.02±0.6a	2566.66±57.7a	234.17±17a
روناس Madder	498±13.1ab	250.33±7.5a	4.17±0.1b	2490±65.5ab	230.33±10.4a
پسته Pistachio	513.33±20.8bc	256.0±12a	3.31±0.0c	2276.66±25.1bc	197.26±6.3b
سنبل‌الطیب Valerian	496.66±20.8ab	241.66±16a	4.02±0.2b	2483.33±10.4ab	215.96±2.6ab

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که جمعیت کرم‌های خاکی در طول فرآیند ورمی‌کمپوست در همه تیمارها افزایش یافت. با این حال همه‌ی شاخص‌های رشدی (*E. fetida*) در بستر شیرین‌بیان بهتر بود و می‌توان نتیجه گرفت که کود حیوانی یک منبع مغذی برای تأمین نیازهای متابولیستی کرم‌ها و ضایعات شیرین‌بیان به عنوان یک ماده غذایی مطلوب نسبت به سایر تیمارها برای کرم‌خاکی است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بافت سلولزی سخت و وجود برخی ترکیبات شیمیایی مانند فنل و تانن احتمالاً از مطلوبیت سایر تیمارها کاسته است که این امر می‌تواند بر سرعت رشد کرم خاکی و کیفیت ورمی‌کمپوست نهایی تأثیرگذار بوده باشد (Sonmezdag *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری

ورمی‌کمپوست، ویژگی‌های شیمیایی، کیفیت نهایی و مدیریت زیست‌توده ضایعات گیاهی را بهبود بخشید. سطح عناصر پر مصرف در همه‌ی تیمارها افزایش یافت به طوری که بیشترین مقدار نیتروژن و پتاسیم کل در بستر ضایعات سنبل‌الطیب به ترتیب ۲۲/۰۷ و ۳۶/۳۴ گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد که دارای اختلاف معنی‌داری نیز با سایر تیمارها بود. در طول فرآیند ورمی‌کمپوست نسبت کربن به نیتروژن و کربن به فسفر به تدریج کاهش یافت. این نسبت‌ها در بستر ضایعات روناس به ترتیب ۱۸/۴۰ و ۱۷/۶۰ گزارش شد که بهتر از سایر تیمارها بود. همچنین بیشترین درصد زنده‌مانی و نرخ

رشد کرم‌خاکی در بستر ضایعات شیرین‌بیان به ترتیب ۲۳۴/۱۷ و ۹/۰۲ حاصل شد. اگرچه فرآیند تولید ورمی‌کمپوست در بابونه نسبت به سایر تیمارها طولانی‌تر بود، اما این مطالعه نشان داد که تبدیل زیستی ضایعات گیاهان دارویی به ورمی‌کمپوست امکان‌پذیر است. اگرچه سطح هدایت الکتریکی در ورمی‌کمپوست حاصل از ضایعات روناس و پسته نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود اما این ویژگی می‌تواند به عنوان یک تنش ملایم در تهیه بستر کشت گیاهان دارویی و افزایش ترکیبات با ارزش مونوترپنوئیدی در آنها اثربخش باشد.

سیاسگزاری

بدین وسیله از شرکت داروسازی گل‌دارو جهت تهیه ضایعات گیاهان دارویی تشکر به عمل می‌آوریم. لازم به ذکر است در راستای انجام این پژوهش هیچ حمایت مالی از سوی اشخاص حقیقی یا حقوقی دریافت نشده است.

منابع

A'ali, R., Jafarpour, M., Kazemi, E., and Pessarakli, M., 2017. Effects of raw materials on vermicompost qualities. *Journal of Plant Nutrition*, 40(11), 1635-1643. doi: 10.1080/01904167.2016.1270319.

1. Abdoli, M.A., Hadipour, M., Ghazizadeh, M.J., and Asgharnia, H.A. 2016. Vermicomposting of domestic waste using *Eisenia Foetida* earthworm. *Journal of Environmenta Science and Technology*, 18(4), 327-333.
2. APHA., 2012. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association WWA. Washington, D.C.
3. Awogbemi, O., and Kallon, D.V.V., 2022. Pretreatment techniques for agricultural waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, doi: 10.1016/j.cscee.2022.100229.
4. Balachandar, R., Biruntha, M., Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Subbaiya, R., Govarthan, M., Kumar, P., and Karmegam, N., 2021. Earthworm intervened nutrient recovery and greener production of vermicompost from *Ipomoea staphylina*—an invasive weed with emerging environmental challenges. *Chemosphere*, 263, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128080.
5. Banakar, M., and Ranjbar, G.h., 2013. Evaluation of Rhonas response to salinity in vegetative growth stage in two methods of planting seed and seed. *Soil Resource*, 27(3), 21-28. (In Persian). doi: 10.22092/IJSR.2013.126259.
6. Bhat, S.A., Singh, J., and Vig, A.P. 2017. Amelioration and degradation of pressmud and bagasse wastes using vermitechnology. *Bioresource Technology*. 243, 1097-1104. doi: 10.1016/j.biortech.2017.07.093.
7. Bingyu, S., Zihao, D., Wenhue, L., 2024. Chapter 17 - Analysis of carbon emissions in composting and vermicomposting of excess sludge. *Earthworm Technology in Organic Waste Management. Waste and the environment: Underlying Burdens and Managment Strategies*. 359-366. doi: 10.1016/B978-0-443-16050-9.00009-8.

8. Biruti, Z., and Dadkhah, A., 2010. Investigating the effect of salinity and drought interaction on the growth of runas. Proceedings of the first Madder national conference. Production, Processing and Administration, Yazd, Iran. [In Persian].
9. Deka, H, Deka, S., Baruah, C.K., Das, J., Hoque, S., and Sarma, N.S., 2011. Vermicomposting of distillation waste of citronella plant (*Cymbopogon winterianus* Jowitt.) employing *Eudrilus eugeniae*. *Bioresource Technology*, 102(13), 6944-6950. doi: 10.1016/j.biortech.2011.04.027.
10. Dume, B., Hance, A., Svehla, P., Michal, P., Demelash Chan, A., and Negussie, A., 2023. Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: Technological feasibility and end-product quality. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 263, doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115255.
11. Esmaeili, A., Reyahi Khoram, M., Gholami, M., and Eslami, H., 2020. Pistachio waste management using combined composting, vermicomposting technique: Physico-chemical changes and worm growth analysis. *Journal of Clean Production*, 242, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118523.
12. Fusilero, M.A., Mangubat, J., Ragas, R.E., Baguion, N., Taya, H., and Rasco, J.E., 2013. Weed management systems and other factors affecting the earthworm population in a banana plantation. *European Journal of Soil Biology*, 56(3), 89-94. doi: 10.1016/j.ejsobi.2013.03.002.
13. Garcia-S_anchez, M., Tau_snerov_a, H., Han_c, A., and Tlusto_s, P., 2017. Stabilization of different starting materials through vermicomposting in a continuous-feeding system: changes in chemical and biological parameters. *Waste Management*, 62, 33-42. doi: 10.1016/j.wasman.2017.02.008.
14. Gavanbakht, M., Phasemi-Gahsareh, M., and Motaghian, H.R., 2021. The effect of licorice residue root vermicompost on the growth and development of African violet. *Flower and Ornamental Plants*, 7(1), 77-92. (In Persian). doi: 10.61186/flowerjournal.7.1.77.
15. Grogatti, M., Pertoli, A., and Ciavatta, C., 2022. Plant phosphorus efficiency from raw and composted aground bio-waste anaerobic digestates. *Journal of Soil Science Plant Nutrition*. 23(3), 3586-3599. doi: 10.1007/s42729-023-01274-8.
16. Hokmabadi, H., 2018. Pistachio Wastes in Iran and the Potential to recapture them in Value Chain. *Pistachio and Health Journal*, 1(4), 1-12. (In Persian).
17. Honarvar, M., Samavat, S., Davoudi, M.H., and Karimi, K., 2012. The possibility of producing compost and vermicompost from sugar beet waste used in factories. *Journal of Food Science and Nutrition*, 3(8), 53-46. (In Persian).
18. Hong, S.W., Lee, J.S., and Chung, K.S., 2011. Effect of enzyme producing microorganisms on the biomass of epigeic earthworms (*Eisenia fetida*) in vermicompost. *Bioresource Technology*, 102(10), 6344-6347. doi: 10.1016/j.biortech.2011.02.096.
19. Kamegam, N., Jayakumar, M., Govarthanam, M., and Kummar, P., 2021. Precomposting and green manure amendment for effective vermitransformation of hazardous coir industrial

- waste into enriched vermicompost. *Bioresource Technology*, doi: 10.1016/j.biortech.2020.124136.
20. Kaur Maan, P., Garch, S., 2021. Chapter 3 – production technology, properties, and quality management. *Biofertilizers*. 1, 31-43.
 21. Kharazi, M., Younesi, H., and Abedini Targhabeh, J., 2020. The effect of combining corn waste with cow dung and cardboard on the quality of produced vermicompost. *Applied Agricultural Research Journal*, 27, 191-179. (In Persian).
 22. Mago, M., Yadav, A., Gupta, R., and Garg, V.K., 2021. Management of banana crop waste biomass using vermicomposting technology. *Bioresource Technology*, 326, doi: doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124742.
 23. Negi, R., and Suthar, S., 2013. Vermistabilization of paper mill wastewater sludge using *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology*, 128 (9), 193-198.
 24. Nelson, D.W., and Sommers, L.E., 1996. Total carbon and organic carbon and organic matter. In: Miller RH, Keeney DR (ed) *Method of Soil Analysis*. Wilcosin. USA.
 25. Patra, R. K., Behera, D., Mohapatra, K. K., Sethi, D., Mandal, M., Patra, A. K., and Ravindran, B., 2022. Juxtaposing the quality of compost and vermicompost produced from organic wastes amended with cow dung. *Environmental Resource*, 24, doi: 10.1016/j.envres.2022.114119.
 26. Rini, J, Deepthi, M.P., Saminathan, K., Narendhirakannan, R.T., Karmegam, N., and Kathireswari, P., 2020. Nutrient recovery and vermicompost production from livestock solid wastes with epigeic earthworms. *Bioresource Technology*, 313, doi: 10.1016/j.biortech.2020.123690.
 27. Rostami R., 2011. Vermicomposting. *Journal of Integrate and WasteManagement*, 2, pp.132-145. doi: 10.5772/16449.
 28. Rupani, P.F., Embrandiri, A., Ibrahim, M.H., Shahadat, M., Hansen, S.B., Ismail, S.A., and Kadir, M.O.A., 2017. Recycling of palm oil industrial wastes using vermicomposting technology: its kinetics study and environmental application. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), 12982-12990. doi: 10.1007/s11356-017-8938-0.
 29. Sonmezdag, A.S., Kelebek, H., and Selli, S., 2017. Characterization and comparative evaluation of volatile, phenolic and antioxidant properties of pistachio (*Pistacia vera* L.) hull. *Journal of Essential Oil Research*, 24(29), 262-270. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.086.
 30. Tajbakhsh, J., Abdoli, M.A., Mohammadi, E., Goltapeh, I., Alahdadi, A., and Malakouti, M.J., 2008. Trend of physico-chemical properties change in recycling spent mushroom compost through vermicomposting by epigeic earthworms *Eisenia foetida* and *E. andrei*. *Journal of agricultural technology*, 4(2), 185-198.
 31. Yang, Zh., Wang, X.J., Cao, Y.E., Dong, Q., Yun Tong, J., He Mo, M., 2023. Vermicomposting of *Pleurotus eryngii* spent mushroom substrates and the possible mechanisms of vermicompost suppressing nematode disease caused by *Meloidogyne incognita*. *Heliyon*, Available on lion. E15111.