



The Evaluation of the Effect of Solid Vermicompost, Vermicompost Extract, and Seaweed on some Physio-Morphological Characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

F. Rigi¹, M. Dahmardeh^{1*}, M. R. Asgharipour¹, M. Heidari Majd² and A. R. Sirosmehr¹

1- Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

2- Department of Medicinal Chemistry, Faculty of Pharmacy, Zabol University of Medical Sciences, Zabol, Iran

(*- Corresponding author's Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

Received: 15-12-2025
Revised: 11-03-2026
Accepted: 14-03-2026
Available Online: 04-04-2026

How to cite this article:

Rigi, F., Dahmardeh, M., Asgharipour, M. R., Heidari Majd, M., & Sirosmehr, A. R. (2026). The evaluation of the effect of solid vermicompost, vermicompost extract, and seaweed on some physio-morphological characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*, 18(1), 81-100. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96982.1263>

Introduction

Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), a medicinal plant belonging to the Malvaceae family, is highly valued for its food and medicinal products and ornamental uses (Richardson & Arlotta, 2021). The sustainability of medicinal plants largely depends on the efficient utilization of energy through environmentally friendly inputs (Bakhshi et al., 2025). In agricultural systems, soil and water are the two primary factors influencing crop growth and yield (Abebe et al., 2022). The application of eco-friendly inputs derived from natural and organic sources can enhance plant growth and promote environmental sustainability more effectively than synthetic chemical fertilizers (Przemieniecki et al., 2021). Vermicompost and seaweed extracts improve soil physicochemical properties, increase nutrient uptake, and enhance yield and growth characteristics (Narimani et al., 2018). Therefore, the present study was conducted for the first time under the climatic conditions of Taftan County, Sistan and Baluchestan Province, Iran, with the aim of achieving maximum yield in organic roselle production.

Materials and Methods

A Split -plot-factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was carried out in Taftan city, Sistan and Baluchestan Province, during the 2022 growing season. The main plot factor consisted of solid vermicompost at two levels (0 and 10 t.ha⁻¹). Sub-plot treatments included factorial combinations of vermicompost extract foliar application at three levels (0.5, 1, and 1.5 ml.L⁻¹) and seaweed extract foliar application at three levels (1.5, 3, and 4.5 ml.L⁻¹). Foliar sprays of both vermicompost and seaweed extracts were applied at three growth stages: four leaves, stem elongation, and flowering

Results and Discussion

Analysis of variance revealed that the application of solid vermicompost, vermicompost extract and seaweed extract significantly affected all measured morphophysiological traits. Moreover, the three-way interaction among



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

solid vermicompost, vermicompost extract, and seaweed extract was significant for all traits. Mean comparisons indicated that the highest plant height values for stem diameter, number of lateral branches, number of fruits per plant, carbohydrate content, anthocyanin content, economic yield, and biomass yield were obtained with the application of solid vermicompost at 10 t ha⁻¹. The maximum biomass yield (27604.2 kg.ha⁻¹) was obtained, which was 47.45% higher than the control. The maximum sepal yield (2629.1 kg.ha⁻¹) was obtained, which was 33.12% higher than the control. The maximum anthocyanin content (3.79 mg.g⁻¹) obtained, which was 35.8% higher than the control. All mentioned criteria were recorded when vermicompost extract 1.5 ml L⁻¹ was combined with seaweed extract 4.5 ml L⁻¹. These findings suggest that organic fertilizers not only increase crop yield but also enhance the accumulation of secondary metabolites in roselle, thereby improving its medicinal value. The adoption of organic fertilizers plays a crucial role in reducing environmental pollution and supporting the goals of sustainable agriculture.

Conclusion

The growing medium is one of the most important factors influencing plant growth and quality of biological inputs through their ecological functions (Light, temperature, and nutrient availability), reducing the long-term vulnerability of agricultural ecosystems. Organic farming has therefore always attracted the attention of farmers. Overall, the results of this study demonstrate that organic fertilizers reduce production costs, improve both the quantity and quality of plant products, and contribute to long-term soil health, biodiversity conservation, and the establishment of sustainable agricultural systems. The greatest quantitative yield and secondary metabolite content were achieved with the application of 10 t ha⁻¹ of solid vermicomposting, combined with foliar sprays of vermicompost extract 1.5 ml.L⁻¹ and seaweed extract 4.5 ml.L⁻¹. These results confirm that the combined use of solid vermicompost and foliar application of vermicompost and seaweed extracts has a positive effect on growth and morphophysiological traits of roselle.

Keywords: Anthocyanin, Carbohydrate, Ecological agriculture, Harvest index

مقاله پژوهشی

جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۸۱-۱۰۰

ارزیابی تأثیر ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی بر برخی صفات فیزیوریکت‌شناسی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)

فرزانه ریگی^۱، مهدی دهمرده^{۱*}، محمد رضا اصغری پور^۱، مصطفی حیدری مجد^۲ و علیرضا سیروس مهر^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۳

چکیده:

به منظور ارزیابی تأثیر ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و عصاره جلبک دریایی بر برخی صفات کمی و کیفی گیاه چای ترش، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان تفتان، استان سیستان و بلوچستان در سال زراعی ۱۴۰۱ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ورمی کمپوست جامد در دو سطح صفر و ۱۰ تن در هکتار به عنوان عامل اصلی و محلول پاشی عصاره ورمی کمپوست در سه سطح ۱/۵، ۱ و ۴/۵ میلی لیتر بر لیتر و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی در سه سطح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میلی لیتر بر لیتر به صورت فاکتوریل به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست جامد، محلول پاشی سطوح عصاره ورمی کمپوست و عصاره جلبک دریایی برای تمام صفات فیزیوریکت‌شناسی مورد اندازه‌گیری معنی‌دار بود. اثر متقابل کاربرد ورمی کمپوست جامد، محلول پاشی سطوح عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی بر تمام صفات معنی‌دار شد. بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، تعداد غوزه در بوته، کربوهیدرات، آنتوسیانین، عملکرد اقتصادی و عملکرد زیست‌توده در کاربرد کود ورمی کمپوست جامد در سطح ۱۰ تن در هکتار به دست آمد. بیشترین عملکرد زیست‌توده، ۲۷۶۰۴/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش ۴۷/۴۵ درصدی نسبت به شاهد بود و علاوه بر این بیشترین میزان آنتوسیانین ۳/۷۹ میلی گرم به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش ۳۵/۸ درصدی نسبت به شاهد بود و از کاربرد عصاره ورمی کمپوست در سطح ۱/۵ میلی لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح ۴/۵ میلی لیتر حاصل شد، کاربرد کودهای اکولوژیک، ضمن افزایش عملکرد محصول، متابولیت‌های ثانویه چای ترش را نیز در راستای افزایش خاصیت دارویی آن بالا می‌برند؛ از این رو در جهت کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و نیل به اهداف کشاورزی پایدار، کاربرد کودهای ارگانیک حائز اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، شاخص برداشت، کربوهیدرات، کشاورزی اکولوژیک

مقدمه

تولید ارگانیک جهت پایداری نظام‌های کشاورزی هستند که جهت نیل به این هدف، اصلاح روش‌های سنتی و توسعه تولیدات ارگانیک که منجر به استفاده بهینه از منابع زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری می‌شود، امری مهم به نظر می‌رسد (Delangizan et al., 2022). گیاه چای ترش متعلق به خانواده ختمی است که از ارزش اقتصادی

تولید پایدار گیاهان دارویی به مقدار زیادی به مصرف کارآمدتر انرژی در قالب نهاده‌ها وابسته است (Bakhshi et al., 2025). با گسترش روش‌های متعارف تولید محصولات کشاورزی، محققان برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی در صدد ارزیابی روش‌های

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه شیمی دارویی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی زابل، زابل، ایران

(* - نویسنده مسئول: Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96982.1263>

مختلفی برای تولید عصاره ورمی‌کمپوست وجود دارد، در همه روش‌ها در طول عصاره‌گیری، مواد مغذی معدنی محلول، ریزجاندانان مفید، هیومیک اسیدها و فولویک اسیدها، هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از ورمی‌کمپوست وارد عصاره می‌شود، احتمالاً این مواد عامل مهمی برای رشد و جوانه‌زنی بهتر گیاهان هستند (Alizadeh et al., 2018). در پژوهشی که روی گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudiana* L.) انجام شد، نتایج نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست بر ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن خشک گل، سطح برگ، و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه اثر مثبت دارد (Valinejad et al., 2019). نامتعادل بودن نسبت عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک موجب غیرقابل استفاده شدن اکثر عناصر توسط گیاه می‌شود؛ چرا که همواره برخی عناصر غذایی، خاصیت رقابتی در جذب دارند (Xiong et al., 2018). از سوی دیگر، براساس قانون حداقل لیبیگ، باردهی گیاه توسط کمبود حتی یک عنصر غذایی محدود می‌شود، بدین معنی که اگر تمام عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در دسترس باشد و تنها یکی از عناصر قابلیت جذب نداشته باشد، رشد گیاه محدود خواهد شد، در دوره‌های بحرانی رشد گیاه همچون گل‌دهی و رشد میوه، در اثر رقابت در جذب کربوهیدرات‌ها بین اندام‌های زایشی و ریشه، از فعالیت ریشه کاسته می‌شود و در نهایت جذب عناصر غذایی کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی، تنها راه حل برای تأمین نیاز غذایی گیاه محلول‌پاشی است (Rezaei et al., 2024). عصاره جلبک دریایی از جمله محصولات ارگانیک است که به‌علت محرک رشد و سایر اثرات مفید بر گیاهان به طور گسترده‌ای به‌عنوان یک محرک زیستی در محصولات کشاورزی استفاده می‌شود (Ali et al., 2021). به‌دلیل وجود هورمون‌های رشد سیتوکینین، اکسین و ایندول بوتیریک اسید، عناصر غذایی مانند آهن، مس، روی، کبالت، مولیبدن، منگنز، نیکل، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه، اثرات مفیدی روی گیاهان دارد (Tursun, 2022). استفاده از عصاره جلبک دریایی باعث تحریک رشد ریشه، تأخیر در پیری و بهبود مقاومت در برابر تنش‌های محیطی می‌شود؛ ازاین‌رو عصاره جلبک باعث افزایش رشد و بهره‌وری گیاهان می‌شود (Vojodi Mehrabani et al., 2024). عصاره جلبک دریایی را می‌توان روی خاک و یا روی گیاهان به‌عنوان محلول‌پاشی استفاده کرد. آن‌ها روی حفظ و اصلاح خاک تأثیر مثبتی دارند، می‌توانند منبع مواد مغذی باشند و اثرات هورمونی از خود نشان دهند و کاربرد آن سبب افزایش رشد گیاه، تعداد برگ، تحریک رشد ریشه، تسریع زمان گل‌دهی،

بالایی به‌عنوان نوعی محصول غذایی و دارویی برخوردار بوده و به‌عنوان یک گیاه زینتی و مصرفی کاربردهای متنوعی دارد (Richardson & Arlotta, 2021). بخش اقتصادی گیاه، کاسبرگ گوشتی است که میوه (کپسول) را احاطه کرده است (Hasani Nasab et al., 2025). در نظام‌های کشاورزی، آب و کود دو عامل اساسی و تعیین‌کننده هستند که رشد و عملکرد محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. استفاده از کودهای شیمیایی به‌عنوان راهی سریع برای تأمین عناصر غذایی و بهبود خاک به نظر می‌رسد؛ بااین‌حال، هزینه‌های بالای کودهای شیمیایی در مقدارهای پیشنهادی و آلودگی خاک و آب ناشی از مواد شیمیایی، تقاضای بیشتری برای استفاده از کودهای آلی ایجاد کرده است (Abebe et al., 2022). استفاده از کودهای آلی برای تولید محصولات کشاورزی علاوه بر کاهش آلودگی و بهبود کیفیت محیط زیست می‌تواند در ارتقای حاصلخیزی خاک مؤثر باشد (Vojodi Mehrabani, 2020). ازاین‌رو استفاده از نهاده‌های سازگار با محیط زیست از منابع طبیعی و ارگانیک می‌تواند موجب تحریک رشد گیاه و در ادامه باعث پایداری زیست‌محیطی شود که بسیار کارآمدتر از کودهای شیمیایی است (Przemieniecki et al., 2021). ورمی‌کمپوست نوعی کمپوست است که کرم طی یک فرآیند غیرحرارتی تولید می‌شود (Rusanescu et al., 2022). این کود به‌دلیل نوع زیستی وسیع میکروبی و فعال نسبت به سایر کمپوست‌های تولیدشده در فرآیند حرارتی، به‌عنوان پالاینده و اصلاح‌کننده مهم خاک استفاده می‌شود (Rajaei et al., 2022). ورمی‌کمپوست دارای ریزجاندانان هوازی مفید مانند ازتوباکترها بوده و عاری از انواع قارچ‌ها، باکتری‌های غیرهوازی و ریزجاندانان بیماری‌زا می‌باشد (Kováčik et al., 2022). همچنین ورمی‌کمپوست حاوی هومات می‌باشد که از مدفوع کرم خاکی در حال تجزیه شدن ایجاد می‌شود، این مواد دارای اثراتی مشابه هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد هستند، مواد هومیکی و مواد آلی موجود در ورمی‌کمپوست رشد گیاه را بسیار بهتر از تغذیه گیاه با کودهای معدنی تحریک می‌کنند (Mohkami et al., 2023). بالا بودن میزان عناصر غذایی نظیر پتاسیم، فسفر، ازت، منیزیم و کلسیم در مقایسه با سایر کودهای ارگانیک و همچنین وجود عناصر میکرو مانند مس، منگنز، آهن و روی از دیگر مزیت‌های ورمی‌واش است (Blouin et al., 2019). عصاره ورمی‌کمپوست دارای ویژگی‌های میکروبی و شیمیایی سودمند، ورمی‌کمپوست جامد است، روش‌های

افزایش تشکیل میوه، تأخیر پیری برگ و افزایش عملکرد کمی و کیفی میوه گیاه می‌شود (Mukherjee & Patel, 2020). با شروع تغییرات آب‌وهوایی، مقاومت در برابر آفت‌کش‌ها و رشد بیش از حد جمعیت، نیاز به شیوه‌های نوآورانه کشاورزی زیستی بیش از هر زمان دیگری ضروری است. (Masri et al., 2023) اصطلاح محرک‌های زیستی به موادی با منشأ بیولوژیکی یا ریزجاندارانی اطلاق می‌شود که وقتی از طریق کاربرد خاکی، محلول‌پاشی یا ترکیبی از هر دو روی گیاهان اعمال می‌شوند، فرآیندهای طبیعی در گیاه را تحریک کرده و کارایی گیاه در استفاده از مواد مغذی را افزایش می‌دهند (Askari Dehno et al., 2025). استفاده از جلبک دریایی و ورمی کمپوست (به صورت کود یا محلول‌پاشی) علاوه بر تأمین عناصر غذایی گیاهان و افزایش کیفیت محصولات، هیچ‌گونه خطری برای مصرف‌کنندگان ندارند، درحالی‌که استفاده از نهاده‌های شیمیایی به‌مرور سبب آلودگی محیط زیست شده و اثرات سوئی بر مصرف‌کنندگان محصولات تولید شده به دنبال دارند. ورمی کمپوست و عصاره جلبک به‌عنوان کود زیستی از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه سبب افزایش عملکرد و بهبود صفات رشدی گیاهان می‌شوند (Narimani et al., 2018). از این‌رو این پژوهش برای اولین بار در شرایط اقلیمی شهرستان تفتان به‌منظور دستیابی به تولید محصول ارگانیک چای ترش با بیشترین عملکرد کمی و کیفی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شهرستان تفتان (بخش مرکزی، دهستان اسکل‌آباد، روستای گروک پایین) اجرا شد. موقعیت جغرافیایی محل اجرای آزمایش ۶۰ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی جغرافیایی و ۲۸ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا است، متوسط دمای شهرستان تفتان ۱۸ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دما ۳۶ درجه سانتی‌گراد، بارندگی سالانه ۱۵۰ میلی‌متر است. این شهرستان با توجه به ساختار طبیعی و اقلیمی متنوع، دارای دو پهنه اقلیمی کوهستانی-سرد و معتدل شمالی و پهنه اقلیمی گرم و خشک جنوبی می‌باشد، که محل اجرای آزمایش در پهنه اقلیمی معتدل شمالی قرار دارد (Alidoost Dehri et al., 2023) قبل از کاشت از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه نمونه خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنالیز خاک در جدول ۱،

آنالیز ورمی کمپوست (تهیه شده از پژوهشگاه زابل) در جدول ۲ و آنالیز عصاره جلبک دریایی با نام تجاری اگری پلکس AGRIPLEX (از شرکت توسعه و بهبود نهاده‌های کشاورزی پارس یزد تهیه شده است) در جدول ۳ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات - فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار در سه تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۱ انجام شد. تیمار ورمی کمپوست جامد در دو سطح ۰ و ۱۰ تن در هکتار در کرت‌های اصلی، تیمار عصاره ورمی کمپوست در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌لیتر بر لیتر و تیمار عصاره جلبک دریایی در سه سطح ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میلی‌لیتر بر لیتر در کرت‌های فرعی اعمال شد. تیمار ورمی کمپوست جامد در زمان قبل از کاشت به‌صورت خاکی مورد استفاده قرار گرفت. عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی در سه مرحله (شامل چهار برگ، ساقه‌رفتن و شروع گل‌دهی) به‌صورت محلول‌پاشی اعمال شد. آماده‌سازی زمین در اواخر بهمن ماه شامل عملیاتی از قبیل شخم و دیسک و در اسفندماه کرت‌بندی و پیاده‌سازی نقشه کاشت انجام گردید. ابعاد هر کرت ۳×۴ متر، کشت به‌صورت جوی و پشته با چهار خط کاشت چهار متری در هر کرت با فاصله بین ردیف ۸۰ و فاصله روی ردیف بوته‌ها ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت در ۱۰ فروردین به‌صورت دستی انجام گردید (بذرهای برای جوانه‌زنی سریع‌تر به‌مدت ۲۴ ساعت با آب خیسانده شدند)، عمق کاشت یک سانتی‌متر بود، پس از سبز شدن بذور عملیات واکاری انجام شد، در مرحله ۴-۶ برگ گیاه برای رسیدن به تراکم مناسب (سه بوته در مترمربع) عملیات تنک انجام شد، آبیاری براساس نیاز گیاه و رطوبت موجود در خاک مزرعه به صورت جوی و پشته در ابتدای مراحل جوانه‌زنی و سبز شدن هر پنج روز و بعد از شروع شاخه‌دهی جانبی هر ۱۵ روز یک بار انجام شد. در طول فصل رشد مزرعه با دقت رصد و وجین و مبارزه با آفات احتمالی انجام گرفت. به‌منظور تعیین عملکرد کاسبرگ، گیاهان با حذف اثر حاشیه برداشت و اندازه‌گیری صفات مورد نظر انجام گردید.

اندازه‌گیری صفات کمی

برخی صفات ریخت‌شناسی گیاه از قبیل ارتفاع بوته (از ناحیه طوقه تا انتهای ساقه اصلی توسط متر برحسب سانتی‌متر) تعداد شاخه جانبی، قطر ساقه (با کولیس برحسب میلی‌متر)، تعداد غوزه در بوته، عملکرد کاسبرگ (خشک شدن کاسبرگ‌ها در سایه (به‌مدت میانگین ۱۴ روز) و عملکرد زیست‌توده؛ با قرار دادن نمونه‌ها در آفتاب (میانگین

$$HI = EY/BY \times 100$$

(معادله ۱)

۴۰ روز) اندازه‌گیری شد و شاخص برداشت نیز براساس معادله ۱

محاسبه شد. که در آن، EY: عملکرد اقتصادی و BY: عملکرد زیست‌توده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک)

Table 1- Physical and chemical properties of soil (depth of 0-30 cm)

بافت Texture	کربن C (%)	آهن Fe (mg.kg ⁻¹)	سدیم Na (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن N (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	شاخص واکنش pH	ماده آلی Organic matter (%)
لوم - شنی Sandy loam	1.20	0.50	95.5	393	18.76	0.12	9.78	7.91	2.0688

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست

Table 2- Chemical properties of vermicompost

تیماژ Treatment	منیزیم Mg (%)	کلسیم Ca (%)	سدیم Na (%)	پتاسیم K (%)	کربن C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	منگنز Mn (mg.kg ⁻¹)	آهن Fe (mg.kg ⁻¹)	رطوبت Moisture (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)
ورمی کمپوست Vermicompost	2.5	3.9	35.1	1.83	21.2	2.1	1.5	274.22	4153	21.43	7.3	8.2

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی عصاره جلبک دریایی

Table 3- Chemical properties of Seaweed extract

تیماژ Treatment	ماده آلی Organic matter (%)	اسید آمینه آزاد Free amino acid (mg.kg ⁻¹)	سیتوکینین Cytokinin (mg.kg ⁻¹)	جبرلین Gibbereliin (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	گوگرد S (%)	روی Zn (mg.kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg.kg ⁻¹)	آهن Fe (mg.kg ⁻¹)
عصاره جلبک دریایی Seaweed extract	45	2	15	10	1.5	3.5	18.5	1.5	12	2	226

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b)

نمونه‌برداری از جوان‌ترین برگ بالغ توسعه‌یافته در اوایل شروع گل‌دهی انجام شد و غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1967) تعیین شد.

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) \times V / 100W \quad (۲)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) \times V / 100W \quad (۳)$$

که در آن، V: حجم محلول سانتریفیوژ شده، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر W: وزن نمونه برحسب گرم است.

آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین، ابتدا مقدار ۰/۱ گرم بافت تازه کاسبرگ در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و کلریدریک اسید خالص به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) به‌طور کامل ساییده شد و سپس در لوله‌های آزمایش که توسط فویل پوشیده شده

بودند به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند، سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب محلول بالایی در طول موج ۵۵۰ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر مدل Unico UV- 2100 قرائت گردید. غلظت با استفاده از ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول و معادله ۴ محاسبه شد (Wagner, 1979)

$$A = \epsilon bC$$

(معادله ۴)

که در آن، A: جذب، b: عرض کووت و C: غلظت محلول مورد نظر است.

کربوهیدرات

برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات، ابتدا مقدار ۰/۲ گرم بافت تازه کاسبرگ (برداشت در اواخر مهرماه، پایان رسیدگی فیزیولوژیک) وزن شد و به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد (یا پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد) در لوله‌های آزمایش درب بسته به مدت یک

کاربرد کودهای آلی و زیستی بر صفات ریخت شناسی و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) در شرایط تنش خشکی نتایج نشان داد که غلظت ۱۰ در صد حجمی عصاره ورمی کمپوست درصد جوانه زنی، طول ساقه چه و ریشه چه، کاروتنوئید، فعالیت آنزیم کاتالاز و فنل کل را افزایش داد (Rasouli & Norouzi Sharaf, 2019).

تعداد شاخه جانبی در بوته

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر سه گانه کاربرد ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی برای صفت تعداد شاخه جانبی معنی دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد شاخه جانبی گیاه ۸/۴ در بوته به دست آمد که نشان دهنده افزایش ۹/۱ درصدی نسبت به شاهد بود و با کاربرد ورمی کمپوست جامد و از تیمار عصاره ورمی کمپوست در سطح ۱/۵ میلی لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح ۴/۵ میلی لیتر بر لیتر به دست آمد (جدول ۷). یکی از اهداف اصلی مدیریت زراعی، به حداکثر رساندن دریافت نور توسط سایه انداز گیاه، از طریق افزایش سطح برگ و جذب نور است، نور نه تنها منبع اصلی انرژی برای فتوسنتز، بلکه راهنمای کلیدی تنظیم کننده رشد نیز به شمار می رود (Zhang et al., 2020). کودهای زیستی می توانند بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه از طریق افزایش سطح فعال برگ و جذب نور تأثیر داشته باشند (Mohsenzadeh et al., 2020). ورمی کمپوست با تأثیر قابل ملاحظه در تأمین و حفاظت از مواد غذایی خاک، می توانند در اثر فعالیت میکروبی ریز جانداران خاک، تغییر شکل یافته و باعث ارتقای کیفیت خاک شده و تولید محصول را از طریق بهبود جذب عناصر ماکرو و میکرو توسط ریشه گیاه افزایش دهد (Masri et al., 2023) از جمله مزایای کاربرد کودهای آلی در بستر کشت گیاه، افزایش ماده آلی خاک، افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک و افزایش انحلال و حفظ عناصر غذایی در برابر هدررفت می باشد (Pączka et al., 2021). با اعمال محلول پاشی عصاره جلبک دریایی در بخش هوایی اندام گیاه، هورمون جبرلین موجود در کود جلبک دریایی، تقسیم سلولی در جوانه های جانبی را تحریک کرده و منجر به افزایش شاخه زایی و گل دهی می شود. هم زمان، اسیدهای آمینه آزاد شده از کود، به عنوان پیش ساز سنتز پروتئین ها عمل کرده و فرآیندهای متابولیکی گیاه را تسریع می بخشد (Cotas et al., 2020).

ساعت در حمام بن ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن، یک میلی لیتر از نمونه ها برداشته شد و به آن یک میلی لیتر فنل ۰/۵ در صد و پنج سی سی اسید سولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید. میزان نور جذبی در طول موج ۴۸۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Unico UV-2100 قرائت و میزان کربوهیدرات براساس میلی گرم گلوکز در گرم وزن تر نمونه از روی منحنی استاندارد محاسبه شد (Clairmont et al., 1986). تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ صورت گرفت. مقایسه میانگین ها در سطح احتمال پنج درصد به وسیله آزمون چنددامنه ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه گانه کاربرد ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی برای صفت ارتفاع بوته معنی دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار برای ارتفاع بوته ۲۳۰/۶ سانتی متر به دست آمد که نشان دهنده افزایش ۲۴/۵ درصدی نسبت به شاهد بود و با کاربرد ورمی کمپوست جامد و از تیمار عصاره ورمی کمپوست در سطح ۱/۵ میلی لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح ۴/۵ میلی لیتر بر لیتر به دست آمد. (جدول ۷). مدیریت های به زراعی از جمله فراهمی عناصر غذایی در خاک از عوامل مهم تأثیر گذار بر رشد اندام های هوایی گیاه می باشند، کاربرد کودهای ارگانیک از جمله ورمی کمپوست و جلبک دریایی که حاوی عناصر ریز مغذی هستند، با بهبود دسترسی گیاه به مواد غذایی، می توانند فتوسنتز گیاهان را از طریق افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو افزایش دهند که علت آن می تواند در ارتباط با افزایش ترکیبات هیومیکی در خاک و تحریک رشد گیاه باشد (Salehi et al., 2022). وجود محرک های رشد در عصاره جلبک دریایی مانند سایتوکینین ها و مواد اکسینی سبب افزایش تقسیم و طول شدن سلولی و نمو برگ و رشد رویشی گیاه می شوند، از طرفی اعمال محلول پاشی عصاره جلبک و ورمی کمپوست در زمان های نیاز گیاه منجر به افزایش شاخص سطح برگ، طول میان گره، رشد رویشی و افزایش در تولید ماده خشک می شود و در نهایت پتانسیل گیاه برای تولید بوته های بزرگ تر با ارتفاع بیشتر افزایش می یابد (Ghasemi Maham et al., 2018). نتایج مطالعه ای بر روی اثر

جذب آب، نور و عناصر غذایی می‌توانند در افزایش شاخص‌های رشدی از قبیل قطر ساقه بسیار مؤثر باشند.

تعداد غوزه در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه کاربرد ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی بر صفت تعداد غوزه در بوته معنی‌دار (یک درصد) شد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد غوزه، ۲۶۲/۸ در بوته به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش ۳۵ درصدی نسبت به شاهد بود و با کاربرد ورمی کمپوست جامد (۱۰ تن در هکتار) همراه با محلول‌پاشی عصاره ورمی کمپوست در سطح (۱/۵ میلی‌لیتر بر لیتر) و عصاره جلبک دریایی در سطح (۴/۵ میلی‌لیتر بر لیتر) (جدول ۷). ورمی کمپوست به دلیل دارا بودن اسیدهای هیومیک در آن برای بسیاری از گیاهان مفید است، از جمله سودمندی آن می‌توان به افزایش جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه، توسعه رشد ریشه، بهبود جوانه‌زنی و افزایش رشد گیاه اشاره کرد (Rajaei et al., 2022). برای تولید در مرحله زایشی، گیاه نیاز به رشد رویشی مناسب و زمینه‌سازی تولید اندام‌های مختلف زایشی از جمله گل، دانه و میوه دارد، وجود عناصر غذایی کافی باعث افزایش جذب قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی شده و همین عامل باعث افزایش تعداد گلچه‌های بارور و عملکرد مؤثر می‌شود (Bourebaba et al., 2020). ورمی کمپوست به‌خاطر داشتن محتوای غذایی مفید، فعالیت میکروبی را تحریک می‌کند که این امر می‌تواند به جوانه‌زنی، ظهور گل‌ها و افزایش محصول بیشتر کمک کند (Salehi et al., 2022). عصاره جلبک دریایی به‌عنوان یک محرک زیستی به دلیل وجود هورمون‌های رشد سیتوکینین، اکسین و ایندول بوتیریک اسید، عناصر غذایی مانند آهن، مس، روی، مولیبدن، منگنز، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه (Tursun, 2022) باعث تحریک رشد ریشه، تسریع زمان گل‌دهی، افزایش تشکیل میوه می‌شود (Mukherjee & Patel, 2020). از طرفی، گیاهانی که از قطر ساقه بیشتری برخوردار هستند، قادر به تأمین تعداد واحد زایشی (غوزه) بیشتری بوده و ماده خشک بیشتری نیز به این واحدها تخصیص می‌دهند. مصرف هم‌زمان ورمی کمپوست جامد در خاک به همراه اعمال محلول‌پاشی عصاره ورمی کمپوست و عصاره جلبک دریایی بر اندام‌های هوایی گیاه، با هم‌افزایی برای دسترسی قرار دادن عناصر غذایی، علاوه بر نمو رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه منجر به

به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای بیولوژیک از جمله ورمی کمپوست جامد در بستر کشت گیاه هم‌زمان با اعمال محلول‌پاشی عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی در زمان‌های نیاز گیاه (چهار برگی، ساقه رفتن و ابتدای گل‌دهی) توانسته است با افزودن عناصر ریزمغذی به بستر کشت گیاه و افزایش حلالیت آن‌ها سبب افزایش جذب عناصر غذایی توسط ریشه شده که منجر به تحریک گیاه در جهت افزایش تولید شاخه‌های فرعی و افزایش عملکرد در گیاه شود (Moradi et al., 2018). بنابراین کودهای زیستی با بهبود شرایط فیزیکی سبب توسعه ریشه و افزایش فعالیت باکتری‌های محرک رشد می‌شوند و با بهبود دسترسی گیاه به عناصر غذایی، فتوسنتز افزایش می‌یابد که در نتیجه سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه خواهد شد.

قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر متقابل سه‌گانه کاربرد ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی بر صفت قطر ساقه معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار برای قطر ساقه بوته ۳۳/۷ میلی‌متر به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش ۱۳/۰۵ درصدی نسبت به شاهد بود و با کاربرد ورمی کمپوست جامد و از تیمار عصاره ورمی کمپوست در سطح ۱/۵ میلی‌لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح ۴/۵ میلی‌لیتر بر لیتر حاصل شد (جدول ۷). ورمی کمپوست حاوی بیشتر عناصر غذایی فراهم مانند نیتрат‌ها، فسفات‌ها، کلسیم قابل تبادل و پتاسیم محلول است (Rusanescu et al., 2022). به‌علاوه به دلیل محتوای نسبتاً بالای مواد معدنی در ورمی کمپوست، بخشی از فعالیت تقویت‌کننده رشد گیاهان به‌واسطه ورمی کمپوست و عصاره ورمی کمپوست، می‌تواند ناشی از اثر مثبت مواد مغذی فراوان آن بر رشد گیاه باشد (Karlsons et al., 2016). در آزمایشی بر روی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد ۱۰ میلی‌لیتر در لیتر کیتوزان و ۱۰ میلی‌لیتر در لیتر جلبک دریایی سبب تولید بیشترین قطر ساقه اصلی (۱/۶۷ برابر با شاهد)، وزن تر و خشک اندام هوایی (افزایش ۹۸ درصدی نسبت به شاهد) و عملکرد زیست‌توده (۷۵ درصد افزایش نسبت به شاهد) گردید (Rezaei et al., 2024). با کاربرد کود ورمی کمپوست جامد در بستر کشت گیاه، بوته‌ها از عوامل محیطی مثل آب، نور و عناصر غذایی به‌صورت کامل و مناسب‌تری بهره‌مند می‌شوند و بهبود شرایط تغذیه‌ای و افزایش

افزایش شاخص سطح برگ شده، از این رو نور بیشتری توسط برگ‌های گیاه دریافت می‌شود که با افزایش کربن‌گیری سبب افزایش فتوسنتز گردیده است و در نهایت منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود (Rafiei Demne et al., 2023).

عملکرد زیست‌توده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه کاربرد ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک $276.04/2$ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش $47/45$ درصدی نسبت به شاهد بود و با کاربرد ورمی کمپوست جامد و از تیمار عصاره ورمی کمپوست در سطح $(4/5)$ میلی‌لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح $(4/5)$ میلی‌لیتر بر لیتر (به دست آمد). (جدول ۷). بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک یکی از روش‌های افزایش تولید در واحد سطح است که امروزه بدین منظور از بقایای گیاهی، مواد پلیمری، کودهای آلی و سوپرجاذب‌ها اغلب استفاده می‌شود، کودهای آلی با بهبود ساختمان و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، تأمین مواد غذایی و حفظ رطوبت مورد نیاز گیاه در خاک به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (Askari Dehno et al., 2025). گیاه برای رسیدن به حداکثر رشد رویشی، جهت تولید مواد پرورده بیشتر، باید عناصر غذایی که در خاک وجود دارد را مصرف نماید، فرایندهای مرتبط با آسمیلاسیون و تولید فرآورده‌های مرتبط با آن در گیاه به شدت تحت تأثیر مقدار آب و عناصر در دسترس سلول قرار دارد و در شرایط فراهمی رطوبت و عناصر غذایی، افزایش نرخ آسمیلاسیون سلولی به‌طور مستقیم بر میزان تولید ماده خشک در سلول‌ها و وزن نهایی تولید شده تأثیرگذار است (Khazaei et al., 2020). کودهای آلی مانند ورمی کمپوست، بهبود قابل توجهی در شرایط رشد گیاهان ایجاد می‌کنند. این کودها با افزایش دسترسی رطوبت و عناصر غذایی قابل جذب و همچنین افزایش محتوای ماده آلی خاک، به ارتقای عملکرد گیاهان کمک می‌کنند، بهبود ساختار خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی نتیجه این فرایندها است، که در نهایت منجر به افزایش تولید محصولات زراعی می‌شوند (Abebe et al., 2022). بسیاری از پژوهشگران به نقش مثبت ریزوباکترهای محرک رشد موجود در ورمی کمپوست، بر افزایش عملکرد محصولات زراعی مختلف اشاره

کرده‌اند و آن را به ترشح هورمون‌های گیاهی، تولید و آزادسازی انواع اسیدهای آلی در خاک، تثبیت نیتروژن و در نهایت، برهم‌کنش مثبت بین آن‌ها و سایر ریزموجودات خاک نسبت داده‌اند (Rajaei et al., 2022). فراهمی عناصر غذایی نظیر فسفر، آهن، مس، روی و منگنز سبب افزایش فتوسنتز، تحریک رشد زیاد و بهبود ماده خشک گیاهی می‌گردد، در آزمایشی که روی گیاه مرزه خوزستانی (Satureja khuzistanica Jamzad) انجام شد، نتایج نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک اندام‌های هوایی (460 گرم در مترمربع) و وزن خشک برگ ($195/33$ گرم در مترمربع) از تیمار $3/5$ لیتر در هکتار اسید هیومیک و غلظت 20 درصد عصاره ورمی کمپوست به دست آمد که نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد (Alizadeh et al., 2018). عصاره جلبک دریایی سبب تسریع گل‌دهی، افزایش تشکیل میوه و تولید میوه زودرس در برخی گیاهان می‌شود. افزایش عملکرد در اثر استفاده از عصاره جلبک دریایی به دلیل حضور هورمون سیتوکینین است؛ سیتوکینین در مرحله رشد رویشی سبب توزیع بهتر عناصر غذایی و در مرحله رشد زایشی سبب تحرک عناصر غذایی می‌شود (Ali et al., 2021).

عملکرد کاسبرگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه کاربرد ورمی کمپوست، عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی بر عملکرد کاسبرگ معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین عملکرد کاسبرگ، $2629/17$ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش $33/12$ درصدی نسبت به شاهد بود و با کاربرد ورمی کمپوست جامد و از تیمار عصاره ورمی کمپوست در سطح $1/5$ میلی‌لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح $4/5$ میلی‌لیتر بر لیتر حاصل شد (جدول ۷). جذب و دریافت نور تا حد زیادی به سرعت گسترش برگ‌ها بستگی دارد. سطح برگ یکی از شاخص‌های مهم تأثیرگذار در رشد و فتوسنتز گیاه می‌باشد که نقش مهمی در عملکرد اقتصادی و بیولوژیک گیاه دارد (Rafiei Demne et al., 2023). فراهمی برخی عناصر غذایی برای گیاه منجر به افزایش سطح فعال برگ، افزایش استفاده از تابش خورشیدی و در نتیجه افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و بهبود فتوسنتز می‌شود که به موجب آن افزایش عملکرد گیاه اتفاق می‌افتد. کودهای آلی با اصلاح شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک موجب توسعه ریشه و افزایش فعالیت

باکتری‌های محرک رشد می‌شوند. در نتیجه، دسترسی گیاه به جذب و انتقال عناصر غذایی افزایش می‌یابد. عرضه مداوم عناصر معدنی نیز باعث افزایش رشد، میوه‌دهی و افزایش کیفیت محصول می‌گردد (Hasani Nasab et al., 2025). یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاه در اثر کاربرد کود آلی مانند ورمی‌کمپوست مربوط به افزایش شاخص سطح برگ و تأخیر در پیری برگ می‌باشد، زیرا که با تداوم فتوسنتز به بقای گیاه کمک می‌کند. در تحقیق انجام‌شده در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* L.) ورمی‌کمپوست به همراه بیوجار موجب افزایش ارتفاع، عملکرد و وزن هزار دانه گیاه شد (Mohkami et al., 2023). از آنجایی که در گیاهان رشد نامحدود، ریشه توانایی بیشتری برای جذب مواد غذایی در زمان گل‌دهی دارد، کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست جامد، عصاره ورمی‌کمپوست و جلبک دریایی در مراحل حساس رشد گیاه از جمله گل‌دهی، اثر محرک قابل توجهی بر افزایش عملکرد اقتصادی کاسبرگ نشان داد. در پژوهشی که روی گیاه شاهسپر (*Tanacetum balsamit* L.) انجام شد، نتایج نشان داد که کاربرد کود بیوجار در بستر کشت گیاه به همراه محلول‌پاشی عصاره جلبک، وزن خشک گیاه، سطح برگ، محتوای فنل، فلاونوئید و محتوای آسانس گیاه را تحت تأثیر قرار داد. بیشترین وزن خشک گیاه، سطح برگ، محتوای فنل، فلاونوئید در تیمار کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوجار همراه با محلول‌پاشی دو و چهار میلی‌لیتر بر لیتر عصاره جلبک به دست آمد (Vojodi Mehrabani et al., 2024). به عبارت دیگر، دلیل تأثیر مصرف کود زیستی بر افزایش عملکرد به‌واسطه فراهم نمودن عناصر غذایی برای تک بوته‌ها و کاهش رقابت بین بوته‌ها است که در ادامه افزایش عملکرد در واحد سطح حاصل می‌شود.

شاخص برداشت

اثر متقابل کاربرد ورمی‌کمپوست جامد، عصاره ورمی‌کمپوست و جلبک دریایی برای شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین شاخص برداشت (۱۸/۳۳ درصد در بوته) از تیمار عصاره ورمی‌کمپوست در سطح ۱/۵ میلی‌لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح ۴/۵ میلی‌لیتر بر لیتر در زمین کشت گیاه چای ترش که ورمی‌کمپوست جامد دریافت نکرده بود، به دست آمد (جدول ۷). از آنجایی که کودهای شیمیایی با به هم زدن ساختمان خاک و افزودن آلاینده‌ها به خاک همراه هستند؛ از این‌رو استفاده از

کودهای زیستی به صورت خاکی (سرک) و یا محلول‌پاشی ضروری است. کودهای زیستی با تأمین مواد مغذی قابل جذب برای گیاهان، زیست‌توده‌گیاه را بهبود می‌بخشند (Liu et al., 2021). افزایش عملکرد گیاه، در اثر استفاده از عصاره جلبک دریایی احتمالاً به دلیل حضور هورمون‌های رشد مانند سایتوکینین در آن‌ها است. سایتوکینین در مرحله رشد رویشی سبب توزیع بهتر عناصر غذایی و در مرحله زایشی سبب تحرک عناصر غذایی می‌شود، پژوهش‌ها نشان داده است که جلبک‌های دریایی حاوی ۱۸ تا ۱۹ اسیدآمین هستند که اثرات ترکیبی آن‌ها سبب بهبود عملکرد و جذب عناصر غذایی می‌شود، این اثرات در کارلا سبب افزایش تعداد میوه، وزن تر و خشک گیاه شد (Amini Fard & Khandan, 2019). اعمال محلول‌پاشی جلبک دریایی باعث بهبود رشد اندام‌های هوایی و افزایش تولید ماده خشک در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) شد، که این امر را می‌توان به افزایش توان تولید گیاه از طریق توسعه رشد ریشه، افزایش میزان فتوسنتز، افزایش شاخص سطح برگ، جذب و انتقال عناصر غذایی مانند پتاسیم و فسفر و همچنین افزایش فراهمی عناصر کم مصرف و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سایتوکینین و اسید آسبازیک نسبت داد (Esmailpour et al., 2020). بنابراین در سال‌های اخیر، کودهای آلی همانند عصاره ورمی‌کمپوست و جلبک دریایی با توجه به تأمین کامل عناصر غذایی برای رشد گیاه، فتوسنتز و متابولیسم گیاه را تقویت کرده و تولید شیره پرورده را افزایش می‌دهند. این امر در نهایت به رشد بیشتر، بهره‌وری بالاتر و زیست‌توده گیاه منجر می‌شود و در نهایت به افزایش شاخص برداشت منجر می‌شوند.

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل (a و b)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه کاربرد ورمی‌کمپوست، عصاره ورمی‌کمپوست و جلبک دریایی بر محتوای کلروفیل a و کلروفیل b برگ معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین غلظت کلروفیل a (۲۰/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش ۵۳/۶۷ درصدی نسبت به شاهد بود و بیشترین غلظت کلروفیل b (۳/۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در برگ به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش ۲۹/۸۴ درصدی نسبت به شاهد بود و با کاربرد ورمی‌کمپوست جامد (۱۰ تن در هکتار) همراه با محلول‌پاشی عصاره ورمی‌کمپوست در سطح ۱/۵ میلی‌لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح ۴/۵ میلی‌لیتر بر لیتر

محلول پاشی) افزایش نشان دادند (Saedi et al., 2022).

محتوای آنتوسیانین

اثر متقابل سه گانه کاربرد ورمی کمپوست، عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی بر محتوای آنتوسیانین کاسبرگ معنی دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین کاسبرگ گیاه (۳/۷۹ میلی گرم در گرم) با کاربرد ورمی کمپوست جامد و از تیمار عصاره ورمی کمپوست در سطح ۱/۵ میلی لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح ۴/۵ میلی لیتر بر لیتر به دست آمد که نشان دهنده افزایش ۳۵/۸ درصدی نسبت به شاهد بود (جدول ۷). ظهور بسیاری از متابولیت‌های ثانویه گیاه به آسانی به وسیله عوامل خارجی از قبیل سطوح مواد غذایی، نور، تنش‌ها و تنظیم کننده‌های رشد تغییر می‌کند (Bakhshi et al., 2025). شدت نور و دما دو عامل محیطی مهم برای توسعه رنگدانه‌های قرمز مانند آنتوسیانین هستند (Norhayati, et al., 2019). ورمی کمپوست سرشار از عناصر بوده و دسترسی به مواد مغذی برای گیاهان را افزایش می‌دهد که به نوبه خود فعالیت فتوسنتزی بالاتری را به همراه دارد و این امر به افزایش مقادیر آنتوسیانین و فلاونول‌های کل در گیاه منجر می‌شود (Kalhor Monfared et al., 2022). عصاره جلبک‌ها محرک زیستی هستند، زیرا وقتی روی گیاه محلول پاشی می‌شوند، واکنش‌های دفاعی و رشد را تحریک می‌کنند، و علاوه بر افزایش تحمل به تنش منجر به جذب مواد مغذی، بهبود رشد و عملکرد می‌گردد (Kapur et al., 2018). نتایج آزمایش روی گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) نشان داد که کاربرد جلبک دریایی با فراهمی عناصر غذایی برای گیاه باعث افزایش سنتز متابولیت ثانویه فنول شد (Mansori et al., 2022). کاربرد ورمی کمپوست در محیط ریشه موجب افزایش دما و فعالیت ریزجانداران مفید خاک شده و از طرفی، محلول پاشی عصاره ورمی کمپوست و عصاره جلبک دریایی بر اندام هوایی گیاه موجب افزایش شاخص سطح برگ، دریافت نور بیشتر، تولید کربن بیشتر و افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه از جمله آنتوسیانین کاسبرگ چای ترش گردید. استفاده از کودهای آلی باعث بهبود محتوای آنتوسیانین در چای ترش شد، این امر نشان دهنده این است که کودهای آلی از طریق فراهمی عناصر غذایی به خصوص ریزمغذی‌ها باعث بهبود خصوصیات ریخت‌شناسی گیاه می‌شوند و از سوی دیگر، سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاه را افزایش می‌دهند.

به دست آمد (جدول). تغذیه گیاهی نقش مهمی در رشد، نمو و مسیرهای بیوشیمیایی گیاه دارد، بهبود وضعیت تغذیه گیاه و حفظ رطوبت کافی در خاک با افزایش محتوای کلروفیل و بهبود فتوسنتز گیاه منجر به افزایش سطح برگ و مانع پیری زودرس برگ می‌شود (Mumivand et al., 2023). هرچه شرایط تغذیه‌ای و محیطی از جمله فراهمی عناصر غذایی، دریافت نور و حفظ رطوبت برای رشد گیاه مهیا باشد، توان گیاه جهت تولید کلروفیل و تثبیت CO₂ بیشتر می‌شود (Fletcher et al., 2017). سطح برگ یکی از شاخص‌های مهم رشد است که از آن به عنوان معیار اندازه‌گیری سیستم فتوسنتزی استفاده می‌کنند، فتوسنتز و تعادل بیوشیمیایی گیاه و دریافت تحرکات محیطی و تا حدی ذخیره مواد غذایی در حیطه وظایف رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه است (Gharne, 2019). از آنجایی که ورمی کمپوست حاوی هورمون‌ها می‌باشد، این مواد دارای اثراتی مشابه هورمون‌ها و تنظیم کننده‌ها هستند، مواد هومیکی و مواد آلی موجود در ورمی کمپوست، رشد گیاه را به دلیل عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به گیاه بسیار بهتر از تغذیه گیاه با کودهای معدنی تحریک می‌کنند (Blouin et al., 2019). کاربرد ورمی کمپوست جامد در خاک باعث افزایش فعالیت ریزجانداران که در اطراف ریشه مستقر شده‌اند، می‌شود و گیاه را در جذب عناصر یاری می‌کند و بر میزان جذب عناصر میکرو (از جمله منگنز، منیزیم و آهن) که در ساخت کلروفیل نقش مهمی ایفا می‌کنند، می‌افزاید. از طرفی، جذب نیتروژن توسط ریشه‌ها گیاه باعث افزایش رشد رویشی و تولید بیشتر برگ و در ادامه منجر به افزایش سطح جذب نوری، سطح فتوسنتز، تولید مواد هیدروکربنی در برگ و افزایش محتوای کلروفیل a و b برگ می‌شود (Moradi et al., 2018). جلبک‌های دریایی حاوی سیتوکینین هستند، که در معرض نور منجر به تحریک کلروپلاست و افزایش تولید کلروفیل می‌شود و همچنین دارای عنصر منیزیم هستند، منیزیم به دلیل شرکت در ساختار کلروفیل نقش مهمی در افزایش تولید آن دارد. در آزمایشی که روی دو ژنوتیپ گیاه خیار آب پران (*Ecballium elaterium* L.) انجام شد، نتایج نشان داد که اعمال محلول پاشی عصاره جلبک دریایی قرمز منجر به افزایش کلروفیل کل برگ به ترتیب روی ژنوتیپ اسپانیایی (۲۶/۱۵ میلی گرم برگ گرم وزن تر) و ژنوتیپ ایرانی (۲۵ میلی گرم برگ گرم وزن تر) به دست آمد که هر کدام ۱۹۸/۷ و ۱۷۴/۴ درصد نسبت به شاهد (بدون

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) بر برخی صفات ریخت‌شناسی گیاه چای ترش تأثیر ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و عصاره جلبک
Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for some morphological characteristic of roselle affected solid vermicompost, ermtcompost extract and seaweed extract

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع ساقه Stem height	شاخه جانبی Lateral branch	قطر ساقه Stem diameter	تعداد غوزه Number of bolls	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد اقتصادی Economic yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	۲	۱.۵۲ ^{ns}	0.77 ^{ns}	0.37 ^{ns}	36244.24 ^{ns}	6.00 ^{ns}	2.59 ^{ns}	49.31 ^{ns}
ورمی کمپوست جامد Solid vermicompost	۱	10894.24**	16.11**	198.68**	7145323.13**	2178.68**	88.55*	25754.60**
خطای اصلی Main error (a)	۲	5.40	0.10	0.78	24306.46	1.14	1.38	26.54
عصاره ورمی کمپوست Vermicompost extract	۲	4592.72**	25.88**	44.28**	127695.63**	1984.22**	61.50**	21903.50**
عصاره جلبک Seaweed extract	۲	1646.05**	10.74**	102.92**	3106668.96**	2402.91**	7.06*	22368.80**
عصاره ورمی کمپوست × ورمی کمپوست جامد Solid vermicompost × vermicompost extract	۲	428.57**	3.30**	3.50**	6298.96 ^{ns}	380.89**	16.42**	8171.30**
عصاره جلبک × ورمی کمپوست جامد Solid vermicompost × seaweed extract	۲	184.12**	0.74**	14.02**	861646.74 **	12.76 ^{ns}	47.17**	1913.72 **
عصاره ورمی کمپوست × عصاره جلبک Seaweed extract × vermicompost extract	۲	202.94**	0.32*	1.12*	142190.76 **	155.23**	10.23**	1070.15*
عصاره ورمی کمپوست × جلبک × ورمی کمپوست جامد Solid vermicompost × seaweed extract × vermicompost extract	۴	174.46**	0.53*	3.02**	195366.324**	65.62**	20.90**	896.36 *
خطا فرعی Sub error (b)	۳۲	17.39	0.13	0.29	6005.56	5.91	1.57	305.23
ضریب تغییرات C.V (%)	-	2.44	6.02	2.0	6.13	5.76	11.71	13.14

ns و **، * به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد، یک درصد و بدون اختلاف معنی دار می باشد.

*, ** and ns: significant at probability levels 1%, 5% and non significant, respectively.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه چای ترش تحت تأثیر ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و عصاره جلبک

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) for some physiological characteristic of roselle affected Solid vermicompost, ermicompost extract and seaweed extract

منبع تغییرات	df	Chlorophyll a	کلروفیل	Chlorophyll b	کلروفیل	Anthocyanin	آنتوسیانین	Carbohydrate	کربوهیدرات
S.O.V									
تکرار	۲	0.45*	0.0079 ^{ns}			0.00037 ^{ns}		0.014 ^{ns}	
ورمی کمپوست جامد									
Solid vermicompost	۱	254.05**	3.39*			0.5*		2530.61**	
خطای اصلی									
Main error (a)	۲	0.014	0.069			0.010		0.0051	
عصاره ورمی کمپوست									
Vermicompost extract	۲	164.054**	3.68**			0.28**		811.83**	
عصاره جلبک									
Seaweed extract	۲	90.37**	3.011**			0.63**		253.034**	
عصاره ورمی کمپوست × ورمی کمپوست جامد									
Solid vermicompost × vermicompost extract	۲	18.22**	0.65**			0.0078 ^{ns}		210.18**	
عصاره جلبک × ورمی کمپوست جامد									
Solid vermicompost × seaweed extract	۲	10.88**	0.53*			0.018 ^{ns}		51.42**	
عصاره ورمی کمپوست × عصاره جلبک									
Seaweed extract × vermicompost extract	۲	4.95**	0.24**			0.058**		2.81**	
عصاره ورمی کمپوست × جلبک × ورمی کمپوست جامد									
Solid vermicompost × seaweed extract × vermicompost extract	۴	10.14**	0.17**			0.038*		9.74**	
خطای فرعی									
Sub error (b)	۳۲	0.91	1.28			0.011		0.036	
ضریب تغییرات (درصد)									
C.V(%)	-	11.28	7.94			18.65		0.847	

*, **, * و ns: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد، یک درصد و بدون اختلاف معنی دار می باشند.
 *, **, * و ns: significant at probability levels 1%, 5% and non significant, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سطوح عصاره ورمی کمپوست × سطوح جلبک × ورمی کمپوست جامد بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه چای ترش

Table 6- Mean comparisons mutual effect vermicompost extract levels × seaweed levels × solid vermicompost for some morphophysiological characteristic of roselle

تیمار Treatment	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	شاخه جانبی Lateral branch	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد غوزه Number of boll	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد اقتصادی Economic yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)	کلروفیل Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg.g ⁻¹)	کربوهیدرات Carbohydrate (mg.g ⁻¹)
ورمی کمپوست جامد Solid vermicompost											
A	156.07b*	5.57b	25.21b	111.06b	9371.9b	1120.25b	11.99b	6.29b	2.26b	1.51b	15.58b
B	184.48a	6.67a	29.05a	154.74a	16950.2a	1517.24a	9.43a	10.62a	2.77a	2.11a	29.27a
LSD 5%	2.72	0.38	1.04	6.033	1902	39.12	1.380	0.1400	0.3088	0.381	0.8432
سطوح عصاره ورمی کمپوست Vermicompost extract levels											
O ₁	154.88 c	4.82 c	25.59 c	103.71c	12583.9 b	983.68 c	8.60b	5.25c	2.01c	1.40c	15.49c
O ₂	169.16 b	6.36 b	27.06 b	123.46 b	12728.6 b	1333.16 b	11.47a	8.88b	2.67b	1.83b	22.89b
O ₃	186.77 a	7.18 a	28.73 a	171.53 a	14170.7 a	1639.41a	12.06a	11.24a	2.87a	2.20a	28.89a
LSD 5%	2.83	0.25	0.36	11.86	548.1	51.61	0.85	0.64	0.13	0.22	0.12
سطوح جلبک Seaweed levels											
S ₁	160.278 c	5.33c	24.65c	100.38c	9736.7c	974.13c	10.15b	6.46c	2.19c	1.21c	19.01c
S ₂	171.222 b	6.15b	27.32b	127.96b	11721.6b	1287.85b	10.59ab	8.02b	2.39b	1.80b	21.82b
S ₃	179.33a	6.88a	29.42a	170.36a	18024.9a	1694.27a	11.39a	10.88a	2.97a	2.43a	26.44a
LSD 5%	2.83	0.25	0.36	11.86	548.1	51.61	0.85	0.64	0.13	0.22	0.12

* تفاوت حروف در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می باشد.

O: سطوح عصاره جلبک ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ میلی لیتر بر لیتر؛ S: سطوح عصاره ورمی کمپوست ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ میلی لیتر بر لیتر.

* The difference in the letters in column shows a significant difference based on the duncan test at 5%.

O: vermicompost extract levels 0.5, 1 and 1.5 ml.l⁻¹; S: seaweed levels 1.5, 3 and 4.5 ml.l⁻¹

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست جامد × عصاره ورمی کمپوست × جلبک دریایی بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه چای ترش
Table 7- Mean comparisons for interactive effects of solid vermicompost extract × seaweed extract on morphophysiological traits of roselle

ورمی کمپوست جامد Solid vermicompost	سطوح کود Fertilizer levels	ارتفاع ساقه Stem height (cm)	شاخه جانبی Lateral branch	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد غوزه Number of boll	بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد Economic yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)	کلروفیل Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg.g ⁻¹)	کربوهیدرات Carbohydrate (mg.g ⁻¹)
A												
	1 (os)	134m	3.53i	19.35i	60.57i	6354.2k	673.96j	10.60def	2.80l	1.62g	0.71j	9.42q
	2	143.3l	4.06i	24.80h	99.67gh	7916.7j	881.25ih	11.13def	3.87kl	1.72g	0.83ij	11.83p
	3	149.3kl	3.83i	25.50h	129.30ef	11944.4gf	1259.38f	10.63def	6.02lhj	2.44edc	1.84df	15.07n
	2 (os)	153.3kj	5.63hg	22.0i	67.43i	8941.0ij	771.88ij	8.63ghf	4.72kj	8.63ghf	1.05hig	14.20
	2	162.0 hi	5.93fg	26.53g	86.53gh	8854.2ij	1022.92g	11.57dec	5.94ihj	2.16edf	1.73feg	15.81m
	3	161.3 hi	7.03dce	27.03feg	180.33cb	8541.7ij	1546.88d	12.12bcd	8.12feg	2.86bc	1.93dfec	17.77j
	1	158.6ij	5.90fg	24.60h	83.00ih	7847.2j	884.38ih	11.29dec	6.95ihg	2.48cd	1.31hfigj	16.54k
	2	168.6hfg	6.60e	27.80ed	122.10ef	9444.4ih	1283.33ef	13.61cd	8.84fed	2.72bc	1.73def	19.35i
B												
	3	174.0ef	7.66bc	29.30c	170.67cd	14503.5e	1758.33bc	18.33a	9.32ed	2.75bc	2.43dbc	20.16h
	1 (os)	164.3hig	5.06h	27.40feg	103.10gh	12291.7ef	900.00igh	7.37ghi	5.20ikj	1.89gf	1.43hfig	16.21l
	2	167.3hfg	5.56hg	26.96feg	111.67gh	16718.7d	1016.67gh	6.11i	6.21ihj	1.72g	1.74feg	17.93j
	3	171.0fg	6.86de	29.56c	118.00gfe	20277.8c	1170.83f	5.77i	7.38fhg	2.28de	1.85def	22.46g
	1	170.0fg	5.43hg	26.78fg	99.87gh	10694.4gh	1217.71f	11.39dec	8.75fed	2.68bc	1.84higj	24.28f
	2	178.66de	6.70e	29.60cd	145.53cd	14062.5e	1638.54cd	11.771dec	11.40c	2.78bc	2.53bc	28.19e
	3	189.66c	7.46bcd	31.43b	161.07cd	25277.8b	1801.04b	7.12 hi	10.37cd	3.59ba	2.56b	37.03c
	1	181.33d	6.46fe	27.76fed	188.33cb	12291.7f	1396.88e	11.64dec	14.34b	2.81bc	1.60hfg	33.38d
3 (os)	2	207.33b	8.03ab	29.23c	202.30b	13333.3ef	1884.38b	9.55ghf	11.85c	2.87b	2.36bcd	37.80b
	3	230.66a	8.43a	33.7a	262.83a	27604.2a	2629.17a	14.13b	20.12a	3.92a	3.79a	46.15a
	LSD5%	6.93	0.6142	0.903	29.06	1343	126.4	2.08	1.58	0.3331	0.56	0.3161

* تفاوت حروف در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می باشد.

O: سطوح عصاره جلبک ۱/۵ و ۳/۵ میلی لیتر بر لیتر؛ S: سطوح عصاره ورمی کمپوست ۱/۵ و ۳/۵ میلی لیتر بر لیتر.
* The difference in the letters in column shows a significant difference based on the duncan test at 5%.

O: vermicompost extract levels 0.5, 1 and 1.5 ml.l⁻¹; S: seaweed levels 1.5, 3 and 4.5 ml.l⁻¹

محتوای کربوهیدرات

اثر متقابل سه گانه کاربرد ورمی کمپوست جامد، عصاره ورمی کمپوست و جلبک دریایی بر محتوای کربوهیدرات کاسبرگ معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین میزان کربوهیدرات کاسبرگ (۴۶/۱۵ میلی گرم در گرم) با کاربرد ورمی کمپوست جامد و از تیمار عصاره ورمی کمپوست در سطح ۱/۵ میلی لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی در سطح ۴/۵ میلی لیتر بر لیتر به دست آمد که نشان‌دهنده افزایش ۵۶/۳ درصدی نسبت به شاهد بود. (جدول ۷). در گیاهان، انواع متفاوتی از متابولیت‌های آلی (اولیه و ثانویه) در نتیجه فرآیندهای متابولیکی تولید می‌شوند، از جمله متابولیت‌های اولیه گیاه مانند آمینواسیدها، نوکلئوتیدها، کربوهیدرات‌ها یا لیپیدهای غشایی ساده، که نقش‌های مشخصی در فتوسنتز، انتقال مواد محلول، جابه‌جایی مواد و آسمیلایسیون عناصر غذایی ایفا می‌کنند (Musavi & Razavizadeh, 2021). ترکیبات هیومیکی موجود در ورمی کمپوست، هم به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر گیاهان تأثیر می‌گذارند که اثرات غیرمستقیم روی حاصلخیزی خاک و افزایش جمعیت ریزجانداران مفید، بهبود ساختار خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و نیز افزایش ظرفیت بافری خاک می‌باشد (Masri et al., 2023). اما اثرات مستقیم آن‌ها مربوط به افزایش متابولیت‌های اولیه گیاه از جمله کربوهیدرات است که به‌عنوان منبع کربن منجر به افزایش فتوسنتز، افزایش تنفس، افزایش سنتز پروتئین‌ها و غیره می‌شود (Chen et al., 2018). این محرک‌های زیستی به دلیل داشتن عناصر غذایی مفید، فعال‌سازی هورمون‌های مؤثر در رشد، افزایش فتوسنتز، افزایش متابولیسم و بهبود جذب و انتقال مواد غذایی سبب افزایش رشد و تولید ترکیبات آلی گیاه خواهند شد (Rezaei et al., 2024). با بهبود شرایط تغذیه‌ای و افزایش جذب آب و عناصر غذایی فعالیت آنزیم رایبیسکو افزایش می‌یابد که منجر به افزایش سرعت فتوسنتز و افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شود. در آزمایشی که روی گیاه بنفشه آفریقایی (*Streptocarpus ionanthus*) انجام شد، نتایج نشان داد که در تیمار حاوی ۱۰ درصد ورمی کمپوست، قند

محلول به‌میزان ۱/۱۲ میلی گرم بر گرم از بافت برگ گیاه به دست آمد (Javanbakht et al 2022).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست جامد همراه با محلول‌پاشی عصاره ورمی کمپوست و عصاره جلبک دریایی تأثیر مثبت بر رشد و صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه چای ترش داشته است. افزایش در عملکرد کمی و محتوای متابولیت‌های ثانویه گیاه در اثر کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست جامد، همراه با محلول‌پاشی عصاره ورمی کمپوست به‌میزان ۱/۵ میلی لیتر بر لیتر و عصاره جلبک دریایی به‌میزان ۴/۵ میلی لیتر بر لیتر به دست آمد. در مجموع، نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که مصرف کودهای آلی، ضمن کاهش هزینه‌هایی تولید و بهبود کمیت و کیفیت محصولات گیاهی موجب حفظ سلامت خاک، تنوع زیستی و ایجاد سیستم کشاورزی پایدار در طولانی‌مدت می‌شود. از آنجایی که بستر کشت گیاه از عوامل مؤثر بر رشد و کیفیت محصول است، تولید ارگانیک گیاهان دارویی از طریق مدیریت تغذیه گیاه، نقش مهمی در کاهش آلودگی محیط زیست و حفظ حاصلخیزی خاک و تأمین سلامت انسان ایفا می‌کند. از این‌رو استفاده از نهاده‌های بیولوژیک از راهکارهای کاربردی است که می‌تواند تأثیر طولانی‌مدت بر حفظ و افزایش شاخص‌های کیفی خاک و در ادامه افزایش عملکرد و تولید محصول سالم در شرایط بهینه داشته باشد.

سپاسگزاری

از همکاری جهاد کشاورزی شهرستان تفتان و کشاورزان منطقه برای اجرای این پروژه پژوهشی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

References

1. Abebe, T. G., Tamtam, M. R., Abebe, A. A., Abtemariam, K. A., Shigut, T. G., Dejen, Y. A., & Haile, E. G. (2022). Growing use and impacts of chemical fertilizers and assessing alternative organic fertilizer sources in Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022(1), 4738416. <https://doi.org/10.1155/2022/4738416>

2. Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3), 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
3. Alidoost Dehri, P., Norouzi Ziveh, A. H., Fedayee Watan Sufiani, A., & Farhadi Bansuleh, M. (2023). Investigating the characteristics of Taftan volcano and its eruption stages. *International Conference on Management Research and Humanities*, 13(1), 12-18. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1773557>
4. Alizadeh, A., Najafi, F., Hadian, J., & Salehi, P. (2018). Effect of different levels of humic-acid and vermicompost extract on growth, yield, morphological and phytochemical properties of *Satureja khuzistanica* Jamzad. *Journal of Agroecology*, 10(1), 69-80. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jagv10i1.47161>
5. Amini Fard, M. H., & Khandan, S. (2019). The effect of different levels of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on the growth, yield, and biochemical characteristics of bitter squash (*Momordica charantia* L.). *Iranian Journal of Plant Environmental Physiology*, 13, 56-66. (In Persian). <https://doi.org/10.22048/jsat.2019.133954.1303>
6. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1), 112-121.
7. Askari Dehno, S., Hassanpour, F., Piri, H., & Khammari, E. (2025). The effect of brown seaweed extract on reducing the effects of water stress in sweet pepper. *Water and Irrigation Management*, 15(1), 147-164. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jwim.2025.384872.1188>
8. Bakhshi, D., Ostad Malekroody, R., & Majidian, M. (2025). Effects of vermicompost and cow manure on physiological characteristics of marigold (*Calendula officinalis* L.) in Rasht region. *Journal of Advanced Researches in Medicinal Plants*, 2(1), 37-48. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.30479/armp.2024.18777.1014>
9. Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4), 34. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
10. Bourebaba, L., Gilbert-López, B., Oukil, N., & Bedjou, F. (2020). Phytochemical composition of *Ecballium elaterium* extracts with antioxidant and anti-inflammatory activities: Comparison among leaves, flowers, and fruits extracts. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 3286-3300. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.11.004>
11. Chen, Q., Lu, X., Guo, X., Pan, Y., Yu, B., Tang, Z., & Guo, Q. (2018). Differential responses to Cd stress induced by exogenous application of Cu, Zn or Ca in the medicinal plant *Catharanthus roseus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 157, 266-275. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.055>
12. Clairmont, K. B., Hagar, W. G., & Davis, E. A. (1986). Manganese toxicity to chlorophyll synthesis in tobacco callus. *Plant Physiology*, 80, 291-293.
13. Cotas, J., Leandro, A., Monteiro, P., Pacheco, D., Figueirinha, A., Gonçalves, A. M., & Pereira, L. (2020). Seaweed phenolics: From extraction to applications. *Marine Drugs*, 18(8), 384. <https://doi.org/10.3390/md18080384>
14. Delangizan, S., Papzan, A., & Armand, S. (2022). Design and development of a model for commercialization of organic products based on fundamental theory (Case study: Kermanshah province). *Karafan Journal*, 18(4), 33-48. (In Persian). <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.271211.1375>
15. Esmaelpour, B., & Fatemi, H. (2020). Effects of seaweed extract on physiological and biochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water-deficit stress conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 11(1), 59-69. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jspi.11.1.10288>
16. Fletcher, H. R., Biller, P., Ross, A. B., & Adams, J. M. M. (2017). The seasonal variation of fucoidan within three species of brown macroalgae. *Algal Research*, 22, 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.10.015>
17. Ghasemi Maham, S., Rahimi, A., & Smith, D. L. (2018). Environmental assessment of the essential oils produced from dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in conventional and organic farms with different irrigation rates. *Journal of Cleaner Production*, 202, 1070-1086. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.348>
18. Ghayoumi-Mohammadi, N., & Asadi-Gharneh, H. A. (2019). Effects of foliar application and use of vermicompost on quantitative and qualitative characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34(6), 871-887. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.115698.215>
19. Hasani Nasab, M., Fateh, E., Aynehband, A., Monsefi, A., & Behnam Far, K. (2025). Effects of organic and chemical fertilizer management on yield and qualitative traits of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Ahvaz climate. *Journal of Crops Improvement*, 27(2), 315-336. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/>

- jci.2025.378013 .2889.
20. Javanbakht, M., Ghsaemi Ghehsareh, M., & Motaghian, H. (2022). Growth and yield characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) affected by different rates of nitrogen, phosphorus and potassium in Saravan, Iran. *Agro Ecology Journal*, 13(1), 29-37. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.61186/flowerjournal.7.1.77>
21. Kapur, B., Sarıdaş, M. A., Çeliktöpez, E., Kafkas, E., & PaydaşKargı, S. (2018). Health and taste related compounds in strawberries under various irrigation regimes and bio-stimulant application. *Food Chemistry*, 263, 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.108>
22. Kalhor Monfared, R., Ardakani, M. R., & Paknejad, F. (2022). Evaluation of organic fertilizersihp and soil amendments on yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Organic Farming of Medicinal Plants*, 1(2), 71-78. (In Persian with English abstract).
23. Karlsons, A., Osvalde, A., Andersone-Ozola, U., & Ievinsh, G. (2016). Vermicompost from municipal sewage sludge affects growth and mineral nutrition of winter rye (*Secale cereale*) plants. *Journal of Plant Nutrition*. 39(6), 765_780. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1087566>
24. Khazaei, Z., Esmailpour, B., & Estaji, A. (2020). Ameliorative effects of ascorbic acid on tolerance to drought stress on pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(8), 1649-1662. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.041>
25. Kováčik, P., Šimanský, V., Smoleň, S., Neupauer, J., & Olšovská, K. (2022). The effect of vermicompost and earthworms (*Eisenia fetida*) application on phytomass and macroelement concentration and tetanic ratio in carrot. *Agronomy*, 12(11), 2770. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112770>
26. Liu, D., Ding, Z., Ali, E. F., Kheir, A. M., Eissa, M. A., & Ibrahim, O. H. (2021). Biochar and compost enhance soil quality and growth of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under saline conditions. *Scientific Reports*, 11(1), 8739. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88293-6>
27. Mansori, M., Chernane, H., Hsissou, D., & El Kaoua, M. (2022). Seaweed extract enhances the biochemical and essential oil compounds in sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of Materials and Environmental Science*, 13(1), 82-94. (In Persian). <https://doi.org/ISSN : 2028-2508>
28. Masri, S., Kiani, F., Ebrahimi, S., Arzaneshand, M. H., & Mohammad Alipour., A. A. (2023). Effect of compost and vermicompost on some soil characteristics and runoff and sediment changes. *Journal of Watershed Management Research*, 14(27), 103-114. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.61186/jwmr.14.27.103>
29. Mohkami, A., Yazdanpanah, N., & Saeidnejad, A. H. (2023). The effect of vermicompost and biochar application on morphophysiological characteristics of quinoa under drought stress conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(1), 129-140. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.329540.669058>.
30. Mohsenzadeh, S., Hoseinkhani Hezaveh, M., & Zamanpour Shahmansouri, H. (2020). Some physiological characteristics of the medicinal plant *Lavandula angustifolia* in response to drought stress, compost and vermicompost. *Journal of Plant Production Research*, 27(3), 149-162. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2020.16619.2520>
31. Moradi, F., Najafi, S., & Esmaeilzadeh Bahabadi, S. (2018). The effect of green algae (*Ulva fasciata* L.) extract on growth and physiological parameters of sesamum indicum. *Journal of Plant Process and Function*, 8(33), 1-14. (In Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1014-fa.html>
32. Mukherjee, A., & Patel, J. S. (2020). Seaweed extract: Biostimulator of plant defense and plant productivity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 553-558. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02442-z>
33. Mumivand, H., Izadi, Z., Amirizadeh, F., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2023). Biochar amendment improves growth and the essential oil quality and quantity of peppermint (*Mentha× piperita* L.) grown under waste water and reduces environmental contamination from waste water disposal. *Journal of Hazardous Materials*, 446, 130674. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1016/j.hazmat.2022.130674.epub.2022dec24>.
34. Musavi, M., & Razavizadeh, R. (2021). Evaluation of changes in phenolic compounds and secondary metabolites of calluses and seedlings of (*Melissa officinalis* L.) under cadmium heavy metal stress. *Journal of Plant Process and Function*, 10(41), 17-33. (In Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1450-1-fa.html>
35. Narimani, R., Moghodom, M., Ebranpanimi, H. E., & Veshkoveyi, D. (2018). The effect of different levels of

- vermicompost and azomite organic fertilizer on growth, biochemical factors, and nutrient absorption of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Plant Environmental Physiology*, 14(56), 57-73. (In Persian with English abstract).
36. Norhayati, Y., N. G. W., & Dzulkefly, M. (2019). Effects of organic fertilizers on growth and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) on bris soil. *Malaysian Applied Biology*, 48(1), 177-184.
37. Pączka, G., Mazur-Pączka, A., Garczyńska, M., Hajduk, E., Kostecka, J., Bartkowska, I., & Butt, K. R. (2021). Use of vermicompost from sugar beet pulp in cultivation of peas (*Pisum sativum* L.). *Agriculture*, 11(10), 919. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100919>
38. Przemieniecki, S. W., Zapałowska, A., Skwiercz, A., Damszel, M., Telesiński, A., Sierota, Z., & Gorczyca, A. (2021). An evaluation of selected chemical, biochemical, and biological parameters of soil enriched with vermicompost. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8117-8127. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10981-z>
39. Rafiei Demne, M., & Shabani, L., Sabzalian, M. R. (2023). Effect of LED priming on growth indices, antioxidant enzymes and total phenolic compounds in basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. *Journal Of Plant Process and Function*, 12(54), 259-274. (In Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1669->
40. Rajaei, N., & Hassanpour Asil, M. J. (2022). Effect of different nutrient solutions and percentage of vermicomposte on the absorption of nutrient elements and growth characteristics of potted calla lily (*Zantedeschia pentlandii* cv. Allure). *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 23(4), 613-624. (In Persian with English abstract). <http://journal-irshs.ir/article-1-615-en.html>
41. Rasouli, M., & Norouzi Sharaf, A. (2019). The effect of vermicompost extract on the germination of marigold (*Calendula officinalis* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 35(2), 335-350. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.121728.2310>
42. Rezaei, A., Akbarpour, V., Bahmanyar, M. A., & Ashnavar, M. (2024). Improving the morphophysiological and phytochemical traits of garden thyme sprayed by chitosan and *Ascochyllum nodosum*. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 25(2), 179-196. (In Persian with English abstract). <http://journal-irshs.ir/article-1-671-en.html>
43. Richardson, M. L., & Arlotta, C. G. (2021). Differential yield and nutrients of (*Hibiscus sabdariffa* L.). Genotypes when grown in urban production systems. *Scientia Horticulturae*, 288, 110349. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110349>
44. Rusanescu, M., Voicu, G., Paraschiv, G., Biris, S. S., & Popescu, I. N. (2022). The recovery of vermicompost sewage sludge in agriculture. *Agronomy*, 12(2653), 1-12. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112653>.
45. Saedi, F., Barzegar, T., Ghahremani, Z., & Nikbakht, J. (2022). Evaluation the effect of the red seaweed extract on growth and physiological indices of three genotypes of squirting cucumber (*Ecaballium elaterium* L.). *Journal and Plant Function*, 11(48), 149-164. (In Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1619-en.html>
46. Salehi, M., Maleki Nia, A., & Shahbazi, M. (2022). The effect of vermicompost and humic acid application on some quantitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Plant Process and Function*, 11(51), 295-305. (In Persian with English abstract)
47. Tursun, A. O. (2022). Effect of foliar application of seaweed (organic fertilizer) on yield, essential oil and chemical composition of coriander. *Plos One*, 17(6), 1-24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269067>
48. Valinejad, Z., Gholizad, A., Naeimi, M., Gholamipour Alamdari, A., & Zarei, M. (2019). The effect of vermicompost and mycorrhizal fungi on the quantitative and qualitative characteristics of the medicinal plant Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 35(3), 484-500. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.123788.2417>
49. Vojodi Mehrabani, L. (2020). The effect of plastic soil cover, dekap and estimplex foliar application on growth and some physio-chemical characteristics of *Ocimum basilicum* L. *Journal of Horticultural Science*, 34(1), 15-32 (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i1.73694>
50. Vojodi Mehrabani, L., Hassanpouraghdam, M. B., Rasouli, F., & Aazami, M. A. (2024). Soil-based application of biochar and foliar use of seaweed algae extract (*Ascochyllum nodosum*) and growth and some physiological traits of *Tanacetum balsamita* L. *Journal of Agricultural Sciences and Industries*, 34(2), 157-167. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/SAPS.2023.55439.3000>
51. Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutralsugars, free amino acids and

- anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64, 88-93.
52. Xiong, W., Jousset, A., Guo, S., Karlsson, I., Zhao, Q., Wu, H., & Geisen, S. (2018). Soil protist communities form a dynamic hub in the soil microbiome. *The Iranian Journal of Mechanical Engineering Transactions*, 12(2), 634-638. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.171>
53. Zhang, S., Ma, J., Zou, H., Zhang, L., Li, S., & Wang, Y. (2020). The combination of blue and red LED light improves growth and phenolic acid contents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Industrial Crops and Products*, 158, 112959. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112959>