Saffron Agronomy & Technology
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir
Vol. 13, No. 4, 2026, p. 367-388

Effect of Corm Inoculation with Beneficial Microorganisms and Vermicompost on Quantitative and Qualitative Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) In Urmia, Iran

Parisa Pashakhani[1], Seyed MohammadReza Ehteshami[2]* and Reza Amirnia[3]

Article type:
Research Article
Article history:
Submitted: 5 April 2026
Revised: 4 May 2026
Accepted: 23 May 2026
Available Online: 23 May 2026

How to cite this article:
Pashakhani, P., Ehteshami, S. M. R., and Amirnia, R. (2026). Effect of Corm Inoculation with Beneficial Microorganisms and Vermicompost on Quantitative and Qualitative Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) In Urmia, Iran. *Saffron Agronomy & Technology, 13*(4), 367-388.
https://doi.org/10.22048/jsat.2026.578760.1591

Abstract

The aim of this research was to investigate the quantitative and qualitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) under the influence of corm inoculation with beneficial microorganisms and vermicompost in a randomized complete block design with three replications during two agricultural years, 2019-2020 and 2020-2021, at the Research Farm of Urmia University, Iran. The involved factors included 1) control without using phosphorus chemical fertilizer and without corm inoculation, consumption of 100% of the recommended phosphorus chemical fertilizer based on soil test, and without inoculation, corm inoculation with Pseudomonas fluorescens, corm inoculation with Glomus etunicatum, vermicompost (10 $t.ha^{-1}$ at planting time), corm inoculation with P. fluorescens + G. etunicatum, corm inoculation with P. fluorescens + vermicompost, corm inoculation with G. etunicatum + vermicompost, and corm inoculation with P. fluorescens + G. etunicatum + vermicompost. Based on the results of this study, the combined treatment of vermicompost with Pseudomonas and mycorrhiza had a positive, significant effect on the quantitative and qualitative yields of saffron. In most of the studied traits, the highest values were observed in the combined biofertilizer treatments, although this difference was not significant for some traits with the chemical phosphorus fertilizer. The highest fresh and dry weight of corms was observed in the combined treatment of vermicompost with Pseudomonas (6.3 and 1.8 $kg.m^{-2}$) and mycorrhiza treatment (5.89 and 1.71 $kg.m^{-2}$), and the highest yield of stigma fresh and dry weight was observed in the combined treatment of vermicompost with Pseudomonas (0.018 and 0.007 $g.m^{-2}$) and also mycorrhiza treatment (0.017 and 0.005 $g.m^{-2}$). The results showed that the fresh and dry yields of saffron style in biofertilizer treatments, and in the combination of biofertilizer with vermicompost, were significantly higher than those in the phosphorus chemical fertilizer and control treatments. The highest crocin content was obtained in the combined

1 – M.Sc. of Seed Science and Technology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Univesity of Guilan, Rasht, Iran.
2 – Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran and Associate Professor, Faculty of Agricultural Sciences, Univesity of Guilan, Rasht, Iran.
3 – Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Univesity of Urmia, Urmia, Iran.

Corresponding author email: smrehteshami@ut.ac.ir
https://doi.org/10.22048/jsat.2026.578760.1591

© 2026, University of Torbat Heydarieh. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License (CC BY NC 4.0)
(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

treatment of vermicompost with mycorrhiza (24.5%), mycorrhiza treatment (23.8%), and the combined treatment of vermicompost with Pseudomonas and mycorrhiza (23.7%), which showed an increase of 10.61, 7.98, and 7.59 percent compared to the control, respectively. The highest safranal concentration was observed in the vermicompost treatment (41%), although there was no significant difference compared with the combined treatment of vermicompost with mycorrhiza (37%) and phosphorus chemical fertilizer (39%). In addition, the use of biofertilizers and their combination increased the amount of picrocrocin in saffron stigma, so that there was no significant difference with phosphorus chemical fertilizer treatment. In general, the results indicate that feeding saffron vermicompost and inoculating it with microorganisms had a significant effect on saffron growth and yield. The use of these fertilizers is an acceptable approach to reduce the overuse of chemical fertilizers while maintaining yield.

Keywords: Mycorrhizal*;* Phosphorus; *Pseudomonas*; Safranal, Vermicompost

نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴ ص. ۳۸۸-۳۶۷
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir

مقاله پژوهشی

اثر تلقیح بنه با ریزجانداران مفید و ورمی‌کمپوست بر عملکرد کمی و کیفی زعفران (*Corcus sativus* L.) در ارومیه

پریسا پاشاخانی[۱]، سید محمدرضا احتشامی[۲*] و رضا امیرنیا[۳]

تاریخ دریافت: ۱۶ فروردین ۱۴۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴ اردیبهشت ۱۴۰۵
تاریخ پذیرش: ۲ خرداد ۱۴۰۵

پاشاخانی، پ.، احتشامی، س.م.ر.، امیرنیا، ر. (۱۴۰۴). اثر تلقیح بنه با ریزجانداران مفید و ورمی‌کمپوست بر عملکرد کمی و کیفی زعفران (*Corcus sativus* L.) در ارومیه. *زراعت و فناوری زعفران*، ۱۳ (۴)، ۳۸۸-۳۶۷

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی خصوصیات کمی و کیفی زعفران (*Corcus sativus* L.) تحت تأثیر تلقیح بنه با ریزجانداران حل‌کننده فسفر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه پژوهشی دانشگاه ارومیه انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل شاهد بدون مصرف کود شیمیائی فسفر و بدون تلقیح بنه، مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیائی فسفر توصیه شده براساس نتایج آزمون خاک و بدون تلقیح، تلقیح بنه با باکتری *سودوموناس* (*Pseudomonas fluorescens*)، تلقیح بنه با قارچ مایکوریزا (*Glomus etunicatum*)، ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار در زمان کاشت)، تلقیح بنه با *سودوموناس* و قارچ مایکوریزا، تلقیح بنه با *سودوموناس* + ورمی‌کمپوست، تلقیح بنه با قارچ مایکوریزا + ورمی‌کمپوست، تلقیح بنه با *سودوموناس* و قارچ مایکوریزا + ورمی‌کمپوست بودند. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با سودوموناس و تیمار قارچ مایکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی زعفران اثر مثبت و معنی‌داری داشت. در بیشتر صفات مورد مطالعه بیشترین مقادیر در تیمارهای تلفیقی کود زیستی به‌دست آمد، هر چند این اختلاف در برخی صفات با کود شیمیائی فسفر معنی‌دار نبود. بیش‌ترین وزن تر و خشک بنه‌ها در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با *سودوموناس* (۶/۳ و ۱/۸ کیلوگرم در مترمربع) و تیمار مایکوریزا (۵/۸۹ و ۱/۷۱ کیلوگرم در مترمربع)، بیش‌ترین عملکرد وزن تر و خشک کلاله در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با *سودوموناس* (۰/۰۱۸ و ۰/۰۰۷ گرم در مترمربع) و هم‌چنین تیمار مایکوریزا (۰/۰۱۷ و ۰/۰۰۵ گرم در مترمربع) مشاهده شد. نتایج نشان داد عملکرد تر و خشک خامه زعفران در تیمارهای کود زیستی و هم‌چنین تلفیق کود زیستی با ورمی‌کمپوست بود که اختلاف معنی‌داری با کود شیمیائی فسفر و شاهد داشت. بیش‌ترین میزان کروسین در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با مایکوریزا (۲۴/۵ ٪)، تیمار مایکوریزا (۲۳/۸ ٪) و تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با *سودوموناس* و مایکوریزا (۲۳/۷ ٪) به‌دست آمد که به ترتیب نسبت به شاهد ۱۰/۶۱، ۷/۹۸ و ۷/۵۹ درصد افزایش نشان داد. بیش‌ترین میزان سافرانال در تیمار ورمی‌کمپوست (۴۱ ٪) مشاهده شد، هر چند که با تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با مایکوریزا (۳۷ ٪) و کود شیمیائی فسفر (۳۹ ٪) اختلاف معنی‌داری نداشت. ضمن این که کاربرد کودهای زیستی و تلفیق آن‌ها سبب افزایش میزان پیکروکروسین کلاله زعفران شد، به طوری که اختلاف معنی‌داری با تیمار کود شیمیائی فسفر نداشت. به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت تغذیه زعفران با ورمی‌کمپوست و تلقیح با ریزجانداران تأثیر قابل‌توجهی بر رشد و عملکرد زعفران داشتند. استفاده از این کودها به عنوان یک رویکرد قابل قبول برای کاهش مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی در عین حفظ عملکرد منطقی به نظر می‌رسد.

کلمات کلیدی: سافرانال، *سودوموناس*، فسفر، مایکوریزا، ورمی‌کمپوست

۱- کارشناس ارشد علوم و تکنولوژی بذر، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
۳- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: smrehteshami@ut.ac.ir)

https://doi.org/10.22048/jsat.2026.578760.1591

مقدمه

افزایش جمعیت و نیاز صنایع داروسازی به گیاهان دارویی به عنوان مواد اولیه تولید دارو و اهمیت مواد موثره آنها در صنایع مختلف سبب توجه فراوان به کشت و تولید گیاهان دارویی شده است. به‌طور کلی رویکرد روزافزون به استفاده از گیاهان دارویی در سطح جهان، اهمیت کشت و تولید این گیاهان را روشن‌تر می‌سازد و در حال حاضر تقاضا برای گیاهان دارویی به عنوان تولیدات قابل مصرف در صنایع بهداشتی و دارویی در حال افزایش است (Saeidi Aboueshaghi et al., 2023). زعفران (*Corcus sativus* L.) گیاهی چندساله، علفی، پایا و نیمه‌گرمسیری از خانواده زنبقیان است که کلاله‌های خشک شده گل آن ادویه‌ای بسیار گران‌قیمت به‌شمار می‌رود، به‌گونه‌ای که آن را طلای سرخ می‌نامند (Ebrahimi et al., 2025). زعفران به‌عنوان گران‌بهاترین محصول کشاورزی و داروئی جهان جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران داراست. این گیاه به دلیل اشتغال‌زایی بالا و قیمت مناسب نسبت به سایر محصولات کشاورزی و خواص داروئی آن و به‌ویژه این‌که تنها ۲۰ درصد آن در داخل، مصرف و مابقی آن به سایر کشورهای جهان صادر می‌شود، در سال‌های اخیر مورد توجه ویژه مسئولین قرار گرفته است (Askary, 2018). با توجه به اهمیت دارویی فراوان زعفران، بایستی کاشت صحیح و بهینه این گیاه بر اساس حفظ محیط زیست و کاهش مصرف کودهای شیمیائی انجام شود. لذا به‌منظور بهره‌برداری از پتانسیل محیط و کسب حداکثر عملکرد علاوه بر شرایط آب و هوایی و خاک مناسب، مدیریت تغذیه‌ای صحیح در زراعت زعفران، امر لازم و ضروری می‌باشد. به‌طور کلی یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریت زراعی در زعفران، تغذیه این گیاه با عناصر آلی و معدنی است. تأمین عناصر غذائی گیاه از طریق کودهای آلی با اثر بر پارامترهای فیزیکی، موجب بهبود رشد و تقویت بنه‌های دختری می‌شود (Koocheki & Seyyedi., 2015).

تلفات کودهای شیمیایی نه‌تنها کارایی مواد غذائی را کاهش می‌دهند بلکه موجب افزایش هزینه کشاورزی، کاهش عملکرد گیاه و هدررفت انرژی می‌شوند. ضمن اینکه اثرات نامطلوب بر محیط‌زیست ایجاد می‌کنند، بلکه موانعی در مقابل کشاورزی مدرن هستند. بنابراین برای رسیدن به هدف بهبود کمیت و کیفیت عملکرد بدون به خطر انداختن محیط‌زیست، کودهای سازگار با محیط‌زیست توسعه یافته‌اند (Chen et al., 2018). در کشاورزی پایدار برای تولید محصولات کشاورزی، کودهای زیستی، کودهای آلی و نانوکودها مهم‌ترین ابزار برای پاسخگویی به تقاضای عناصر غذائی میکرو و ماکرو درجهت رشد و نمو گیاهان زراعی به روش سازگار با محیط‌زیست هستند. این کودها نقش مهمی در تکمیل عناصر غذائی ضروری، بهبود حاصلخیزی خاک و بهره‌وری محصول همراه با حفظ محیط‌زیست دارند (Chaurasia et al., 2021).

کودهای زیستی، در حقیقت شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادزی از جمله باکتری‌ها و قارچ‌ها بوده که طی فرایندهای زیستی، عناصر غذایی اصلی را از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس گیاه تبدیل نموده و منجر به جوانه‌زنی بهتر بذر و توسعه سامانه ریشه‌ای گیاه می‌گردند. استفاده از کودهای زیستی از مؤثرترین شیوه‌های مدیریتی برای حفظ کیفیت خاک در سطح مطلوب است. این کودها در برخی از فرایندهای دخیل در کنترل زیستی پاتوژن‌های گیاهی، چرخه عناصر غذایی و استقرار گیاهچه نقش دارند. کودهای زیستی به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی می‌توانند پایداری تولید نظام‌های کشاورزی را تضمین کنند (Ehteshami et al., 2018). همزیستی مایکوریزایی یکی از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین رابطه همزیستی است. نتیجه حاصل از آن، فعالیت قارچ در جهت جذب و انتقال حداکثری آب و عناصر غذایی به گیاه میزبان و از طرف دیگر دریافت ترکیبات دارای کربن حاصل از فتوسنتز گیاه میزبان توسط قارچ هم‌زیست است (Nopphakat et al., 2022).

باکتری *Pseudomonas fluorescens* یکی از پرکاربردترین و مهم‌ترین باکتری‌های مورد استفاده برای بهبود عملکرد محصول است. این باکتری‌ها با تولید سیدروفور، اسیدسالیسیلیک و فیتوهورمون‌ها شامل اکسین[1] (IAA)، سیتوکینین، جیبرلین موجب تحریک رشد گیاه از طریق سرکوب مؤثر بیماری‌های گیاهی خاک‌زاد ناشی از پاتوژن‌های بیماری‌زا می‌شوند و جزء عوامل کنترل محرک زیستی در جهت کنترل آفات و بیماری‌های قارچی و ویروسی گیاهان زراعی محسوب می‌گردند (David et al., 2018). ورمی‌کمپوست نوعی کود زیستی تولید شده به کمک کرم‌های خاکی است که در نتیجه تغییر، تحول و هضم بازمانده‌های آلی، ضمن عبور از دستگاه گوارش این جانوران به‌وجود می‌آید. ورمی‌کمپوست دارای محاسن بسیاری مانند بهبود وضعیت مواد غذائی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تخلخل زیاد، تهویه و زهکشی مناسب و بسیاری دیگر از عوامل تأثیرگذار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است (Kumar et al., 2018).

در آزمایشی کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش گل‌دهی زعفران شد (Rasouli et al., 2013). امینی و همکاران (Amini et al., 2014) نشان دادند کاربرد کود زیستی فسفره حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفر *سودوموناس* و *باسیلوس* سبب افزایش معنی‌دار عملکرد گل زعفران شد. در مطالعه اسماعیلیان و همکاران (Esmaeilian et al., 2022) استفاده از کودهای شیمیایی یا زیستی (نیتروکسین و بیوفسفات) منجر به افزایش معنی‌دار کروسین، پیکروکروسین و سافرانال شد. عالی‌زاده و همکاران (Alizadeh et al., 2019) با استفاده همزمان از کود دامی و کودهای زیستی (*ازتوباکتر*، *سودوموناس آیروژینوس* و *باسیلوس سوبتیلیس*) افزایش ۷۳، ۷۷ و ۸۳ درصدی میزان پیکروکروسین، سافرانال و کروسین در زعفران را ثبت نمودند. استفاده از کودهای ارگانیک و همچنین کودهای شیمیایی در مقایسه با شاهد، تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش میزان آپوکاروتنوئیدهای زعفران داشت (Askari et al., 2024). همچنین مشخص شد که میزان کروسین و سافرانال کلاله زعفران همبستگی بالایی با میزان فسفر برگ زعفران دارد.

امروزه تمایل به تولید گیاهان دارویی و تقاضا برای محصولات طبیعی در جهان رو به افزایش است و از آن‌جا که زراعت گیاهان دارویی با کودهای آلی و زیستی، کیفیت دارویی آنها را افزایش می‌دهد، ترکیبات گیاهی که از طریق کشت آلی تولید شده باشند، ارجحیت دارند (Hazell, 2019). یکی از نکات حائز اهمیت در تولید و پرورش گیاهان داروئی با کیفیت بالا، افزایش میزان عملکرد کمی و کیفی آنها بدون کاربرد نهاده‌های شیمیایی اعم از کود یا سموم دفع آفات و علف‌های هرز می‌باشد. به‌کارگیری کودهای زیستی می‌تولند یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش وابستگی خاک‌های کشاورزی به کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد و کیفیت زعفران باشد (Ebrahimi et al., 2021). با وجود تأثیر مثبت انواع ترکیبات بهبود دهنده رشد در افزایش عملکرد زعفران، واکنش زعفران به استفاده از این‌گونه کودها به‌وضوح مشخص نیست و کیفیت زعفران ممکن است با بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه افزایش (Saeidi Aboueshaghi et al., 2023; Esmaeilian et al., 2022; Askari et al., 2024) و یا حتی کاهش یابد (Rezaie et al., 2019). بنابراین با توجه به لزوم مدیریت تغذیه گیاهی در راستای افزایش و پایداری تولید و حفظ محیط زیست و با توجه به اهمیت درمانی گیاه دارویی زعفران، این تحقیق با هدف بررسی استفاده از کودهای آلی و زیستی بر عملکرد کمی و کیفی زعفران در ارومیه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد ریزجلنداران مفید و

1- Indole Acetic Acid

ورمی‌کمپوست بر میزان عملکرد کمی و کیفی زعفران در مزرعه پژوهشی دانشگاه ارومیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و۴۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و۱۰ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۳۳۲ از سطح دریا طی دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به اجرا درآمد. ارومیه، تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان‌های سرد دارد. میانگین مدت بارش، ۹۳ روز و میانگین بارش بلند مدت آن ۲۳۸ میلی متر می باشد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. عوامل مورد بررسی شامل ۱) شاهد بدون مصرف کود فسفر و بدون تلقیح بنه، ۲) مصرف ۱۰۰ درصد کود فسفر توصیه شده براساس آزمون خاک و بدون تلقیح، ۳) تلقیح بنه با باکتری *سودوموناس* (*Pseudomonas fluorescens*)، ۴) تلقیح بنه با قارچ مایکوریزا (*Glomus etunicatum*)، ۵) استفاده از ورمی‌کمپوست، ۶) استفاده از *سودوموناس* + قارچ مایکوریزا، ۷) استفاده از *سودوموناس* + ورمی‌کمپوست، ۸) استفاده از قارچ مایکوریزا + ورمی‌کمپوست، ۹) استفاده از *سودوموناس* + قارچ مایکوریزا + ورمی‌کمپوست اعمال شدند. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از کاشت بنه‌ها، نمونه مرکبی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه ارومیه منتقل گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ گزارش شده است. ورمی‌کمپوست مورد استفاده، با توجه به نتایج آزمون خاک و ورمی‌کمپوست (جدول ۱) به مقدار ۱۰ تن در هکتار اعمال شد. باکتری *سودوموناس* (*Pseudomonas fluorescens*) و خاک حاوی اندام جنسی قارچ مایکوریزا (*Glomus etunicatum*) از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شدند. در تیمارهایی که نیاز به تلقیح بنه داشتند، پس از ریختن بنه در داخل یک کیسه پلی‌اتیلنی، مقداری محلول شکر ۲۰ درصد به آن اضافه شد. سپس کیسه حاوی بنه و ماده چسباننده (صمغ عربی) برای مدت ۳۰ ثانیه به شدت تکان داده شد تا سطح کلیه بنه‌ها به‌طور یکنواخت چسبناک شود. پس از آن به مقدار کافی از مایه تلقیح به بنه‌های چسبناک اضافه شد (10^5 CFU.ml^{-1} باکتری و ۲۵۰ پروپاگول قارچ مایکوریزا برای هر بنه). پس از ۴۵ ثانیه تکان دادن و اطمینان از چسبیدن یکنواخت مایه تلقیح به بنه‌ها، بنه‌های آغشته بر روی ورقه آلومینیومی در زیر سایه پهن شدند تا خشک شوند. سپس به سرعت نسبت به کاشت بنه‌ها اقدام شد. عملیات آماده سازی زمین شامل شخم اولیه و دیسک در اوایل شهریور ماه ۱۳۹۸ انجام و پس از تسطیح به وسیله لودر، به دلیل کودی بودن ماهیت تیمارها و جلوگیری از اختلاط آن‌ها با هم، بین هر کرت پشته هایی با عرض ۵۰ سانتی متر و بین تکرارها ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد. براساس آزمون خاک، کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن خالص)، سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد فسفر خالص) و سولفات‌پتاسیم (۵۲ درصد پتاسیم خالص) به تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز کودی داده شد. کود اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت بعد از کشت (۵۰٪) و اسفند ماه (۵۰٪) و کود سولفات پتاسیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار به تمام تیمارها داده شد. کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به تیمارهائی که نیاز به کود شیمیائی فسفر داشتند، اضافه گردید. لازم به ذکر است که کودها فقط در سال اول در کرت های آزمایشی اعمال شدند. بنه زعفران برای کاشت از شهرستان قائنات، تهیه و بنه‌های ۸ تا ۱۰ گرمی انتخاب و پس از آماده‌سازی بستر، در اواخر شهریور ماه ۱۳۹۸ کشت شدند. بنه‌ها با تراکم ۱۰۰ عدد در متر مربع در ۴ ردیف ۵ متری با فاصله بین دو ردیف ۲۵ سانتی‌متر و فاصله ۴ سانتی‌متر بین بوته‌ها در عمق ۲۰ سانتی‌متر با دست کاشته شدند. اولین آبیاری به صورت غرقابی بعد از کشت در اوایل مهرماه سال ۱۳۹۸ انجام شد و سپس عملیات سله شکنی صورت پذیرفت. آبیاری در طول فصل رشد به دلیل بارندگی مناسب در سه نوبت دیگر، یکی در اسفند ماه ۱۳۹۳، اوایل مهر ماه ۱۴۰۰ (دو هفته قبل از گلدهی) و اسفند ماه ۱۴۰۰ انجام گرفت. کنترل علفهای هرز، هر ماه پس از کاشت

(بخصوص پس از آبیاری، زرد شدن برگ‌ها و دوره خواب گیاه) از طریق وجین دستی انجام شد. علف‌های هرز غالب مزرعه شامل پیچک صحرائی (*Convolvulus arvensis*)، خاکشیر (*Descurainia sophia*)، یولاف وحشی (*Avena fatua*) و مرغ (*Cynodon dactylon*) بودند. در طول مراحل اجرای آزمایش، هیچ‌گونه آفت‌کش یا علف‌کش شیمیایی مورد استفاده قرار نگرفت. گل‌های زعفران در ساعات اولیه صبح در اواخر مهرماه تا اواخر آبان‌ماه (حدود ۴ هفته)، با درنظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، هر دو روز یک‌بار از کل سطح کرت‌ها برداشت و صفات تعداد گل، وزن تر کلاله ، وزن تر خامه و گلبرگ تعیین شد. طول کلاله زمانی‌که برداشت گل از سطح کرت‌ها انجام شد، به‌طور تصادفی از هر تیمار ۴ نمونه، انتخاب و صفات موردنظر با خط‌کش دقیق آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند. میانگین اعداد به‌دست آمده به‌عنوان مقدار متوسط صفات لحاظ گردید. با رسیدن به دوره گل‌دهی، جهت اندازه‌گیری تعداد گل، هر دو روز یک‌بار بعد از برداشت گل از سطح کرت‌ها تعداد گل‌های هر کرت شمارش و یادداشت‌برداری شد سپس کلاله، خامه و گلبرگ در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد، خشک و پس از رسیدن به دمای ثابت، وزن آن‌ها با ترازوی دقیق توزین شد. در اواسط اردیبهشت ماه ۱۴۰۰، قبل از ریزش و تغییر رنگ برگ‌ها، پس از حذف حاشیه، تعداد چهار کلون به‌صورت

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (۳۰-۰ سانتی‌متر) و ورمی کمپوست

Table 1- Soil chemical and physical characteristics of the experimental site (0-30 cm) and vermicompost

پتاسیم قابل جذب K_{ava} (mg.kg^{-1})	فسفر قابل جذب P_{ava} (mg.kg^{-1})	نیتروژن کل N_{Total} (%)	کربن آلی (%) OC	بافت خاک Soil texture	pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})
264	11.2	1.61	1.27	رسی‌لومی Loam-Clay	7.3	**1.42**
312	15	2.11	4.63	--	7	**1.1**

تصادفی و با استفاده از کوادرات از ردیف‌های میانی هر کرت به‌طور کامل برداشت و وزن تر و خشک کل بنه‌های موجود در هر کلون به مساحت یک مترمربع پس از شمارش اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری طیف جذبی کلاله زعفران، روش استاندارد ملی ایران (استاندارد شماره۲-۲۵۹، زعفران- روش های آزمون) مورد استفاده قرار گرفت. براساس این روش، ۵۰۰ میلی‌گرم نمونه کلاله خشک با استفاده از آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شد. سپس این ترکیب به‌مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی با کمک دور متوسط همزن مغناطیسی حل شد. در ادامه یک میلی‌لیتر از محلول مجدداً به حجم یک لیتر رسانیده و در کووت کوارتزی ریخته شد. میزان جذب در طیف‌های ۲۵۷ (پیکروکروسین)، ۳۳۰ (سافرانال) و ۴۴۰ (کروسین) نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Model T80+UV/Vis; PG Instruments, UK) قرائت شد. عدد به‌دست آمده در رابطه قرار گرفته و به‌ترتیب مقادیر پیروکروسین، سافرانال و کروسین محاسبه شدند. در این رابطه، X مقدار ترکیب کیفی، A میزان جذب خوانده شده در طول موج مربوطه و M وزن خشک کلاله می‌باشد.

$$X(\%)= [A/M(mg)] \times 100 \qquad (۱)$$

لازم به ذکر است به‌منظور حصول اطمینان از اثر تیمارها بر روی زعفران، داده‌های سال دوم به‌عنوان نتایج آزمایش،

جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری طرح با استفاده از SAS Version 9.2 و مقایسات میانگین نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال یک درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. جداول و نمودارها با نرم‌افزار WORD 2013 و EXCEL 2013 رسم گردید.

نتایج و بحث

تعداد بنه‌های دختری

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، تیمارهای کودی اثر معنی‌داری بر تعداد بنه دختری نداشتند (جدول ۲). به نظر می‌رسد تأثیر مثبت کود زیستی در فراهمی ترکیبات متعدد غذایی برای ریشه می‌تولند موجب افزایش وزن بنه گردد، درحالی‌که معمولا تعداد بنه زعفران تحت تأثیر مصرف کودهای شیمیایی و زیستی قرار نمی‌گیرد (Koocheki et al., 2015). عدم تاثیر کودهای زیستی بر تعداد بنه‌های دختری توسط علی‌پور و همکاران (Alipoor Miandehi et al., 2014) نیز گزارش شده است. این محققین گزارش کردند مصرف کود دامی و شیمیایی تعداد بنه دختری و وزن بنه را به‌صورت معنی‌داری افزایش داده، اما مصرف کود زیستی وزن بنه را افزایش داد، در حالی‌که تغییری در تعداد و قطر بنه ایجاد نکرد. این نتایج با نتایج پژوهش حاضر هماهنگی دارد.

وزن تر و خشک بنه‌ها

اثر نوع کود مصرفی بر وزن بنه‌ها معنی‌دار ($p<0.01$) بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن تر و خشک بنه‌ها مربوط به تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با سودوموناس (۶/۳ و ۱/۸ $kg.m^{-2}$) و تیمار مایکوریزا (۵/۸۹ و ۱/۷۱ $kg.m^{-2}$) بود که نسبت به شاهد به ترتیب (۲۱/۵۹ و ۱۱/۵۴ ٪) و (۱۶/۱۳ و ۵/۸۵ ٪) افزایش داشت. کم‌ترین وزن تر و خشک بنه در تیمار شاهد (۴/۹۴ و ۱/۶۱ $kg.m^{-2}$) مشاهده شد (شکل‌های ۱ و ۲). باکتری‌های موجود در کودهای زیستی می‌توانند از طریق تثبیت نیتروژن، افزایش فراهمی عناصر غذایی و افزایش حاصلخیزی خاک به بهبود ویژگی‌های رشدی بنه زعفران کمک کرده و در نتیجه وزن بنه‌های دختری را در مقایسه با شاهد افزایش دهند. بررسی‌ها نشان داده است تلقیح با قارچ میکوریزا به‌واسطه افزایش جذب نیتروژن و فسفر توسط گیاه می‌تواند منجر به تحریک رشد گیاه شده و این امر باعث افزایش جذب سایر عناصر از خاک می‌گردد (Simpson et al., 2011). افزایش جذب نیتروژن از خاک به دلیل افزایش تعداد بنه و بهبود جذب فسفر باعث افزایش وزن بنه های دختری در زعفران می شود (Chaji et al., 2013).

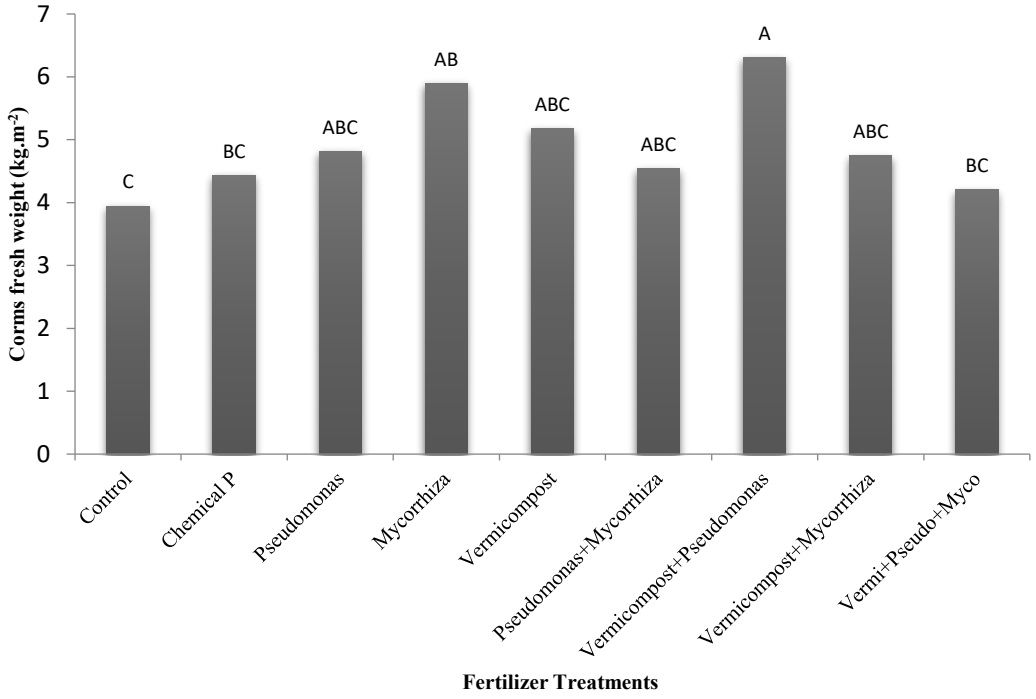
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمی زعفران تحت تأثیر تیمارهای کودی

Table 2: Variance analysis of quantitative traits to saffron flower under the influence of fertilizer treatments

منابع تغییرات S.O.V	df	میانگین مربعات MS										
		تعداد بنه Number of corm	وزن تر بنه Corm fresh weight	وزن خشک بنه Corm dry weight	تعداد گل Number of flowers	طول کلاله Stigma length	وزن تر کلاله Stigma fresh weight	وزن خشک کلاله Stigma dry weight	وزن تر خامه Style fresh weight	وزن خشک خامه Style dry weight	وزن تر گلبرگ Petal fresh weight	وزن خشک گلبرگ Petal dry weight
بلوک Block	2	0.48^{ns}	0.39^{ns}	0.042^{ns}	10294.12^{**}	0.103^{ns}	0.000004^{ns}	0.000001^{ns}	0.0001^{ns}	0.000001^{ns}	0.0001^{ns}	0.0000003^{ns}
تیمار Treatment	8	0.53^{ns}	1.8^{**}	0.3^{**}	1063.33^{ns}	0.092^{ns}	$^{**}0.000014$	0.000005^{**}	0.0004^{**}	0.000003^{**}	0.0014^{**}	0.000007^{*}
خطا Error	15	0.85	0.45	0.067	1299.27	0.061	0.000001	0.0000004	0.000007	0.0000005	0.0001	0.000002
(%) CV	-	12.92	13.75	14.44	6.53	8.21	7.14	14.62	10.92	15.18	6.54	6.08

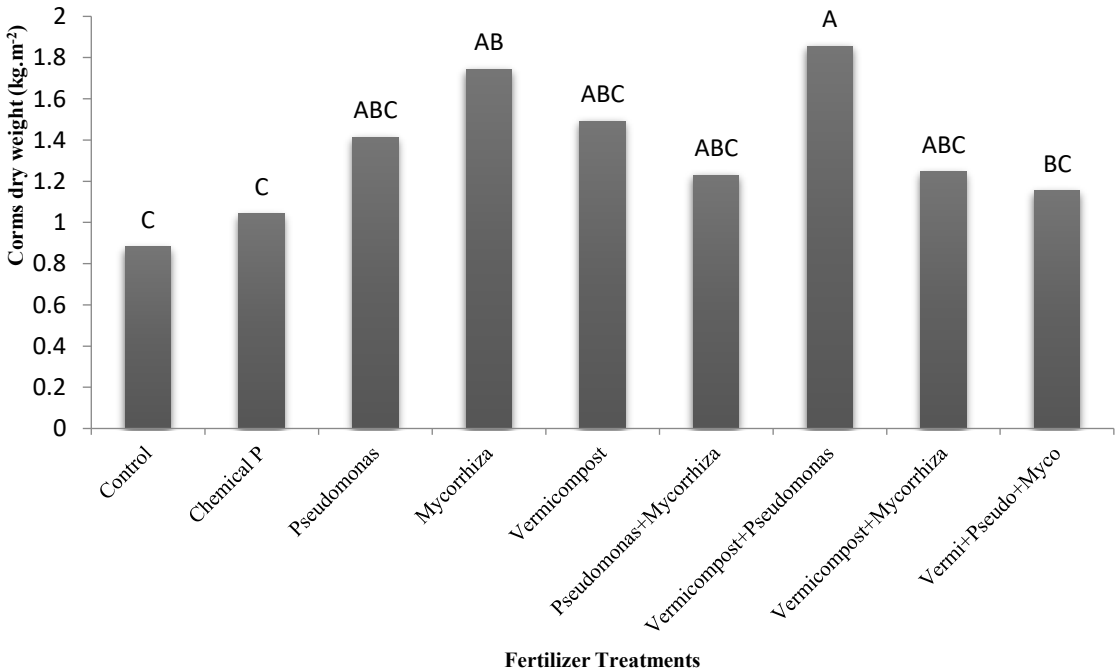
^{ns} ، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* **and ^{ns} significant difference at $p< 0.05$ and $p< 0.01$ and not significantly difference, respectively



شکل ۱- اثر تیمارهای کودی بر وزن تر بنه‌های زعفران

Figure 1- Effect of fertilizer treatments on corms fresh weight of saffron corms.



شکل ۲- اثر تیمارهای کودی بر وزن خشک بنه‌های زعفران

Figure 2- Effect of fertilizer treatments on corms dry weight of saffron corms.

نتایج مطالعه بخردیانی‌نسب و همکاران (Bekhradiyaninasab et al., 2020) نیز نشان داد که تلقیح با میکوریزا افزایش ۴۲ درصدی وزن بنه‌های دختری نسبت به عدم کاربرد کود را به همراه داشت. رسولی و همکاران (Rasouli et al., 2013) گزارش کردند که تیمار مصرف ۵۰ درصد مقدار توصیه‌شده نیتروژن، به‌همراه تلفیق کود زیستی و ورمی‌کمپوست بالاترین تعداد، وزن تر و خشک بنه‌های اصلی و دختری را به‌ترتیب با مقادیر ۸۸۰ عدد در متر مربع، ۴/۱ کیلوگرم و ۲/۵ کیلوگرم در متر مربع تولید کردند.

تعداد گل

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، تیمارهای کودی اثر معنی‌داری بر تعداد گل نداشتند (جدول ۲). به‌طور کلی عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای ذکر شده در افزایش تعداد گل زعفران در واحد سطح را می‌توان ناشی از عدم تأثیر معنی‌دار این تیمارها در افزایش تعداد کل بنه‌های دختری زعفران دانست. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های فعلی و همکاران (Feli et al., 2018) مطابقت ندارد. براساس نتایج این پژوهشگران بیش‌ترین تعداد گل در تیمار تلفیق ورمی‌کمپوست با ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی مشاهده شد، گرچه بین این تیمار با تیمار کود زیستی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در آزمایشات انجام شده، تأثیر مثبت کودهای زیستی در افزایش عملکرد گل زعفران مشاهده شده است. ریزجانداران محرک رشد به‌سبب تولید ترکیبات اولیه موثر در بیوسنتز گلوکوزیدها و تجزیه آن‌ها به ترکیبات ثانویه می‌توانند بر عملکرد کمی زعفران تأثیر گذار باشد و باعث تولید گل‌ها و کلاله‌های بزرگتر شوند (Kirmani et al., 2014). استفاده از کودهای زیستی می‌تواند با بهبود تعادل آب در گیاه و افزایش محتوای کلروفیل و فتوسنتز، میزان تولید انرژی در گیاه را افزایش دهند که این امر نیز به افزایش تعداد و وزن گل‌ها کمک می‌کند (Salariyan et al., 2023). نتایج تحقیقات نشان داده است گل زعفران به طور معنی‌داری تحت تاثیر کود زیستی قرار دارد و کاربرد آن باعث جذب بیشتر مواد غذایی و افزایش تعداد گل می‌شود (Khorramdel et al., 2013; Chaji et al., 2013). کودهای زیستی (از جمله باکتری‌ها و قارچ‌ها) می‌توانند با افزایش کارایی استفاده از مواد مغذی و تولید مواد شبه هورمونی که به تنظیم رشد گیاه کمک می‌کنند، تاثیر مثبتی بر وزن گل‌ها داشته باشند. این کودها با بهبود خصوصیات فتوسنتزی، تولید انرژی در گیاهان را افزایش داده که منجر به تقویت رشد و توسعه اندام‌های زایشی مانند گل‌ها می‌شود (Chaudhary et al., 2022). همچنین، برخی از ریزجانداران موجود در کودهای زیستی قادر به تولید مواد آلی و هورمونهای گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین هستند که به تحریک گلدهی و افزایش تعداد گل‌ها کمک می‌کنند (García-Fraile et al., 2015).

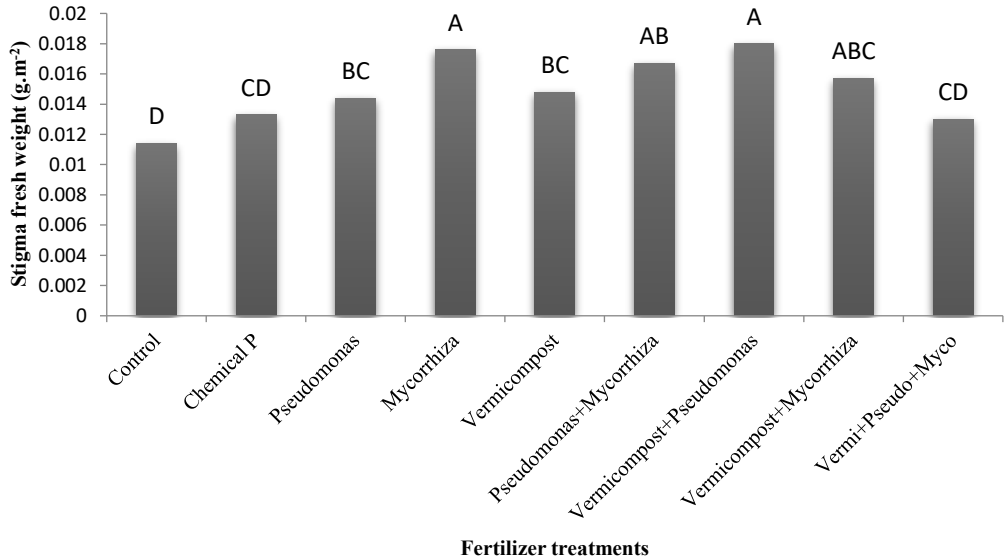
طول کلاله

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، تیمارهای کودی اثر معنی‌داری بر طول کلاله نداشتند (جدول ۲). براساس نتایج به‌دست آمده توسط عالی‌زاده و همکاران (Alizadeh et al., 2019) بیش‌ترین طول کلاله از تیمارهای ورمی‌کمپوست و کود دامی همراه با کاربرد تلفیقی باکتری‌های محرک رشد (*ازتوباکتر*، *سودوموناس آیروژینوس* و *باسیلوس سوبتیلیس*) و نیز کاربرد *ازتوباکتر* در شرایط کاربرد کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد.

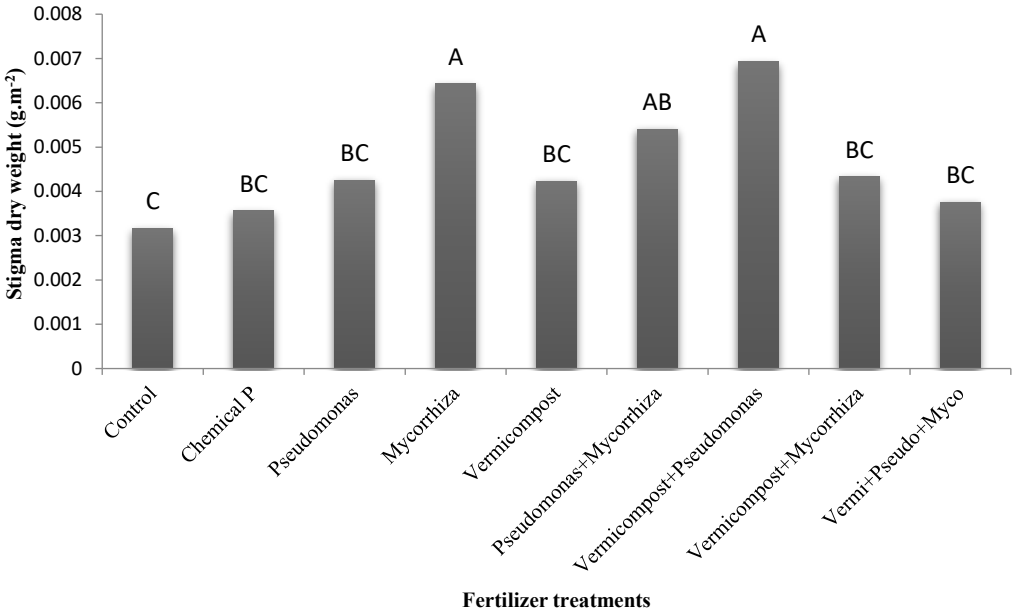
وزن تر و خشک کلاله

براساس نتایج آزمایش، اثر تیمارهای کودی نسبت به شاهد در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین عملکرد وزن تر و خشک کلاله در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با *سودوموناس* (۰/۰۱۸ و ۰/۰۰۷ گرم در مترمربع) و هم‌چنین تیمار مایکوریزا (۰/۰۱۷ و ۰/۰۰۵ گرم در

مترمربع)، تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با مایکوریزا (۰/۰۱۶ و ۰/۰۰۴ گرم در مترمربع) و تیمار تلفیقی *سودوموناس* با مایکوریزا (۰/۰۱۷ و ۰/۰۰۵ گرم در مترمربع) مشاهده شد. کم‌ترین عملکرد وزن تر و خشک کلاله در شاهد (۰/۰۱۲ و ۰/۰۰۳ گرم در مترمربع) مشاهده شد (شکل ۳ و ۴). به نظر می‌رسد که افزایش تولید آسیمیلات‌ها و انتقال آن‌ها به اندام‌های زیرزمینی و بنه زعفران موجب تحریک گل‌دهی و افزایش تعداد و وزن تر گل و هم‌چنین عملکرد کلاله شده است. این باکتری‌ها، با افزایش سرعت تقسیم و رشد سلول‌ها، ماده خشک را افزایش می‌دهند که می‌تواند دلیلی بر افزایش وزن خشک کلاله باشد. احتمالاً، استفاده از کودهای زیستی با افزایش انحلال‌پذیری فسفر و سایر عناصر مورد نیاز گیاه در خاک و هم‌چنین تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش فتوسنتز و ماده خشک گیاه و نهایتاً بهبود تولید گل در گیاه زعفران شده است (Azimi Gandomani & Alinaghizadeh, 2024). با توجه به نتایج به‌دست آمده، احتمالاً بین ورمی کمپوست و ریزجانداران محرک رشد رابطه هم‌افزایی و تشدیدکننده وجود داشته است که سبب افزایش فعالیت ریزجانداران خاک شده و با افزایش جذب عناصر معدنی سبب افزایش عملکرد تر و خشک کلاله شده است. یافته‌های بسیاری از پژوهشگران مؤید این حقیقت است که حضور کودهای زیستی در نظام‌های کشاورزی پایدار از طریق هم‌افزایی با ایجاد بستر مناسب و دسترسی مطلوب گیاه به عناصر غذایی سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد تر و خشک کلاله می‌شود (Saeidi Aboueshaghi et al., 2022). هم‌چنین ترکیب کودهای زیستی با تأثیر بر میزان دسترسی، تأمین عناصر مورد نیاز گیاه و افزایش طول دوره رویشی، موفقیت رشد رویشی و زایشی را در بر داشت به طوری که افزایش توانایی گیاه در ایجاد سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر، منجر به افزایش جذب عناصر غذایی و تولید ماده خشک بیشتر در واحد سطح می‌گردد (Koocheki et al., 2015). استفاده از کودهای زیستی مانند میکوریزا تا ۲۵ درصد به افزایش تعداد گل و عملکرد کلاله در مقایسه با شاهد کمک می‌کند (Jami et al., 2020).



شکل ۳- اثر تیمارهای کودی بر وزن تر کلاله زعفران
Figure 3- Effect of fertilizer treatments on stigma fresh weight of saffron.



شکل ٤- اثر تیمارهای کودی بر وزن خشک کلاله زعفران
Figure 4- Effect of fertilizer treatments on stigma dry weight of saffron.

وزن تر و خشک خامه

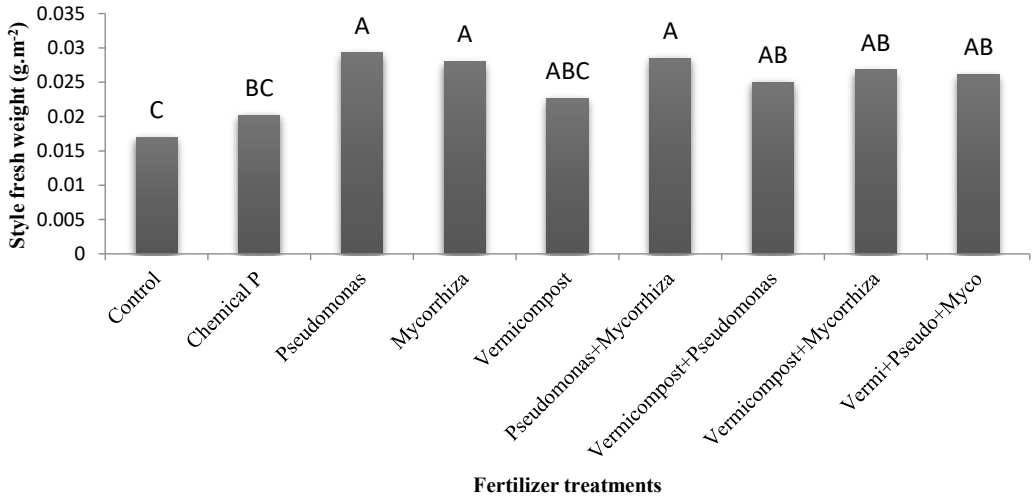
نتایج آزمایش نشان داد، اثر تیمار کودی بر وزن تر و خشک خامه نسبت به شاهد معنی‌دار ($p<0.01$) بود (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها، عملکرد تر و خشک خامه زعفران در تیمارهای کود زیستی و هم‌چنین کود زیستی با ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری با کود شیمیائی فسفر و شاهد داشت (شکل ۵ و ۶). به نظر می‌رسد این کودها با بهبود وضعیت فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گیاه، به گیاهان کمک می‌کنند تا در شرایط سخت نیز به خوبی رشد کنند و خامه‌های با کیفیت و وزن بیشتری تولید کنند (Saeidi Aboueshaghi et al., 2022). تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که استفاده از کودهای زیستی به طور قابل‌توجهی وزن خشک خامه زعفران را افزایش می‌دهد. نقدی بادی و همکاران (Naghdi Badi et al., 2011) طی تحقیقی اعلام کردند که مصرف کود شیمیایی و زیستی فسفره باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک کلاله و خامه شد. نتایج عالی‌زاده و همکاران (Alizadeh et al., 2019) نشان داد که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد در کنار مصرف کودهای شیمیایی (۵۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده) باعث افزایش عملکرد (کلاله + خامه خشک) (به‌ترتیب ۱۳۱ و ۸۲ ٪) نسبت به شاهد (بدون مصرف باکتری) شد.

وزن تر و خشک گلبرگ

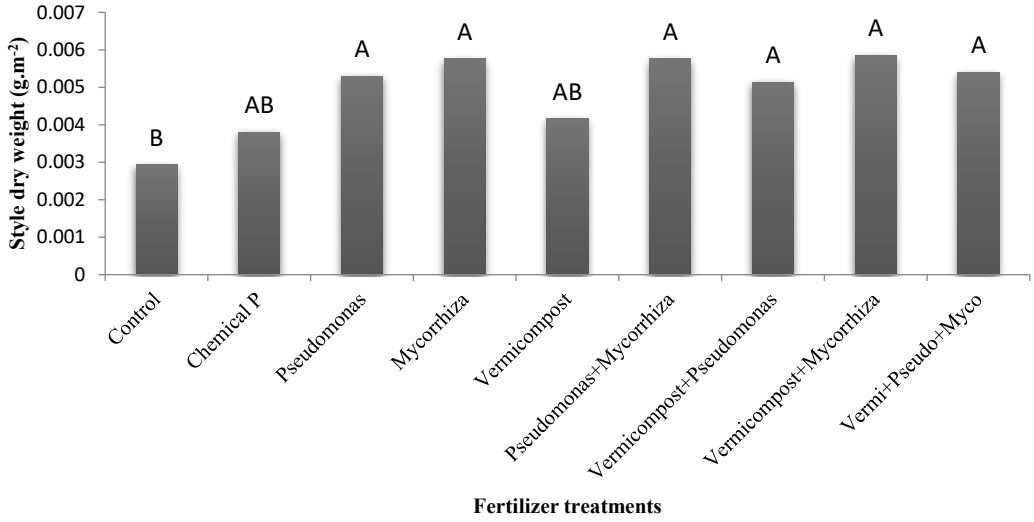
براساس نتایج آزمایش، اثر تیمارهای کودی بر وزن تر ($p<0.01$) و وزن خشک ($p<0.05$) گلبرگ نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین، بیش ترین وزن تر گلبرگ در تیمار کود شیمیائی فسفر (۰/۲۱۱ $g.m^{-2}$)، تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با *سودوموناس* (۰/۲۰۲ $g.m^{-2}$)، تیمار مایکوریزا (۰/۲۰۶ $g.m^{-2}$) و تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با مایکوریزا (۰/۱۹۵ $g.m^{-2}$) (شکل ۷) مشاهده شد. بیش‌ترین عملکرد خشک گلبرگ نیز مربوط به تیمار تلفیقی کودهای زیستی و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد و کود فسفر (۰/۰۲۵ $g.m^{-2}$) بود (شکل ۸).

به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی از طریق ترشحات حل‌کننده باکتری‌ها و کاهش اسیدیته توانسته‌اند عناصر غذایی

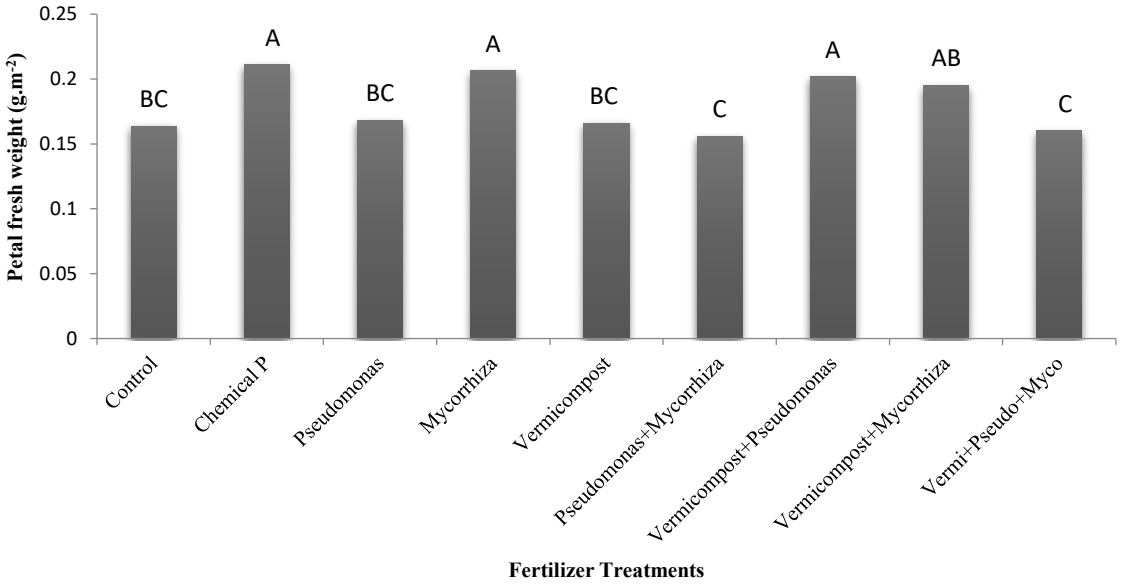
بیش‌تری را به‌صـورت محلول در اختیار گیاه قرار دهند (Hu et al., 2007) و با تولید مواد فتوسـنتزی بیش‌تر در افزایش تولید، مؤثر واقع شوند. امیری (Amiri, 2008) نیز ضمن آن‌که افزایش عملکرد گل و کلاله زعفران را در نتیجه مصرف کود آلی مشاهده کرد، اظهار داشت که کاربرد کود آلی منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی و شـیمیایی خاک مانند ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش عناصـری مانند نیتروژن، پتاسیم و کلسیم در خاک شـد و از این طریق باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد زعفران شده است.



شکل ۵- اثر تیمارهای کودی بر وزن تر خامه زعفران
Figure 5- Effect of fertilizer treatments on style fresh weight of saffron.

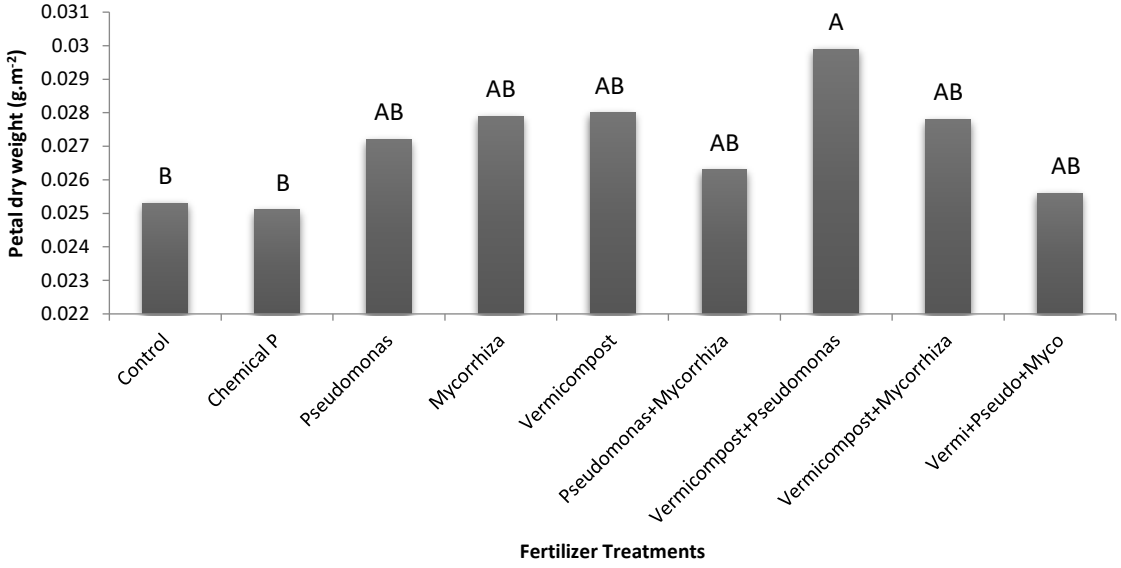


شکل ٦- اثر تیمارهای کودی بر وزن خشک خامه زعفران
Figure 6- Effect of fertilizer treatments on style dry weight of saffron.



شکل ۷- اثر تیمارهای کودی بر وزن تر گلبرگ زعفران

Figure 7- Effect of fertilizer treatments on petal fresh weight of saffron.



شکل ۸- اثر تیمارهای کودی بر وزن خشک گلبرگ زعفران

Figure 8- Effect of fertilizer treatments on petal dry weight of saffron.

علی‌پور میاندهی و همکاران (Alipoor Miandehi et al., 2014) بیان داشتند که با کاهش مصرف کود دامی و شیمیایی به نصف، مصرف کودهای زیستی نیتروکسین در مقایسه با کود بیوسوپرفسفات تأثیر بیش‌تری بر وزن تر گل داشت. در پژوهش نهوی و همکاران (Nehvi et al., 2010) تأثیر مثبت کاربرد ترکیبی ورمی‌کمپوست و ازتوباکتر بر عملکرد گل زعفران مشاهده شد.

درصد کروسین، سافرانال و پیکروکروسین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کودهای زیستی بر میزان

کروسین زعفران تأثیر معنی‌داری ($p<0.01$) داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین میزان کروسین در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با مایکوریزا (۲۴/۵٪)، تیمار مایکوریزا (۲۳/۸٪) و تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با *سودوموناس* و مایکوریزا (۲۳/۷٪) به‌دست آمد که به ترتیب نسبت به شاهد ۱۰/۶۱، ۷/۹۸ و ۷/۵۹ درصد افزایش داشت (شکل ۹).

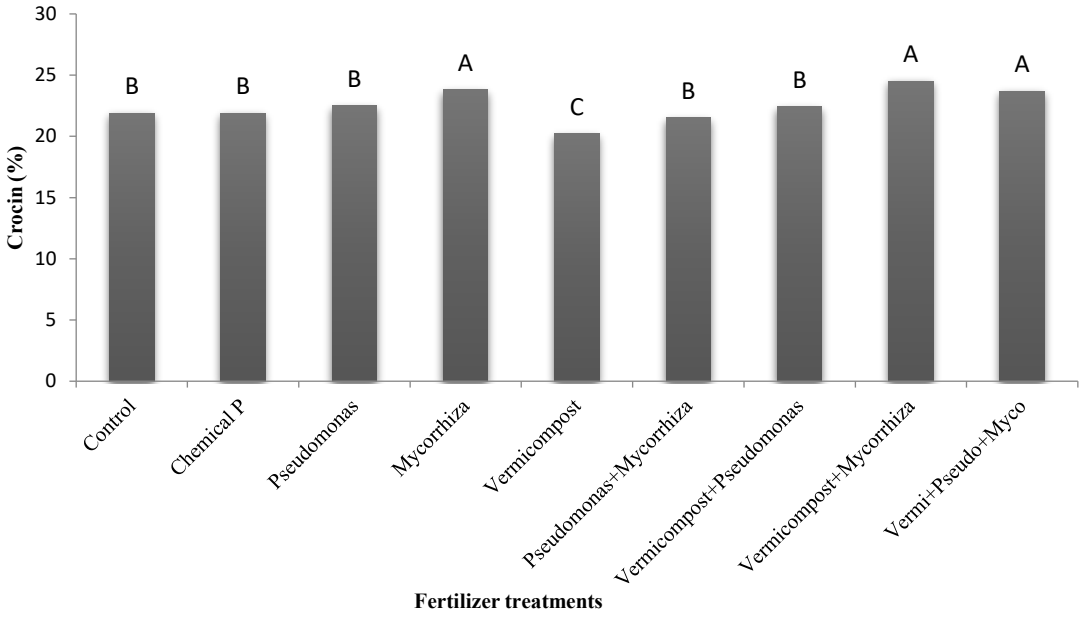
جدول ۳- تجزیه واریانس صفات کیفی زعفران تحت تأثیر تیمارهای کودی

Table 3- Variance analysis of qualitative traits to saffron flower under the influence of fertilizer treatments

		میانگین مربعات MS		
منابع تغییر SOV	df	کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانال Safranal
بلوک Block	2	2483.44**	336.11**	536.77**
تیمار Treatment	8	530.58**	43.08**	41.25**
خطا Error	15	21.94	5.36	6.9
(%) C.V.	-	2.08	2.89	7.57

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

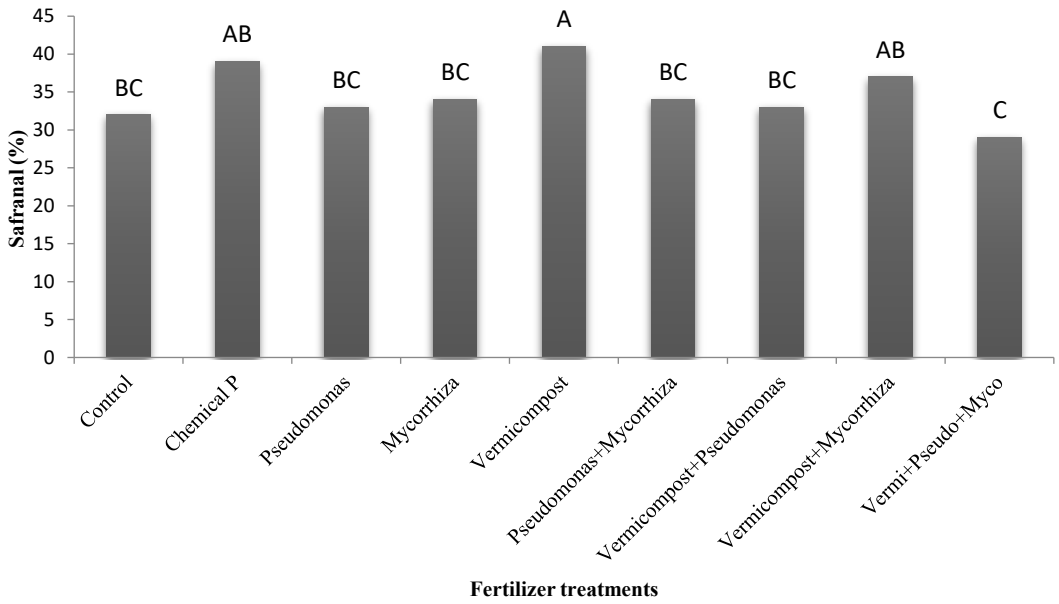
* **and ns significant difference at $p< 0.05$ and $p< 0.01$ and not significantly difference, respectively.



شکل ۹- اثر تیمارهای کودی بر عملکرد کروسین زعفران

Figure 9- Effect of fertilizer treatments on crocin yield of saffron.

به‌نظر می‌رسد بهبود خصوصیات کیفی زعفران تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی مربوط به افزایش فراهمی ترکیبات، مواد هورمونی و ویتامین‌های محلول در آب به‌واسطه ایجاد حالت همکاری متقابل با سایر ریزجانداران و تولید ترکیبات اولیه مؤثر در بیوسنتز گلوکوزیدها و تجزیه آن‌ها به ترکیبات ثانویه زعفران باشد.



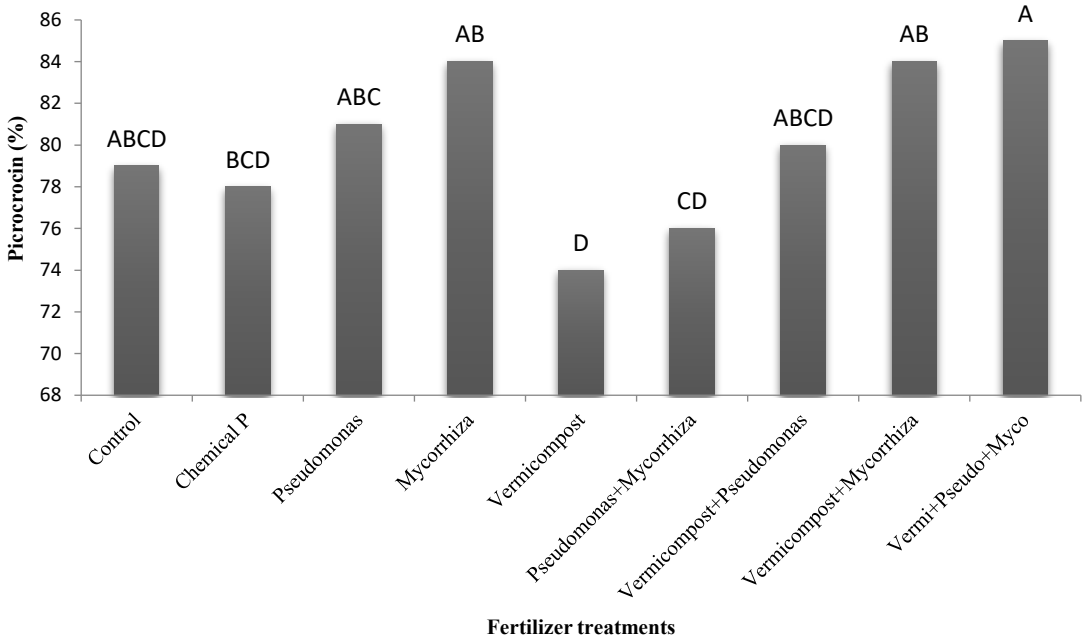
شکل ۱۰- اثر تیمارهای کودی بر عملکرد سافرانال زعفران
Figure 10- Effect of fertilizer treatments on safranal yield of saffron.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد کود بر میزان سافرانال زعفران تأثیر معنی‌داری ($p<0.01$) داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین میزان سافرانال در تیمار ورمی‌کمپوست (۴۱٪) مشاهده شد، هر چند که با تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با مایکوریزا (۳۷٪) و کود شیمیائی فسفر (۳۹٪) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۰). با توجه به نتایج می‌توان اظهار کرد کودهای زیستی شرایط مناسب‌تری برای بهبود فعالیت‌های میکروبی مفید در خاک مهیا کرده و ضمن فراهم نمودن مطلوب عناصر معدنی برای زعفران از طریق ایجاد اثر هم‌افزایی، میزان درصد صفات کیفی را افزایش داده است (Feli et al., 2018). به‌نظر می‌رسد وجود فسفر کافی در خاک می‌تواند بر درصد سافرانال زعفران تأثیر مثبت داشته باشد.

کود بر میزان پیکروکروسین زعفران تأثیر معنی‌داری ($p<0.01$) داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کاربرد کودهای زیستی و تلفیق آن‌ها سبب افزایش میزان پیکروکروسین کلاله زعفران شد، هر چند اختلاف معنی داری با تیمار کود شیمیائی فسفر نداشت. کم‌ترین میزان پیکروکروسین در تیمار ورمی‌کمپوست و تیمار تلفیقی مایکوریزا و سودوموناس به‌دست آمد (شکل ۱۱).

نتایج این پژوهش با نتایج ارائه شده توسط قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2019) نیز در مورد اثر کودهای آلی و باکتری‌های محرک رشد بر درصد پیکروکروسین موافق است. در مطالعه اسماعیلیان و همکاران (Esmaeilian et al., 2022) استفاده از کودهای زیستی منجر به افزایش معنی‌دار کروسین، پیکروکروسین و سافرانال شد. بر خلاف نتایج این تحقیق، فعلی و همکاران (Feli et al., 2018) نشان دادند استفاده از کود شیمیائی نسبت به استفاده از ورمی‌کمپوست و کود زیستی تأثیر بیشتری بر میزان سافرانال کلاله زعفران دارد. عالی‌زاده و همکاران (Alizadeh et al., 2019) گزارش کردند استفاده توأم کود دامی و کودهای زیستی (ازتوباکتر، *سودوموناس* آیروژینوس و باسیلوس سوبتیلیس) سبب افزایش ۷۳، ۷۷ و ۸۳ درصدی میزان پیکروکروسین، سافرانال و کروسین در زعفران نسبت به تیمار شاهد شد. استفاده از کودهای آلی در مقایسه با شاهد، تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش میزان پیکروکروسین،

سافرانال و کروسین زعفران داشته است (Askari et al., 2024). نقدی بادی و همکاران (Naghdi Badi et al., 2011) نیز استفاده از کودهای شیمیایی و همچنین تلفیق این کود با کود زیستی را در افزایش میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال مفید ارزیابی کردند.



شکل ۱۱- اثر تیمارهای کودی بر عملکرد پیکروکروسین زعفران
Figure 11- Effect of fertilizer treatments on Picrocrocin yield of saffron.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با سودوموناس و تیمار قارچ مایکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی زعفران اثر مثبت و معنی‌داری داشت. در بیشتر صفات مورد مطالعه بیشترین مقادیر در تیمارهای تلفیقی کود زیستی به‌دست آمد، هر چند این اختلاف در برخی موارد با کود شیمیائی فسفر معنی‌دار نبود. بیش‌ترین وزن تر و خشک بنه‌ها در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با *سودوموناس* (۶/۳ و ۱/۸ کیلوگرم در مترمربع) و تیمار مایکوریزا (۵/۸۹ و ۱/۷۱ کیلوگرم در مترمربع)، بیش‌ترین عملکرد وزن تر و خشک کلاله در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با *سودوموناس* (۰/۰۱۸ و ۰/۰۰۷ گرم در مترمربع) و هم‌چنین تیمار مایکوریزا (۰/۰۱۷ و ۰/۰۰۵ گرم در مترمربع) مشاهده شد. نتایج نشان داد عملکرد تر و خشک خامه زعفران در تیمارهای کود زیستی و هم‌چنین تلفیق کود زیستی با ورمی‌کمپوست بود که اختلاف معنی‌داری با کود شیمیائی فسفر و شاهد داشت. بیش ترین میزان کروسین در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با مایکوریزا (۲۴/۵٪)، تیمار مایکوریزا (۲۳/۸٪) و تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با *سودوموناس* و مایکوریزا (۲۳/۷٪) به‌دست آمد که به ترتیب نسبت به شاهد ۱۰/۶۱، ۷/۹۸ و ۷/۵۹ درصد افزایش نشان داد. بیش‌ترین میزان سافرانال در تیمار ورمی‌کمپوست (۴۱٪) مشاهده شد، هر چند که با تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست با مایکوریزا (۳۷٪) و کود شیمیائی فسفر (۳۹٪) اختلاف معنی‌داری نداشت. ضمن این که کاربرد کودهای زیستی و تلفیق آن‌ها سبب افزایش میزان پیکروکروسین کلاله زعفران

شد، به طوری که اختلاف معنی‌داری با تیمار کود شیمیائی فسفر نداشت. کودهای زیستی سبب بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد شدند. نتایج این آزمایش نشان داد استفاده تلفیقی از باکتری‌های محرک رشد با ورمی‌کمپوست باعث افزایش کمی و کیفی زعفران شد. در واقع به نظر می‌رسد نوعی رابطه هم‌افزایی و تشدیدکنندگی بین ریزجانداران محرک رشد و ورمی‌کمپوست مورد استفاده به‌وجود آمده که موجب افزایش فعالیت آنها در خاک می‌گردد، به طوری که ورمی‌کمپوست با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش رشد گیاه و متعاقب آن افزایش عملکرد گیاه را فراهم کرده است. بعلاوه تیمارهای زیستی در تلفیق با ورمی کمپوست از طریق افزایش جذب عناصر غذائی، باعث افزایش میزان فتوسنتز گیاه شده است که در نهایت بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه را موجب شده است. شرایط تغذیه‌ای خاک و متعاقب آن، تعادل کاتیون و آنیون و توانایی جذب عناصر در ریزوسفر، نقش مهمی در ترکیب و مقدار تراوه‌های ریشه به‌خصوص اسیدهای آلی، رشد ریزجانداران و تاثیر آن‌ها بر گیاه میزبان دارد. از این‌رو کاربرد کودهای زیستی می‌تولند از میزان کاربرد کوهای شیمیایی بکاهد که منجر به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی شده و به تولید محصول سالم کمک خواهد نمود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات مسئولین محترم دانشگاه ارومیه تقدیر و تشکر می‌شود.

Reference

Alipoor Miandehi, Z., Mahmodi, S., Behdani, M. A., & Sayyari, M. H. (2014). Effect of manure, bio-and chemicalfertilizers and corm size on saffron (*Crocus sativus* L.) yield and yield components. *Journal of Saffron Research*, *1* (2),73-84. (in Persian with English abstract).

Alizadeh, M. B., Makarian, H., Ebadi Khazine Ghadim, A., Izadi-Darbandi, E., & Gholami, A. (2019). The effect of organic and biological fertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) at the climate of Ardabil region. *Saffron Agronomy & Technology, 7* (2), 227-244. (in Persian with English abstract). https://doi: 10.22048/jsat.2018.109405.1274.

Amini, S., Maleki Farahani, S., Sharghi, Y., & Zahedi, H. (2014). Influence of vermicompost and bacterium of *Bacillus* and *Pseudomonas* on growth, yield and morphological traits of saffron. *Journal of Applied Science & Agriculture, 9* (3), 933-941.

Amiri, M. E. (2008). Impact of animal manures and chemical fertilizers on yield components of saffron (*Crocus sativus* L.). *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Sciences*, *4*, 274-279.

Askari, M., Behdani, M. A., Mollaei, H., Fallahi, H. R., Azarmi-Atajan, F., & Mokhtari Macinaei, H. (2024). Bioactive compounds and apoptotic effects of saffron (*Crocus sativus* L.) in different fertilizer conditions. *Biochemical Systematics & Ecology,* 114, 104806.

Askary, M., Behdani, M. A., Parsa, S., Mahmoodi, S., & Jamialahmadi, M. (2018). Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops & Products*, *111*, 336–344.

Azimi Gandomani, M., & Alinaghizadeh, M. (2024). Impact of various biofertilizers and their combinations on the quantitative and qualitative characteristics of saffron flowers under different irrigation regimes. *Journal of Saffron Research*, *12* (1), 95-111. (in Persian with English

Abstract). https://doi: 10.22077/jsr.2024.7948.1236.

BekhradiyaniNasab, A., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M., & Sorooshzadeh, A. (2020). Effect of benzyl aminopurine, phosphate solubilizing bio-fertilizers and maternal corm weight on the qualitative indices of saffron (*Crocus sativus* L.) flowers and corm lets in Yasouj region. *Journal of Saffron Research, 8* (1), 99-113. (in Persian with English Abstract).

Chaji, N., Khorasani, R., Astaraei, A., & Lakzian, A. (2013). Effect of phosphorous and nitrogen on vegetative growth and production of daughter corms of saffron. *Journal of Saffron Research, 1* (1), 1-12. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2013.352

Chaudhary, P., Singh, S., Chaudhary, A., Sharma, A., & Kumar, G. (2022). Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. *Frontiers of Plant Science*, *13,* 930340. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.930340

Chaurasia, U., Kumar, A., Maurya, D. K., Yadav, S. K., Hussain, T., & Maurya, V. K. (2021). Role of nano-biotechnology in agriculture and allied sciences. *Nanotechnology in Sustainable Agriculture*, 69-96.

Chen, J., Lü, Sh., Zhang, Z., Zhao, X., Li, X., Ning, P., & Liu, M. (2018). Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*, 829–839.

David, B. V., Chandrasehar, G., & Selvam, P. N. (2018). *Pseudomonas fluorescens*: A Plant-Growth-Promoting Rhizobacterium (PGPR) with potential role in biocontrol of pests of crops. Crop improvement through microbial biotechnology. 221-229 p.

Ebrahimi, M., Pouyan, M., Behdani, M. A., Hosseini, S., Shahi, T., Ragh Ara, H., & Sahabi, H. (2025). Investigating the effect of biological and chemical fertilizers and water availability on the leaf and corm element concentrations and stigma quality in saffron. *Journal of Saffron Research, 13* (1), 88-110. (in Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2025.8156.1240

Ebrahimi, M., Pouyan, M., Shahi, T., Fallahi, H. R., Hoseini, S., Ragh Ara, H., & Branca, F. (2021). Effects of organic fertilisers and mother corm weight on yield, apocarotenoid concentration and accumulation of metal contaminants in saffron (*Crocus sativus* L.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 1-21. doi: 10.1080/01448765.2021.1987987

Ehteshami, S.M.R., Khavazi, K. & Asgharzadeh, A. (2018). Forage sorghum quantity and quality as affected by biological phosphorous fertilization. *Grass and Forage Science*, *73*(3), 926-937.

Esmaeilian, Y., Amiri, M.B., Tavassoli, A., Caballero-Calvo, A., & Rodrigo-Comino, J. (2022). Replacing chemical fertilizers with organic and biological ones in transition to organic farming systems in saffron (*Crocus sativus*) cultivation. *Chemosphere, 307*(1), 135537. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135537.

Feli, A., Maleki Farahani, S., & Besharati, H. (2018). The effect of urea fertilizer and different organic and bio-fertilizers on quantitative and qualitative yield and some soil properties in Saffron cultivation. *Journal of Crops Improvement, 20* (2), 345-356. https://doi.org/10.22059/jci.2017.60472.

García-Fraile, P., Menéndez, E., & Rivas, R. (2015). Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry [J]. *AIMS Bioengineering*, 2(3): 183-205. https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.3.183.

Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., van Ruth, S., & Aghighi, S. (2019). The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different

nutritional regimes. *Industrial Crops & Products, 135*, 301-310. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.064

Hazell, P. B. R. (2019). Food security and sustainability in tropical marginal lands. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability, 3*, 114-120.

Hu, Y., Burucs, Z., Tucher, S., & Schmidhalter, U. (2007). Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. *Environmental & Experimental Botany*, *60*, 268–275.

Jami, N., Rahimi, A., Naghizadeh, M., & Sedaghati, E. (2020). Investigating the use of different levels of mycorrhiza and vermicompost on quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae, 262*, 109027.

Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafori, A., & Esmaielpour, B. (2013). Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research*, *1* (2), 120-135. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2013.439.

Kirmani, N. A., Sofi, J. A., Bhat, M. A., & Ansar-Ul-Haq, S. (2014). Sustainable saffron production as influenced by integrated nitrogen management in typic hapludalfs of NW Himalayas. *Communications in Soil Science & Plant Analysis, 45,* 653-668.

Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2015). Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by mother corm size and fertilization. *Industrial Crops & Products*, *71*, 128-137.

Kumar, A., Bhanu Prakash, C. H., Singh Brar, N. & Kumar, B. (2018). Potential of vermicompost for sustainable crop production and soil health improvement in different cropping systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(10), 1042-1055.

Naghdi Badi, H., Omidi, H., Golzad, A., Torabi, H., & Fotookian, M. H. (2011). Change in crocin, safranal and picrocrocin content and agronomical characters of saffron (*Crocus sativus* L.) under biological and chemical of phosphorous fertilizers. *Journal of Medicinal Plants, 10* (40), 58-68. (in Persian with English Abstract).

Nehvi, F. A., Lone, A. A., Khan, M. A., & Maghdoomi, M. I. (2010). Comparative study on effect of nutrient management on growth and yield of saffron under temperate conditions of Keshmir. *Acta Horticulturae, 850*, 165–170.

Nopphakat, K., Runsaeng, P., & Klinnawee, L. (2022). Acaulospora as the dominant arbuscular mycorrhizal fungi in organic lowland rice paddies improves phosphorus availability in soils. *Sustainability.14(1),* 13. https://doi.org/ 10.3390/su14010031.

Rasouli, Z., Maleki Farahani, S., & Besharati, H. (2013). Some vegetative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by various fertilizers. *Iranian Journal of Soil Research, 27* (1), 35-46. (in Persian with English Abstract).

Rezaie, A., Feizi, R., & Moradi, H. (2019). Response of quantitative and qualitative characteristics of saffron flower to the last irrigation cut-off time and various fertilizer resources. *Saffron Agronomy & Technology, 7* (1), 3-25. (in Persian with English Abstract).

Saeidi Aboueshaghi, R., Omidi, H., & Bostani, A. (2022). Effect of chicken manure and chemical fertilizers on some morphological characteristics and flowers production and replacement corm of saffron (*Crocus sativus* L.) under irrigation regimes. *Saffron Agronomy & Technology*, *10* (1), 19-39. (in Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2022.300362.1436

Saeidi Aboueshaghi, R., Omidi, H., & Bostani, A. (2023). Assessment of changes in secondary metabolites and growth of saffron under organic fertilizers and drought. *Journal of Plant*

Nutrition, 46 (3), 386-400. https://doi 10.1080/01904167.2022.2068439.

Salariyan, A., Mahmoodi, S., Behdani, M. A., & Kaveh, H. (2023). Effects of irrigation water quality, bio-fertilizer and nanoparticles of Fe on yield and some physiological traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, *11* (1), 31-47. (In Persian with English Abstract). https://doi:10.22077/jsr.2021.4471.1164.

Simpson, R. J., Oberson, A., Culvenor, R. A., Ryan, M. H., Veneklaas, E. J., Lambers, H., & Richardson, A. E. (2011). Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. *Plant and Soil, 349* (1), 89-120.