Journal of Saffron Research
Vol. 13, No. 2, p. 333- 352, 2025
10.22077/jsr.2026.10547.1295

University of Birjand

Original Article

The Effect of Culture Depth and Type of Substrate on Flowering and Production of Saffron Corm (*Crocus sativus* L.)

Maryam Kamali [1], Yahya Selahvarzi.[2]*, Hossein Mohammadpour [3]

1- PhD Graguate, Department of Horticulture and Green Space Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Associate Professor, Department of Horticulture and Green Space Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3- MSc Graguate, Department of Horticulture and Green Space Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding author: *selahvarzi@um.ac.ir*

Received: 04 January 2026; **Revised:** 15 March 2026, **Accepted:** 17 April 2026

Extended Abstract

Introduction: Saffron (*Crocus sativus* L.) is a high-value medicinal and culinary crop, whose productivity depends largely on optimal floral yield and efficient daughter corm production. Growth substrate and planting depth are among the most influential agronomic factors affecting flowering, corm development, and the accumulation of key secondary metabolites such as crocin, picrocrocin, and safranal. Organic amendments including mushroom compost and vermicompost have recently attracted attention for their ability to improve soil structure, nutrient availability, and root growth. Despite this interest, limited studies have examined the combined effects of substrate composition and planting depth on saffron performance. Therefore, this study aimed to evaluate how different organic substrates and two planting depths influence flower yield, daughter corm traits, and biochemical quality in saffron over two consecutive growing seasons.

Material and methods: This study was conducted over two consecutive growing seasons (2019–2020 and 2020–2021) at the Horticultural Science Research Orchard of Ferdowsi University of Mashhad to evaluate the effects of planting depth and growth substrate on flower and daughter corm production in saffron (Crocus sativus L.). The experiment was arranged as a factorial based on a completely randomized design with four replications under pot conditions. Treatments consisted of two planting depths (10 and 20 cm) and five substrate compositions, including 60 t ha^{-1} of farmyard manure, 20 t ha^{-1} of mushroom compost, 20 t ha^{-1} of pine leaf compost, 10 t ha^{-1} of vermicompost, and native soil as the control.

Copyright © 2025 by the authors
Published by University of Birjand. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

Results and discussion: The results revealed that substrates containing mushroom compost and vermicompost produced the highest number of flowers. Dry flower weight, as well as fresh and dry stigma weight, were significantly greater in the mushroom-compost substrate compared with the other treatments, whereas the lowest values were recorded in the control soil. The results indicate that the interaction effect of year and planting depth had a significant impact on the number of saffron flowers produced. In the second year, the number of flowers in plants cultivated at a depth of 10 cm was 20.4% higher than in plants cultivated at a depth of 20 cm. This finding highlights the advantage of shallower planting depths under specific climatic conditions, leading to reduced environmental stress and improved growth conditions in the second year. Furthermore, the number of daughter corms in the vermicompost medium at depths of 20 cm and 10 cm increased by 2.8 and 3.4 times, respectively, compared to the control soil at the same depths. This significant increase in the number of daughter corms may be attributed to the improved physical and chemical properties of the vermicompost medium, which contributes to better nutrient supply and moisture retention. Regarding the diameter of daughter corms, the results showed that in the treatments involving a planting depth of 20 cm, the corm diameter in the mushroom compost, vermicompost, and animal manure treatments was 35%, 35%, and 29.3% greater, respectively, than in the control soil at the same depth. The concentrations of safranal, crocin, and picrocrocin in the harvested flowers were significantly higher in the second year compared with the first. In addition, these biochemical traits were enhanced in corms planted at 10 cm relative to 20 cm, with the highest contents consistently observed in the vermicompost substrate. Overall, across both experimental years, a planting depth of 10 cm proved more suitable for maximizing flower production, whereas a depth of 20 cm was superior for daughter corm development. Vermicompost and mushroom compost substrates appeared to be the most favorable media for improving both floral yield and daughter corm characteristics in saffron cultivation. The superior flower yield in mushroom compost and vermicompost substrates indicates that improved nutrient availability and aeration play a central role in promoting floral induction in saffron. The greater flower number at the 10-cm planting depth, especially in the second year, suggests that shallower planting enhances sprouting and resource allocation to flowers. In contrast, the higher number and larger size of daughter corms at the 20-cm depth reflect the benefits of a more stable and moist microenvironment for corm development. Increased crocin, picrocrocin, and safranal levels in the second year and at shallower depth highlight the influence of plant maturity and environmental conditions on metabolite synthesis.

Conclusion: Overall, vermicompost and mushroom compost, when combined with a 10 cm depth for flower production and a 20-cm depth for corm formation, offer optimal conditions for saffron cultivation.

Conflict of interests: No conflicts of interest are declared by the authors.

Keywords: Chlorophyll, Daughter corms, Number of corms, Safranal, Stigma dry weight, Yield.

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد سیزدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۴
شماره صفحه: ۳۵۲ – ۳۳۳
10.22077/jsr.2026.10547.1295

مقاله پژوهشی

اثر عمق کشت و منابع مختلف کودهای آلی بر گلدهی و تولید پداژه زعفران (*Crocus sativus* L.)

مریم کمالی[۱]، یحیی سلاح ورزی[۲*]، حسین محمد پور[۳]

۱- دانش آموخته دکتری، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*نویسنده مسئول: *selahvarzi@um.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۸

چکیده

با توجه به تاثیر عمق و نوع بستر کاشت بر عملکرد زعفران آزمایشی دو ساله در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل سه عاملی با ۴ تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو عمق کشت (۱۰ و ۲۰ سانتی متری) و منابع مختلف کود آلی در ۵ سطح (۶۰ تن در هکتار کود دامی، ۲۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، ۲۰ تن در هکتار برگ کاج، ۱۰ تن در هکتار کود ورمی کمپوست و خاک پایه به عنوان شاهد) بود. نتایج نشان داد بسترهای حاوی کمپوست قارچ و ورمی کمپوست تعداد گل بیشتری تولید کردند. با توجه به اثر متقابل سال× عمق کشت، تعداد گل گیاهان کشت شده در عمق ۱۰ سانتیمتری در سال دوم ۲۰/۴ ٪ بیشتر از عمق ۲۰ سانتیمتر بود. تعداد پداژه های دختری در بستر ورمی کمپوست در عمق ۲۰ و ۱۰ سانتیمتری به ترتیب ۲/۸ و ۳/۴ برابر نسبت به بستر خاک شاهد در همین عمق ها افزایش داشت. قطر پداژه های دختری نیز در سه تیمار کمپوست قارچ + عمق ۲۰ سانتیمتری، ورمی کمپوست +۲۰ سانتیمتری، و دامی +۲۰ سانتیمتری به ترتیب ۳۵، ۳۵ و ۲۹/۳ ٪ بیشتر از خاک شاهد در همین عمق بود. میزان سافرانال، کروسین و پیکروکروسین در گل های برداشت شده سال دوم به طور معنی دار بیشتر از سال اول بود. ضمن اینکه مقادیر این صفات در پداژه های کشت شده در عمق ۱۰ سانتیمتری نسبت به ۲۰ سانتیمتری بیشتر بود. به طور کلی در هر دو سال متوالی عمق ۱۰ سانتیمتری برای تولید گل و عمق ۲۰ سانتیمتری برای تولید پداژه دختری نتایج بهتری داشت. ضمن اینکه بستر حاوی ورمی کمپوست و کمپوست قارچ هم برای تولید گل و هم تولید پداژه مطلوب به نظر می رسد.

واژه‌های کلیدی: پداژه دختری، تعداد پداژه، سافرانال، عملکرد، کلروفیل، وزن خشک کلاله.

Copyright © 2025 by the authors
Published by University of Birjand. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

مقدمه

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. به عنوان یکی از با ارزش‌ترین محصولات کشاورزی و دارویی جهان، جایگاه بخصوصی در بین محصولات صادراتی دارد (Alizadeh et al., 2021). کشور ایران بزرگترین تولید کننده زعفران در جهان شناخته می‌شود و حدود ۹۰ درصد کل تولید زعفران را به خود اختصاص داده است (Khilare et al., 2019). عواملی مانند وزن مادری پداژه، شرایط مناسب محیط کشت و حاصلخیزی خاک و تهیه بنه از مزارع ۳ و ۴ ساله، نقش بسیار بالایی در عملکرد زعفران دارند (Alvarezorti, et al., 2004). ارزش کیفی زعفران به علت وجود متابولیت‌های ثانویه اصلی و مشتقات آن می‌باشد. ترکیبات زرد رنگ کروسین مسئول رنگ زعفران، مواد تلخ پیکروکروسین مسئول طعم و سافرانال مسئول عطر و بوی آن می‌باشد (Omidi et al., 2009). زعفران به‌منظور بهره برداری از پتانسیل محیط، کسب حداکثر عملکرد و افزایش طول دوره تولید، علاوه بر نیاز به شرایط آب و هوایی و خاک مطلوب، به مدیریت صحیح عملیات زراعی نیازمند است (Koocheki et al., 2011). تامین عناصر غذایی از جمله مؤثرترین راهکارهای مدیریت زراعی جهت بهبود عملکرد این گیاه محسوب می‌شود (Koocheki et al., 2009). مدیریت صحیح کودی می‌تواند نقش بسیار موثری در افزایش پایداری تولید زعفران داشته باشد. از جمله فاکتورهای اساسی افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، مصرف نهاده‌ها به ویژه کودهای شیمیایی است. مصرف کودهای شیمیایی به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح، سبب ایجاد مشکلات زیادی شده است. از مشکلات کودهای شیمیایی این که کودها در دراز مدت خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک را تخریب کرده و نفوذ ریشه گیاهان را دچار مشکل می‌سازد و در نهایت کاهش عملکرد را به دنبال خواهند داشت (Wu et al., 2004). افزایش اهمیت مسائل زیست محیطی توجه بیشتری به کودهای زیستی و آلی برای جایگزینی کودهای شیمیایی شده است (Pierre Anoshi et al., 2010). تامین عناصر غذایی از منابع آلی مانند کودهای دامی، ورمی، کمپوست قارچ و حتی برگ درختان، می‌تواند ضمن افزایش عملکرد، منجر به بهبود کیفیت زعفران شود. ورمی کمپوست غنی از هورمون‌های رشد و ویتامین‌ها بوده و به عنوان یک آفت کش قوی زیستی مطرح است (Martin et al., 1997). با افزایش میزان ورمی‌کمپوست به خاک، فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه افزایش می‌یابد (Salehi et al., 2011). محمدزاده و پاسبان (Mohamadzadeh & Pasban, 2007) بیان کردند ورمی‌کمپوست از جمله مناسب ترین منابع غیرشیمیایی تغذیه گیاهی محسوب می‌باشد که در افزایش عملکرد مزارع زعفران ایران مثبت ارزیابی شده است. افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نیز نه تنها تدارک عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داده است، بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش رشد اندام هوایی و تعداد برگ را نیز فراهم کرده است (Rezae & Baradaran,2013). نتایج افتاده فدافن و همکاران (Oftadeh Fadafen et al., 2020) نشان داد کاربرد ورمی‌کمپوست بر میزان پیکروکروسین، سافرانال و کروسین کلاله زعفران تأثیر داشت، به طوریکه بیشترین میزان پیکروکروسین و سافرانال از تیمار ۱۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار به دست آمد. همچنین ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکرد خشک کلاله، کلروفیل a، b و کل، تعداد، طول و وزن تر برگ شد (Oftadeh et al., 2017). نتایج جامی و همکاران (Jami et al., 2020) نشان دهنده تاثیر معنی‌دار ورمی‌کمپوست بر طول و قطر انتهایی و وزن تر بنه، درصد فسفر، نیتروژن و درصد کلونیزاسیون ریشه بود. نتایج تحقیق امیری (Amiri, 2008) حاکی از نقش موثر مصرف کود دامی در بهبود عملکرد زعفران بود. نتایج پور رضا و امیر شکاری (Poorreza and Amirshekari, 2020) نشان داد که تیمارهای کودی باعث تأثیر معنی‌داری بر صفاتی اعم از تعداد گل، طول کلاله، وزن خشک کلاله، تعداد بنه دختری، وزن خشک بنه‌های دختری، کروسین، پیکروکروسین و سافرانال شد. گزارش شده است که مصرف کمپوست بر متوسط وزن تر گل و عملکرد خشک کلاله، وزن خشک برگ و رنگیزه های فتوسنتزی موثر است (Gholizade et al., 2018). نتایج آزمایش شریعتمداری و همکاران (Shariat Madari et al., 2018) حاکی از آن است که کاربرد کودهای آلی در مقایسه با شیمیایی تأثیر بیشتری بر صفات بنه‌های دختری زعفران داشت. سیدی و همکاران (Seyyedi et al.,2018) گزارش دادند کاربرد

ورمی‌کمپوست نسبت به کودهای معدنی، تعداد و وزن بنه‌های دختری را به طور معنی‌داری افزایش داد. به گزارش سعیدی و همکاران (Saeidi Abougheshaghi et al., 2022) کودهای مرغی وشیمیایی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکردگل و بنه‌های دختری زعفران موثر است.

ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi et al., 2020) عنوان نمودند علیرغم تأثیرپذیری کم وزن خشک کلاله، وزن خشک گل، تعداد گل، تعداد بنه دختری و وزن بنه دختری از تغذیه با کودهای آلی در سال اول، وزن بنه مادری بر این صفات بسیار مؤثر است. لذا این امکان وجود دارد که دریافت مواد غذایی از خاک در ابتدا و همچنین درطول فصل رشد گیاه، نسبت به اندوخته غذایی بنه‌ها، سهم کمتری در عملکرد زعفران داشته باشد. در این صورت، بیشترین تأثیر استفاده از کودهای آلی در بهبود عملکرد زعفران به تولید بنه های درشت تربرای سال آینده مربوط می‌شود. اما در دومین سال رویش زعفران تیمار کود دامی با اختلاف معنی دار نسبت به سایر تیمارهای کودی سهم بیشتری در افزایش صفات وزن خشک کلاله و وزن خشک گل در طی دوره گلدهی زعفران دارد. با توجه به اینکه کشت گیاه زعفران به عنوان مهم ترین گیاه دارویی و ادویه ای در ایران (Javadzadeh, 2011) عمدتاً در مناطق خشک و نیمه خشک کشور مانند استان‌های خراسان و کرمان صورت می‌گیرد (Sepaskhah & Kamgar-Haghighi, 2009) با در نظر گرفتن کمبود مواد آلی خاک در این استان‌ها (Shirani et al., 2011) مصرف کودهای آلی می‌بایست در تولید این گیاه به طور ویژه مورد توجه قرار گیرد. همچنین، به دلیل اینکه عدم فراهمی مواد آلی به عنوان منبع تغذیه کربنی می‌تواند رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک را تحت تأثیر قرار دهد (Mohammdi Aria et al., 2010).

عمق کاشت و نوع کود آلی از عوامل مهم تأثیرگذار بر تولید زعفران محسوب می‌شوند. بررسی مطالعات اخیر نشان می‌دهد که انتخاب عمق مناسب می‌تواند در بهینه‌سازی رشد پداژه، گلدهی و جذب عناصر غذایی نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد. مطالعه‌ی دشتی و رویز (Dashti & Ruiz, 2019) نشان داد که افزایش عمق کشت تا ۲۰ سانتی‌متر موجب بهبود رشد پداژه و افزایش تعداد گل‌های تولیدی می‌شود، در حالی‌که کاشت در عمق کمتر باعث افزایش رشد سبزینه‌ای و کاهش عملکرد گل شد. کوکچی و خاجه‌زاده (Koocheki and Khajehzadeh, 2020) نیز با مدل‌سازی فیزیولوژیکی گزارش کردند که عمق بیشتر موجب حفظ رطوبت خاک و کاهش تنش حرارتی در مناطق نیمه‌خشک می‌گردد. در آزمایشی وفابخش و همکاران (Vafabakhsh et al., 2009) عمق کاشت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتیمتری را بر عملکرد زعفران مورد ارزیابی قرار دادند و بیشترین عملکرد را در عمق ۲۰ سانتمتری گزارش کردند. مختاریان و رحیمی (۲۰۰۶) گزارش کردند بنه‌های کشت شده در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتری بیشترین عملکرد و کمترین خسارت کنه را داشته است. سعیدی راد (۲۰۰۰) عمق کشت مناسب را ۱۵ سانتیمتر گزارش نموده است. این آزمایش با هدف مطالعه تأثیر کاربرد کودهای آلی دامی، ورمی، کمپوست قارچ و برگ درختان کاج، بر عملکرد گل زعفران در شرایط آب و هوایی مشهد صورت گرفت. همچنین عملکرد پداژه‌های زعفران از نظر افزایش در تعداد و اندازه پداژه‌های دختری در عمق کشت‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر عمق کاشت و نوع بستر بر گلدهی و عملکرد پداژه زعفران آزمایشی طی سال های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به صورت فاکتوریل سه عاملی با ۴ تکرار طراحی و اجرا شد. عامل اصلی عمق کشت در دو سطح ۱۰ و ۲۰ سانتی متری خاک و عامل فرعی منابع مختلف کود آلی در پنج سطح (۶۰ تن در هکتار کود دامی از نوع گاوی، ۲۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، ۲۰ تن در هکتار برگ کاج، ۱۰ تن در هکتار کود ورمی کمپوست و خاک پایه به عنوان شاهد) بود. صفت ها در دو سال متوالی از همان کشت جمع آوری شد. آزمایش در محل باغ علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا انجام شد. پیازها از مزرعه‌ی پنج ساله واقع در شهرستان تربت حیدریه از توابع استان خراسان رضوی در اواخر خرداد ماه برداشت و به مشهد حمل و تا پانزده مرداد ماه ۱۳۹۸در انبار مناسب با درجه حرارت ۲۰ درجه سانتی گراد نگهداری

شدند. سپس پداژه‌های ۸ تا ۱۰ گرمی جدا و قبل از کاشت ۶۰ ثانیه در محلول‌های قارچ کش کاربندازیم با غلظت ۲ در هزار و کنه‌کش پروپارژیت ۱/۵ در هزار ضدعفونی شده و در جعبه‌های پلاستیکی به طول, عرض و عمق ۶۰×۴۰×۳۵ سانتیمتر مورد کشت قرار گرفت. فاصله بین ردیف ها ۱۲ سانتیمتر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتیمتر و در مجموع ۱۸ پداژه در هر جعبه کشت شد. خاک پایه برای این آزمایش ترکیب خاک مزرعه: ماسه به نسبت ۱:۲ در نظر گرفته شد. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک پایه مورد استفاده و ترکیب عناصر بسترهای مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ و ۲ آمده است. میانگین بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهانه در طی سالهای کشت در جدول ۳ اشاره شده است.

ترکیبات کودی با غلظت های ذکر شده فقط یکبار در شروع آزمایش و قبل کشت پداژه زعفران، با درصد های ذکر شده با خاک مخلوط شدند. عملیات کشت در نیمه مرداد انجام شد. پس از کاشت پداژه‌های زعفران، پنج مرحله آبیاری به ترتیب در اواسط مهر ماه (به منظور تسهیل در گلدهی)، پس از برداشت گل و ظهور برگ‌ها در آبان ماه، بعد از وجین علف‌های هرز زمستانه در اواخر آذر، اواخر اسفند و اواسط فروردین ماه (به منظور تکمیل رشد بنه‌ها) انجام شد (رضوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۲). در مرحله اول مهرماه حجم آب آبیاری بیشتر بود و به طور متوسط به هر جعبه کشت دو لیتر اب داده شد. مراحل بعدی آبیاری برای هر جعبه یک لیتر آب در نظر گرفته شد. صفات کمی از قبیل وزن تر و وزن خشک تک گل، وزن تر و خشک هر کلاله و تعداد گل به ازای هر پیاز کشت شده در پاییز مورد ارزیابی قرار گرفت. وزن خشک نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه گیری شد. قطر گل، طول جام، قطر جام گل با کولیس دیجیتال انداز گیری شد. تعداد و قطر پداژه‌ها ی دختری به ازای هر پداژه مادری، قبل از زرد شدن برگ‌ها در پایان دوره رشد و نمو گیاه در بهار بررسی شد و صفات کیفی از قبیل میزان کروسین، میزان پیکروکروسین و میزان سافرانال کلاله زعفران مورد مطالعه گرفت.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some physical and chemical traits of the soil used in the experiment

بافت خاک	شن	سیلت	رس	ازت	پتاسیم	فسفر	منیزیم	روی	آهن	کربن آلی	اسیدیته	شوری
Soil Texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	N (%)	K (ppm)	P (ppm)	Mg (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	(%)	pH	EC (ds/m)
لومی سیلتی Silty Loam Soil	51	30	19	0.07	5906	629	2538	53	24513	0.5	8.3	2.1

جدول ۲. برخی خصوصیات شیمیایی کود های دامی، ورمی کمپوست، کمپوست قارچ و برگ کاج مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some chemical traits of the vermi, pine leaf, manure, and mushroom compost used in the experiment

بستر substrate composition	ازت N (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	روی Zn (ppm)	منیزیم Mg (ppm)	آهن Fe (ppm)	منگنز Mn (ppm)	مس Cu (ppm)	شوری EC (ds/m)
کود ورمی کمپوست Vermi	1.79	10552	2405	60	6267	1547	114	14	2.4
برگ کاج Pine leaves	0.61	1215	1560	35.21	2474	470	27.7	6.28	0.4
کود دامی Animal manure	1.56	10682	2732	68.9	4131	1664	135	14.86	2.2
کمپوست قارچ Mushroom compost	0.54	1842	1007.9	34.27	3161	1206	115	19.75	4.3

جدول ۳. میانگین بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهانه در سال های ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱

Table3. Monthly rainfall and average temperature during years of the experiment

	Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Average temperature (ºC)	2019	-	-	16.6	22.6	26.8	30.5	26.3	21.8	14.1	10.3	7	7.8
	2020	2.9	8.6	13.8	20.7	26.1	28.5	27.5	21.8	14.4	10.5	7.8	2.7
	2021	7.3	8.8	13.6	24.5	27.4	30	28.4	23.4	19.3	11.1	8.6	5.4
Rainfall (mm)	2019	-	-	7.9	9.4	10.1	0	0	0	23	33.5	91.6	64.3
	2020	26.6	15.5	0	0.2	0.2	4.3	0.5	25	70.8	98.1	15.9	42.6
	2021	11.7	8.6	0	0	0	1.3	0	16.2	4.4	27.8	0.7	0

رنگیزه‌های فتوسنتزی: استخراج کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید طبق روش دره و همکاران (Dere et al., 1998) پس از اتمام گلدهی زعفران (اواخر مهرماه) انجام شد. برای استخراج کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید برگ تازه به میزان ۰/۲ گرم را کاملاً خرد کرده وآن‌را در یک هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۶٪ ساییده تا به‌صورت توده یکنواختی درآید (عمل ساییدن و له کردن در محیط خنک و در نور کم انجام گرفت). مخلوط حاصل از کاغذ صافی رد شده و سپس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه انجام گرفت. بلافاصله محلول روشناور را برداشته و با استفاده از اسپکتروفتومتر ساخت شرکت Bio Quest انگلستان، مدل CE 2502، میزان جذب نور در طول موج‌های ۶۶۶ و ۶۵۳ نانومتر قرائت گردید و نهایتاً غلظت کلروفیل با استفاده از روابط زیر به‌دست آمد.

Chlorophyll a (µg/ml) =15.65 A666 - 7.340 A653

Chlorophyll b (µg/ml) = 27.05 A653 - 11.21 A666

Total Chlorophyll= Chl a + Chl b

Cartenoides (Cx+c) = 1000 A470 - 2.860 Ca - 129.2 Cb/245

که در آن A666 جذب نوری عصاره در طول موج ۶۶۶ نانومتر (مربوط به کلروفیل a)، A653 جذب نوری عصاره در طول موج ۶۵۳ نانومتر مربوط به جذب کلروفیل b و A470 جذب نوری عصاره در طول موج ۴۷۰ مربوط به جذب کارتنوئید ها می باشد. جهت اندازه گیری محتوای کروسین، پیکروکروسین و سافرانال (به ترتیب عامل ایجاد رنگ، طعم و عطر)، گل ها در زمان گلدهی برداشت و کلاله‌ها پس از جدا سازی در دمای اتاق خشک گردید. سنجش پیکروکروسین، سافرانال و کروسین مطابق روش ISO 3632 (2003) که دقیقاً استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۲۵۹ از آن اقتباس شده است، انجام شد. طبق این استاندارد ۰/۵ گرم از زعفران پودر شده در ظرفی به حجم یک لیتر ریخته شده و با آب مخلوط گردید. سپس ظرف را در حمام آب جوش به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد تا زعفران کاملاً در آب حل شود .پس از سرد شدن نمونه‌ها ۲۰ میلی لیتر از محلول را خارج کرده و در ظرفی ۲۰۰ میلی لیتری ریخته شد و محلول با آب مقطر به حجم رسید. سپس از محلول نمونه برداری شده و در دستگاه اسپکتوفوتومتر میزان جذب نوری آن در طول موج های ۲۵۷ نامنومتر برای پیکروکروسین، ۳۳۰ نانومتر برای سافرانال و ۴۴۰ نانومتر جهت کروسین (عامل رنگ) قرائت گردید.

طرح به صورت فاکتوریل سه عاملی (کود، عمق و سال) با ۴ تکرار طراحی و اجرا شد. صفت ها در دو سال متوالی از همان کشت (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰) جمع آوری شد و داده ها با ANOVA سه طرفه و تجزیه مرکب تحلیل گردید. آنالیز آماری داده‌های این تحقیق با استفاده از نرم افزار MSTAT-C صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمونLSD در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

صفات رویشی - زایشی:

طول برگ، تعداد و قطر گل، قطر و طول جام، وزن تر و خشک گل، وزن تر و خشک کلاله، وزن تر و خشک کلاله

با توجه به نتایج جداول تجزیه واریانس اثرات متقابل سه گانه سال کشت، نوع بستر و عمق کشت پداژه در صفات طول برگ، قطر جام، وزن تر گل و وزن خشک کلاله اثر معنی دار داشت (جدول۴). برهمکنش اثر سال و نوع بستر در صفات تعداد گل، قطر جام، وزن تر گل و وزن خشک کلاله در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود. اثر متقابل سال و عمق کشت بر تعداد گل، قطر جام، طول جام و وزن خشک کلاله اثرگزار بود. اثر متقابل بستر و عمق کشت به جز تعدادگل و طول جام در بقیه صفات اندازه گیری شده (طول برگ، قطر گل، قطر جام، وزن تر و خشک گل، وزن تر و خشک کلاله، وزن تر و خشک کلاله) معنی دار شد. اثر ساده بستر بر طول جام و قطر گل اثر معنی‌دار نداشت. همچنین اثر ساده عمق نیز بر طول برگ، قطر گل، وزن خشک تک گل و کلاله بی‌تاثیر بود. با توجه به نتایج جدول ۵، طول برگ، تعداد گل، طول جام گل، قطر گل، وزن خشک گل و وزن تر کلاله در سال دوم پس از کشت و در عمق ۱۰ سانتیمتری کشت پداژه نتایج بهتری نسبت به سال اول و عمق کشت ۲۰ سانتیمتری داشتند. وزن خشک کلاله نیز در سال دوم نسبت به سال اول افزایش ۱/۷ برابری داشت. در بین ۵ بستر کشت استفاده شده بسترهای حاوی کمپوست قارچ و ورمی کمپوست تعداد گل بیشتری داشتند. وزن خشک گل در بستر حاوی کمپوست قارچ بیشتر از سایر تیمارها و در خاک شاهد کمترین مقدار بود. وزن تر و خشک کلاله در بستر حاوی کمپوست قارچ و ورمی کمپوست بیشتر از سایر تیمارها بود. بررسی اثر متقابل سال کشت و ترکیب بستر در جدول ۶ نشان داد بیشترین تعداد گل در تیمار بستر ورمی کمپوست و در سال دوم کشت (به طور میانگین ۸ گل) بود. این در حالی است که در سال اول کشت در همین ترکیب بستر (بستر ورمی کمپوست) به طور میانگین ۱/۸ گل مشاهده شد. بیشترین قطر جام در تیمار بستر حاوی برگ کاج در سال اول (۷ میلی متر) و دوم (۳/۲ میلیمتر) مشاهده شد. وزن خشک کلاله در تیمار حاوی بستر ورمی کمپوست و در سال دوم ۵/۸ میلی گرم بود که نسبت به کشت سال اول در همین ترکیب بستر ۶۵٪ افزایش داشت. وزن تر تک گل در تیمار حاوی بستر ورمی کمپوست و در سال دوم کشت ۰/۵۶ بود که نسبت به سال اول ۲/۷ برابر افزایش داشت (جدول ۶).

جدول ۴-نتایج تجزیه واریانس اثر نوع بستر و عمق کشت بر برخی صفات اندازه گیری شده در گیاه زعفران

Table 4: Analysis of variance for substrate type and planting depth on some measured traits in saffron plant

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	طول برگ	تعداد گل	قطر جام	طول جام	قطر گل	وزن تر تک گل	وزن خشک تک گل	تعداد پداژه دختری	قطر پداژه دختری
		df	Leaf length	Flower number	Corolla diameter	corolla length	Flower diameter	Flower fresh weight	Flower dry weight	Daughter corms number	Daughter corms diameter
Year (Y)	سال	1	4646.44**	176.82**	7.73**	956.27**	791.14**	0.0225**	0.0009**	0.60ns	67.19**
Error a	خطای a	4	268.57	1.51	2.07	5.77	9.99	0.0007	0.000017	0.35	2.02
Culture medium (M)	بستر کشت	4	19171.57**	17.07**	13.17**	106.00 ns	85.91 ns	0.0139**	0.00 14**	7.22**	3.76ns
Depth of cultivation (D)	عمق کشت	1	357.01 ns	3.75*	8.84**	342.60*	1.25 ns	0.012*	0.000058ns	123.26**	1.91ns
M×D	بستر ×عمق کشت	4	9988.34**	0.83 ns	4.31**	43.31 ns	211.84**	0.048**	0.000098**	10.97**	33.03**
Y×M	سال× بستر کشت	4	1075.57 ns	8.57**	10.15**	46.43 ns	26.86 ns	0.172**	0.000043ns	4.47ns	32.25**
Y×D	سال ×عمق کشت	1	1233.05 ns	3.75*	3.25**	426.10*	2.06 ns	0.0025ns	0.000033ns	0.066ns	0.13ns
Y×M×D	سال × بستر × عمق	4	1928.90*	0.83 ns	2.45**	86.08 ns	41.19 ns	0.105**	0.000026ns	0.191ns	0.72ns
Error b	خطای b	36	687.7	0.905	0.49	75.04	76.19	0.0026	0.000032	1.85	2.59

جدول (ادامه)۴-نتایج تجزیه واریانس اثر نوع بستر، سال و عمق کشت بر برخی صفات اندازه گیری شده در گیاه زعفران

Table 4 (continued). Analysis of variance for substrate type, year and planting depth on some measured traits in saffron plant

S.O.V منابع تغییرات	درجه آزادی df	وزن تر کلاله Stigma fresh weight	وزن خشک کلاله Stigma dry weight	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Cartonoid	سافرانال Safranal	کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin
سال Year (Y)	1	347.28**	43.57**	328.629**	75.81**	720.442**	1.017**	474.49**	13757.42**	996.19**
خطای a Error a	4	47.12	0.54	1.73	0.34	1.52	0.18	1.83	0.34	12.55
بستر کشت Culture medium (M)	4	327.9**	13.75**	39.332**	3.540**	55.390**	1.907**	177.423**	220.45**	300.31**
عمق کشت Depth of cultivation (D)	1	751.9**	1.46ns	162.164**	6.376**	74.839**	1.587**	23.801**	23.91**	13.25*
M×D	4	205.22**	4.98**	32.183**	4.068**	23.675**	0.765**	4.757**	0.38ns	6.73ns
Y×M	4	5.39ns	6.24**	0.487ns	0.063ns	0.735ns	0.008ns	1.466ns	14.82**	108.11**
Y×D	1	0.02ns	6.98**	1.994ns	0.114ns	69.832**	0.006ns	0.193ns	1.61ns	4.77ns
Y×M×D	4	4.84ns	4.57**	0.396ns	0.072ns	52.777**	0.003ns	0.039ns	0.025ns	2.42ns
خطای b Error b	36	35.49	0.68	3.16	0.47	2.70	0.12	1.11	2.08	4.03

*، ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصدو ns بیانگر اختلاف غیر معنی‌دار

* and ** Significant difference at 5 and 1% respectively, and ns indicates no significant difference

با توجه به اثر متقابل سال× عمق کشت، گیاهان کشت شده در عمق ۱۰ سانتیمتری در سال دوم تعداد گل بیشتر (۵/۹) و گیاهان کشت شده در عمق ۲۰ سانتیمتری در سال اول نسبت به بقیه تیمارها قطر جام بزرگتری (۴/۱ میلیمتر) داشتند. کوچکترین طول جام (۳۰/۴ میلیمتر) در عمق ۱۰ سانتیمتری، در سال اول کشت و بیشترین وزن خشک کلاله در هر دو عمق ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری (به ترتیب ۴/۲ و ۳/۸ گرم) در سال دوم کشت مشاهده شد (جدول ۷).

در جدول ۸ نتایج حاصل از اثر متقابل نوع بستر و عمق کشت آمده است. طبق نتایج این جدول گیاهان کشت شده در عمق ۲۰ سانتیمتری از بستر حاوی برگ کاج به طور میانگین ۶/۳۶ میلیمتر قطر جام داشتند که از سایر تیمارها بیشتر بود. کمترین قطر جام گل (۳۴/۴ میلیمتر) هم در گیاهان کشت شده در ۲۰ سانتیمتری بستر خاک (گیاهان شاهد) مشاهده شد. بر اساس نتایج همین جدول همه تیمارهای مربوط به بستر در عمق ۱۰ سانتیمتری باعث افزایش وزن تر و خشک کلاله در مقایسه با بستر حاوی خاک و عمق ۲۰ سانتیمتری شد. به طوریکه در تیمار دامی وزن تر و خشک کلاله از ۲۷/۵ و ۲/۲۳ میلیگرم در عمق ۲۰ سانتیمتری به ۳۰/۸ و ۲/۶ میلیگرم در عمق ۱۰ سانتیمتری رسید. در زمینه‌ی تغذیه گیاهی، منابع مختلف کود آلی عملکرد متفاوتی در زراعت زعفران داشته‌اند. رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2019) نتیجه گرفتند که استفاده از کود دامی بیشترین تأثیر را بر افزایش تعداد گل، وزن خشک کلاله و بهبود ساختار خاک دارد. در مقابل، کمپوست قارچ باعث افزایش نفوذپذیری خاک و بهبود فعالیت زیستی آن شد. میراحمدی و همکاران (Mirahmadi et al., 2022) نیز گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش قطر پداژه و سرعت جوانه‌زنی می‌شود و از نظر شاخص‌های رشد زایشی نسبت به سایر منابع آلی برتری دارد. مطالعات بین‌المللی نظیر پژوهش خزائی و قربانی (Khazaei & Ghorbani, 2021) نشان دادند که ورمی‌کمپوست علاوه بر تأمین عناصر غذایی ضروری (به‌ویژه پتاسیم و فسفر)، موجب افزایش وزن خشک گل و عملکرد کلی گیاه می‌گردد. همچنین سینگ و مهتا (Singh & Mehta, 2022) بیان کردند که استفاده از برگ خردشده‌ی کاج به عنوان مالچ یا کود سبک موجب حفظ رطوبت سطحی خاک در خاک‌های شنی و افزایش درصد گلدهی زعفران شد. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2010) بیشترین عملکرد گل تر و نیز کلاله خشک زعفران را در تیمارهای کود دامی گزارش کردند. با توجه به افزایش عملکرد گل

زعفران و کلاله گیاه در تیمار کود دامی در مقایسه با بستر شاهد، محمدی (۲۰۱۰) گزارش کرد افزودن کود دامی به خاک منجر به بهبود خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مانند میزان مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش عناصر پر مصرف مثل نیتروژن، پتاسیم و کلسیم در خاک شد. با توجه به تاثیر مواد آلی به عنوان منبع تغذیه‌ای برای ریز موجودات خاک‌زی، مصرف کود دامی می‌تواند نقش موثری در افزایش رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید در ناحیه ریزوسفر اثر داشته باشد (Mohammdi et al, 2011).

جدول۵. مقایسه میانگین اثر ساده سال، بستر کشت و عمق کشت بر برخی صفات زعفران

Table 5. Mean comparison of some traits of saffron plant for substrate type, year and planting depth

سال year	طول برگ (mm) Leaf length (mm)	تعداد گل Flower number	طول جام (mm) corolla length (mm)	قطر گل (mm) Flower diameter (mm)	وزن خشک تک گل (g) Flower dry weight (g)	تعداد پداژه دختری Daughter corms number	قطر پداژه دختری (mm) Daughter corms diameter (mm)	وزن تر کلاله (mg) Stigma fresh weight (mg)
1	77.03b	2.00b	35.49b	37.84b	0.042b	-	12.63b	27.10b
2	94.63a	5.43a	43.48a	45.10a	0.049a	-	14.75a	30.77a
media								
کود دامی Animal manure	60.50c	3.58b	-	-	0.043c	4.17a	-	21.67c
کمپوست قارچ Mushroom compost	56.47c	4.92a	-	-	0.060a	3.75b	-	35.08a
برگ کاج Pine leaves	112.11b	2.92bc	-	-	0.047b	3.50b	-	28.33b
ورمی کمپوست Vermi	143.59a	4.92a	-	-	0.049b	5.42b	-	32.83a
خاک Soil	56.50c	2.25c	-	-	0.029d	3.67b	-	26.75b
depth								
10	-	3.97a	37.10a	-	-	2.67b	-	32.53a
20	-	3.47b	41.88b	-	-	5.53a	-	25.33b

جدول۵ (ادامه)

Table 5 (comtinued)

سال year	وزن خشک کلاله (mg) Stigma dry weight (mg)	کلروفیل a (µg/g) Chlorophyll a (µg/g)	کلروفیل b (µg/g) Chlorophyll b (µg/g)	کلروفیل کل (µg/g) Total chlorophyll (µg/g)	کارتنوئید (µg/g) Cartonoid (µg/g)	سافرانال (%) Safranal (%)	کروسین (%) Crocin (%)	پیکروکروسین (%) Picrocrocin (%)
1	2.3b	18.72b	7.25b	25.97b	1.86b	28.12b	43.3b	14.4b
2	4.0a	23.40a	9.50a	32.91a	2.12a	33.75a	73.5a	37.6a
media								
کود دامی Animal manure	2.4c	22.34a	8.81a	31.15a	2.10b	30.01b	60.3b	40.2a
کمپوست قارچ Mushroom compost	4.8a	20.42c	8.56ab	28.41b	1.81c	29.54bc	57.9c	36.8b
برگ کاج Pine leaves	2.2c	19.91cd	8.89a	28.80b	1.97bc	28.97cd	55.2d	32.3c
ورمی کمپوست Vermi	3.7b	23.51a	7.99bc	32.07a	2.57a	37.73a	64.6a	41.1a
خاک Soil	2.8c	19.13d	7.64c	26.77c	1.49d	28.42d	53.9e	29.6d
depth								
10	3.3ns	22.71a	8.70a	30.56a	2.15a	31.57a	59.03a	36.5a
20	3.0ns	19.42b	8.05b	28.32b	1.83b	30.31b	57.77b	35.5b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪ ،آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level %5 base on LSD test

جدول۶. مقایسه میانگین اثر متقابل سال× بستر کشت بر برخی صفات زعفران

Table 6. Mean comparison effect of substrate type× year on some traits of saffron plant

سال year	بستر	تعداد گل Flower number	قطر جام (mm) Corolla diameter (mm)	وزن خشک کلاله(mg) Stigma dry weight (mg)	وزن تر تک گل (g) Flower fresh weight	قطر پداژه دختری (mm) Daughter corms diameter (mm)	کروسین (%) Crocin (%)	پیکروکروسین (%) Picrocrocin (%)
1	دامی Animal Manure	2.167ef	2.691bc	3.267c	0.284e	13.05def	44.702g	16.085e
1	قارچ Mushroom compost	3.000e	2.715bc	4.933ab	0.465b	17.57a	42.920h	14.732ef
1	کاج Pine leaves	1.667f	7.017a	2.833cd	0.528a	13.60cde	40.908i	12.913fg
1	ورمی کمپوست Vermi	1.833f	3.208b	3.500c	0.207f	15.24b	47.873f	16.452e
1	خاک Soil	1.333f	2.227c	2.183de	0.346d	14.27bcd	39.897i	11.822g
2	دامی Manure	5.000c	2.823bc	1.617e	0.445b	14.81bc	75.997b	64.340a
2	قارچ Mushroom compost	6.833b	2.835bc	4.700b	0.418bc	10.49g	72.967c	58.927b
2	کاج Pine leaves	4.167cd	3.017b	1.650e	0.239ef	11.81fg	69.547d	51.653c
2	ورمی کمپوست Vermi	8.000a	3.108b	5.833a	0.562a	12.32ef	81.387a	65.807a
2	خاک Soil	3.167de	2.485bc	1.733e	0.360cd	13.73b-e	67.827e	47.287d

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪ ،آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level %5 base on LSD test

جدول۷. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × عمق کشت بر برخی صفات زعفران

Table 7. Mean comparison effect of year× depth on some traits of saffron plant

سال year	عمق Depth (cm)	تعداد گل Flower number	قطر جام Corolla diameter (mm)	طول جام corolla length (mm)	وزن خشک کلاله Stigma dry weight (mg/flower)	کلروفیل کل Total chlorophyl (µg/g)
1	10	2.0c	2.95b	30.44b	2.87b	26.01c
1	20	2.0c	4.18a	40.55a	1.88c	25.93c
2	10	5.9a	2.70b	43.75a	4.26a	35.10b
2	20	4.9b	3.00b	43.20a	3.88a	30.70a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪ ،آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level %5 base on LSD test

در تیمار کمپوست قارچ نیز وزن تر و خشک کلاله در عمق ۲۰ سانتیمتری به ترتیب ۲۵/۶ و ۴/۳۳ میلی گرم بود در حالیکه پداژه‌های کشت شده در عمق ۱۰ سانتیمتری در همین بستر کشت (کمپوست قارچ) به طور میانگین ۴۴/۵ و ۵/۳ میلیگرم وزن تر و خشک کلاله داشتند. نتایج جدول ۹ مرتبط با اثرات سه گانه تیمارهای مورد بررسی نشان داد طول برگ در تیمار ورمی کمپوست + عمق کشت ۱۰+ سال اول و تیمار ورمی کمپوست + عمق کشت ۱۰+ سال دوم با ۱۸۴ میلیمتر بیشتر از سایر تیمارها بود. با توجه به نتایج این جدول (جدول ۹) عملکرد گل (وزن خشک کلاله و وزن تر گل) در سال دوم بهتر از سال اول بود. به طوریکه گیاهان رشد یافته در بستر حاوی ورمی کمپوست و در عمق ۱۰ سانتیمتری در سال دوم پس از کشت ۷/۳ میلی گرم وزن خشک کلاله، و ۰/۷۷ گرم وزن تر گل داشتند. این در حالی است که گیاهان حاصل از همین تیمارهای بستر و عمق کشت در سال اول به ترتیب ۴ میلیگرم و ۰/۲۱ گرم وزن خشک کلاله و وزن تر گل داشتند. بیشترین قطر جام گل هم در تیمار برگ کاج + ۲۰ سانتیمتری+ کشت سال اول مشاهده شد.

کودهای آلی از جمله ورمی کمپوست به عنوان منابع غنی از عناصر غذایی بویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به شمار می‌آیند (Fernandez et al., 1993) و به مرور این عناصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Eghball et al., 2004). تورهان و همکاران (Turhan et al., 2007) گزارش کردند که استفاده از بافت سبک به همراه کود گاوی بر وزن گل و کلاله زعفران اثر مثبتی دارد. با توجه به تاثیر مثبت کودهای آلی نظیر ورمی کمپوست و کمپوست قارچ بر عملکرد زعفران در این پژوهش، محققان دیگری نیز بیان کرده‌اند که خاک شنی با محتوای مواد آلی بهترین خاک جهت بهبود خصوصیات رشدی گیاهان پیازی مانند گل نرگس می‌باشد (El-Naggar & El-Nasharty, 2009). رضائیان و پاسبان (Rezaeyan & Pasban, 2007)و فروتوس و همکاران (Fertos et al., 2010)گزارش کردند که استفاده از کودهای آلی عملکرد کلاله‌ی زعفران را در مقایسه با شاهد افزایش داد. بر خلاف کودهای شیمیایی، ورمی کمپوست عناصر مغذی را به تدریج و با شیب تقریباً یکنواختی در خاک آزاد کرده و شستشوی عناصر غذایی در طی دوره رشد کاهش می‌یابد، این امر یکی از ویژگی‌های مطلوب و مؤثر در ارتقای عملکرد زعفران بیان شده است (Moohamad zadeh, 2000).

رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al.,2013) بیشترین تعداد برگ زعفران را در نتیجه مصرف کمپوست بستر قارچ اعلام کردند. بیشترین تعداد گل در عمق کاشت ۱۰ سانتیمتر از سطح خاک در مقایسه با عمق ۲۰ سانتیمتری مشاهده شد. کشت پداژه زعفران در عمق مناسب ضمن فراهم سازی شرایط مطلوب برای خروج گل ها و نیز سبز شدن گیاه، خود در حفاظت پداژه‌ها از سرما و یخ زدگی در زمستان و همچنین گرما و خشکی در تابستان نیز مؤثر می‌باشد. کشت عمیق تر پداژه‌ها ممکن است در سبز شدن این گیاه و خروج گل‌ها از خاک اختلال ایجاد کرده و باعث افت شدید عملکرد شود (Koocheki, 2013). در همین راستا گزارش شده است با افزایش عمق کاشت از ۱۰ به ۱۵ سانتیمتر، تعداد گل زعفران از ۱۰ به ۳۰ گل در متر مربع افزایش یافت، ولی با رسیدن عمق کاشت به ۲۰ سانتیمتر، تعداد گل روند نزولی داشت (Koocheki et al., 1390). دی‌جوان و همکاران (De-Juan et al., 2009) نیز با بررسی عمق کشت دریافتند که تعداد گل در عمق ۱۰ سانتیمتر در مقایسه با عمق ۲۰ سانتیمتر بیشتر بود.

جدول۸. مقایسه میانگین اثر متقابل بستر × عمق کشت بر برخی صفات زعفران

Table 8. Mean comparison effect of substrate× depth on some traits of saffron plant

بستر substrate	عمق Depth (cm)	قطر جام Corolla diameter (mm)	قطر گل Flower diameter (mm)	وزن تر کلاله Stigma fresh weight (mg/Flower)	وزن خشک کلاله Stigma dry weight (mg/Flower)	وزن تر تک گل Flower fresh weight (g)	تعداد پداژه دختری Daughter corms number	قطر پداژه دختری Daughter corms diameter (mm)	کلروفیل a Chlorophyl al (µg/g)	کلروفیل b Chlorophyl bl (µg/g)	کارتنوئید Carotenoid (µg/g)	کلروفیل کل Total chlorophyl l (µg/g)	سافرانال Safranal (%)
دامی manure	**10**	2.637c	35.13de	30.85bc	2.650cd	0.364def	3.17def	12.41d	26.328a	9.642ab	2.442b	31.705b	30.987c
دامی Animal manure	**20**	2.877c	48.55a	27.50cd	2.233de	0.365def	5.17bc	15.45ab	18.357d	7.975de	1.765d	30.597b	29.033de
قارچ Mushroom compost	**10**	2.817c	42.92a-d	44.50a	5.300a	0.410cd	3.67cde	11.97d	22.477c	8.005de	1.862cd	30.482b	29.057de
قارچ Mushroom compost	**20**	2.733c	41.19a-e	25.67de	4.333ab	0.473ab	3.83cd	16.09a	18.357d	7.975de	1.765d	26.332d	30.030cd
کاج Pine leaves	**10**	3.667b	43.27a-d	31.50bc	2.983cd	0.494a	2.00ef	12.81cd	21.468c	9.807a	2.173bc	31.275b	29.942cd
کاج Pine leaves	**20**	6.367a	46.36ab	25.17de	1.500e	0.273g	5.00bc	12.59d	18.357d	7.975de	1.765d	26.332d	28.003de
ورمی کمپوست Vermi	**10**	2.587c	45.04abc	34.83b	3.400bc	0.337ef	5.67b	14.26bc	24.687b	8.908bc	3.005a	33.595a	38.500a
ورمی کمپوست Vermi	**20**	3.730b	37.54cde	30.67bc	2.283de	0.432bc	8.00a	16.09a	22.337c	8.212cd	2.143bc	30.547b	36.960b
خاک Soil	**10**	2.437c	40.27b-e	22.83e	4.583a	0.394cde	1.67f	13.30cd	18.573d	7.155e	1.282e	25.727d	29.340d
خاک Soil	**20**	2.275c	34.44e	15.83f	2.983cd	0.312fg	2.83def	11.91d	19.687d	8.120cd	1.698d	27.808c	27.500f

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪ ،آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level %5 base on LSD test

جدول۹. مقایسه میانگین اثر سال×بستر کشت × عمق کشت بر برخی صفات زعفران

Table 9. Mean comparison effect of year ×substrate× depth on some traits of saffron plant

سال Year	بستر substrate	عمق Depth (cm)	طول برگ Leaf length (mm)	وزن خشک کلاله Stigma dry weight (mg)	قطر جام Corolla diameter (mm)	وزن تر تک گل Flower fresh weight (g)	کلروفیل کل Total chlorophyll (g/µg)
1	دامی Animal Manure	10	42.33c	1.600fg	2.588de	0.351fg	23.22i
1	دامی Animal Manure	20	65.67c	1.633fg	2.793de	0.218i	31.75d
1	قارچ Mushroom compost	10	55.01c	6.367ab	2.780de	0.363fg	26.91h
1	قارچ Mushroom compost	20	54.60c	3.033def	2.650de	0.346fg	23.22i
1	کاج Pine leaves	10	71.97c	1.967fg	4.667b	0.463de	27.57gh
1	کاج Pine leaves	20	135.59b	1.333g	9.367a	0.287ghi	23.22i
1	ورمی Vermi	10	184.00a	4.000de	2.353de	0.210i	29.66ef
1	ورمی کمپوست Vermi	20	53.17c	3.000def	4.063bc	0.203i	26.96h
1	خاک Soil	10	42.33c	1.833fg	2.387de	0.367fg	22.70i
1	خاک Soil	20	65.67c	1.633fg	2.067e	0.325fgh	24.53i
2	دامی Manure	10	68.33c	4.000de	2.687de	0.510cd	40.19a
2	دامی Manure	20	65.67c	3.667de	2.960cde	0.380ef	29.44efg
2	قارچ Mushroom compost	10	61.67c	5.633bc	2.853de	0.583bc	34.05c
2	قارچ Mushroom compost	20	54.60c	4.233cde	2.817de	0.473dd	29.44efg
2	کاج Pine leaves	10	71.97c	2.867def	2.667de	0.218i	34.98c
2	کاج Pine leaves	20	168.93ab	1.667fg	3.367cd	0.260hi	29.44efg
2	ورمی کمپوست Vermi	10	184.00a	7.33a	2.820de	0.770a	37.53b
2	ورمی کمپوست Vermi	20	153.17ab	4.333cd	3.397cd	0.660b	34.13c
2	خاک Soil	10	52.33c	1.567fg	2.487de	0.463de	28.75fgh
2	خاک Soil	20	65.67c	2.800efg	2.483de	0.257hi	31.09de

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪ آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level %5 base on LSD test

برخلاف نتایج ما، مختاریان و رحیمی (Mokhtarian & Rahimi, 2006) بیشترین عملکرد و کمترین جمعیت بنه را در عمق کاشت ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر بدست آوردند. در مطالعات کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) اثر عمق کاشت بنه بر وزن خشک گلبرگ معنی‌دار بود. با افزایش عمق کاشت از ۱۰ به ۱۵ سانتیمتر، وزن گلبرگ افزایش و در عمق کاشت ۲۰ سانتیمتر، مجدداً کاهش یافت. از سوی دیگر، با افزایش عمق کاشت، از ۱۰ به ۲۰ سانتیمتر، وزن تر و خشک کلاله کم شد. به نظر می رسد در عمق ۲۰ سانتیمتری به منظور رساندن گل به سطح خاک، انرژی بیشتری صرف رشد لوله گل شده و به این ترتیب مواد غذایی کمتری صرف رشد و توسعه گلبرگ‌های زعفران شده است.

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 1390) با مطالعه سه عمق ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتیمتر، بیشترین وزن خشک کلاله را در عمق ۱۵ سانتیمتر مشاهده کردند. ابریشمی (Abrishami, 1997) اظهار داشت که کاشت عمیق تر از ۲۰ سانتی متر بنه‌های زعفران، ممکن است در سبز شدن این گیاه و خروج گل‌ها ازخاک اختلال ایجاد کند و باعث افت شدید عملکرد شود. همان طور که در نتایج بیان شد وزن خشک کلاله به عنوان محصول اقتصادی زعفران در سال دوم نسبت به سال اول افزایش ۱/۷ برابری داشت. با توجه به اینکه، گل زعفران قبل از برگ ظاهر می‌شود، تشکیل گل و عملکرد اقتصادی زعفران در هر سال بستگی به ذخیره مواد فتوسنتزی در بنه زعفران در سال زراعی قبل دارد. در همین رابطه گیاه زعفران در هر سال زراعی مازاد مواد فتوسنتزی خود را

جهت تشکیل بنه‌های جدید و همچنین آغازش و تکامل گل به اندام‌های زیرزمینی منتقل می‌کند (Kafi, 2000). با افزایش سن زمین تحت کشت زعفران، تعداد بنه‌های دختری افزایش یافته و به دنبال آن عملکرد نیز زیاد می‌شود. مطالعات تمپرینی و همکاران (Temperini et al, 2009) بر سن مزارع زعفران (یکساله، دوساله، سه ساله و چهارساله) نشان داد که بیشترین عملکرد در سال دوم و سوم می‌باشد. به این ترتیب، تعداد گل در سال دوم و سوم بطور متوسط ۳۷۰ گل در متر مربع بود که در مقایسه با سال اول ۱۱۲ درصد و در مقایسه با سال چهارم ۱۷۴درصد بیشتر بود. منطبق با نتایج ما، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) گزارش کرد وزن خشک گلبرگ در سال زراعی دوم در مقایسه با سال زراعی اول افزایش داشت و در هر دو سال زراعی با افزایش عمق کاشت از۱۰ به ۱۵ سانتیمتر، وزن خشک گلبرگ افزایش یافت. بیشترین وزن خشک گلبرگ در سال زراعی دوم و در عمق کاشت ۱۵ سانتیمتر از سطح خاک مشاهده شد. همان طور که از نتایج پیداست پداژه‌های کشت شده در عمق ۲۰ سانتمتری نسبت به عمق ۱۰ سانتیمتری طول جام بلندتری داشتند. درباغشاهی و همکاران (Darbaghshahi et al., 2008) آزمایشی سه ساله را به منظور بررسی اثر روش، تراکم و عمق کاشت بنه زعفران بر عملکرد و مدت بهره برداری طراحی کردند. در نتایج آن‌ها نیز بیان شده که در عمق ۲۰ سانتیمتری طول لوله گل افزایش داشته است به طوریکه در عمق کاشت ۲۰ سانتیمتر به دلیل افزایش طول لوله گل، برداشت زعفران راحت تر بود. در مطالعه‌ای گزارش شده است در بین عمق‌های مختلف کاشت بیشترین عملکرد گل، تعداد گل و بالاترین عملکرد خشک کلاله مربوط به عمق ۱۰ سانتیمتر بود و با افزایش عمق از میزان عملکرد گل کاسته شد (Moallem Banhangi et al., 2019).

تعداد و قطر پداژه‌های دختری

برهمکنش اثر سال و نوع بستر بر قطر پداژه دختری و اثر متقابل بستر و عمق کشت بر تعداد و قطر پداژه های دختری در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود. اثر ساده بستر و عمق نیز بر قطر پداژه دختری معنی‌دار نشد.

تعداد پداژه‌های دختری در انتهای سال اول به طور میانگین ۲/۶ و در انتهای سال دوم ۵/۵ بود. ضمن اینکه قطر پداژه‌های دختری در انتهای سال دوم به طور معنی‌داری بیشتر از سال اول مشاهده شد. طبیعی است که در گیاهان چندساله‌ای مانند زعفران، در سال زراعی اول گیاه انرژی بیشتری را صرف استقرار و انطباق با محیط می‌کند و در سال‌های زراعی دوم، انرژی بیشتری را به افزایش زیست توده و رشد زایشی اختصاص می‌دهد (Koocheki, 2008). نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار تیمارهای مرتبط با بستر در آزمایش بر شاخص‌های مربوط به عملکرد پداژه زعفران بود. پداژه‌های کشت شده در بستر دامی بیشترین تعداد پداژه‌های دختری را تولید کردند. با توجه به اثر متقابل سال و بستر کشت قطر پداژه‌های دختری در بستر حاوی کمپوست قارچ در سال اول ۱۷/۵ میلی متر بود که نسبت به سایر تیمارها بیشترین اختلاف معنی‌دار را داشت (جدول ۶). با توجه به اعداد جدول ۸ پداژه‌های کشت شده در بستر ورمی کمپوست در عمق ۲۰ سانتیمتری تعداد پداژه دختری بیشتری تولید کردند. مشاهدات نشان داد تعداد پداژه‌های دختری در بستر ورمی کمپوست در عمق ۲۰ و ۱۰ سانتیمتری به ترتیب ۸ و ۵/۶ بود. قطر پداژه‌های دختری نیز به ترتیب در سه تیمار کمپوست قارچ + عمق ۲۰ سانتیمتری (۰۹/ ۱۶ میلیمتر)، ورمی کمپوست +۲۰ سانتیمتری (۱۶/۰۹ میلیمتر) و دامی +۲۰ سانتیمتری (۱۵/۴ میلیمتر) بیشتر از سایر تیمارها بود. منطبق با نتایج فوق نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که زعفران اگرچه از نظر نیاز به عناصر غذایی گیاهی نسبتا کم توقع می‌باشد، ولی چنین به نظر می‌رسد که تامین مقدار مناسب و مطلوب عناصر غذایی در محیط رشد، به منظور افزایش رشد بنه‌ها می‌تواند نقش مفیدی بر بهبود رشد بنه و تخصیص مواد فتوسنتزی برای افزایش گلدهی و عملکرد اقتصادی این گیاه به همراه داشته باشد (Kafi, 2002). با توجه به طولانی بودن دوره تولید زعفران (معمولا ۸ سال)، عمق کاشت باید به اندازه‌ای باشد که قبل از این مدت، بنه‌های جدید در اعماق سطحی خاک تشکیل نشوند و به این صورت طول دوره بهره‌برداری زعفران افزایش یابد (Naderi Darbaghshahi et al., 2008). کاشت عمیق پداژه‌ها ممکن است در سبز شدن این گیاه و خروج گل‌ها از خاک اختلال ایجاد کند و باعث افت شدید عملکرد شود (Naderi Darbaghshahi et al., 2008). با توجه به تاثیر عمق کشت ۲۰ سانتیمتری بر تشکیل پداژه‌های دختری در این آزمایش، تحقیقات

مشابه نشان داد با افزایش عمق کاشت تعداد بنه‌های دختری افزایش یافت، اما وزن بنه‌ها کم شد (Gresta et al., 2009). از طرفی هر سال که از عمر مزرعه می‌گذرد، فاصله بنه‌ها تا سطح خاک کاهش می‌یابد تا اینکه زمانی فرا می‌رسد که فاصله بنه‌ها تا سطح خاک بسیار کم شده و امکان عملیات داشت نظیر سله شکنی و کنترل علف‌های هرز وجود ندارد. بر این اساس در کاشت‌های عمیق تر، چون فاصله آخرین بنه‌های دختری تا سطح خاک زیادتر است، می‌توان انتظار داشت مدت بهره برداری از این اراضی طولانی‌تر باشد (Naderi-Darbaghshahi et al., 2008). "در مطالعه‌ی قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2023) ترکیب دو عمق کشت (۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر) با منابع مختلف کود آلی (کود دامی، کمپوست قارچ، برگ کاج، ورمی‌کمپوست و شاهد) بررسی شد. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد و تعداد پداژه در تیمار عمق ۲۰ سانتی‌متر همراه با ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده گردید. سرخوش و وفایی (Sarkhosh & Vafaei, 2024) نیز گزارش کردند که در خاک‌های غیرآهکی، عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر همراه با کاربرد کود دامی یا کمپوست قارچ بهترین ترکیب برای تعادل رشد رویشی و زایشی زعفران است .با افزایش عمق کشت پیاز زعفران، تعداد بنه‌های دختری معمولاً افزایش می‌یابد، زیرا پیازها در عمق‌های بیشتر فضای بیشتری برای رشد دارند. این افزایش در تعداد بنه‌ها به طور مستقیم می‌تواند به افزایش تعداد گل‌ها و در نتیجه عملکرد زعفران منجر شود. هر بنه زعفران قادر است چندین گل تولید کند، بنابراین افزایش تعداد بنه‌ها می‌تواند به‌طور بالقوه عملکرد محصول را افزایش دهد. با این حال، باید توجه داشت که عملکرد نهایی تنها به تعداد بنه‌ها بستگی ندارد و عوامل محیطی مانند نوع خاک، آبیاری، نور و دما نیز نقش مهمی در کیفیت و میزان گل‌دهی دارند. علاوه بر این، عمق کشت بیش از حد نیز می‌تواند مشکلاتی نظیر کاهش دسترسی به اکسیژن و نور برای پیازها و ریشه‌ها ایجاد کند که ممکن است اثرات منفی بر عملکرد داشته باشد. بنابراین، هرچند که عمق کشت بیشتر می‌تواند تعداد بنه‌ها را افزایش دهد، اما موفقیت در عملکرد زعفران نیازمند مدیریت دقیق شرایط محیطی است.

صفات بیوشیمیایی

رنگدانه‌های کلروفیلی و محتوای کارتنوئید

با توجه به نتایج جداول تجزیه واریانس اثرات متقابل سه گانه سال کشت، نوع بستر و عمق کشت پداژه و اثر متقابل سال و عمق کشت بر محتوای کلروفیل کل اثر معنی دار داشت (جدول ۳). همچنین اثر متقابل بستر و عمق کشت بر رنگدانه های کلروفیلی و محتوای کارتنوئید اثر معنی دار داشت.

طبق نتایج جدول ۵ محتوای کارتنوئید و رنگدانه‌های کلروفیلی در سال دوم و در پداژه‌های کشت شده در عمق ۱۰ سانتیمتری خاک به طور معنی‌دار از سال اول و نسبت به پداژه‌های کشت شده در عمق ۲۰ سانتیمتری خاک بیشتر بود. مقدار کلروفیل a، در بستر دامی و ورمی کمپوست، کلروفیل b، در بستر دامی و کاج، کلروفیل کل در بستر دامی و ورمی کمپوست و محتوای کارتنوئید در بستر ورمی کمپوست بیشتر از سایر تیمارها بود. با توجه به جدول ۷ مربوط به اثر متقابل سال × عمق کشت محتوای کلروفیل کل در تیمارهای سال دوم و در عمق ۲۰ سانتیمتری ۳۰/۷ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ بود که نسبت به کشت سال اول در همین عمق ۴/۷ میلی گرم بیشتر بود. گیاهان کشت شده در بستر خاک و در عمق ۱۰ سانتیمتری به ترتیب ۱۸/۵، ۷/۱، ۱/۲ و ۲۵/۷ میکروگرم در هر گرم وزن تر کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید و کلروفیل کل داشتند. این در حالی است که این مقادیر در گیاهان کشت شده در عمق ۲۰ سانتیمتری به ترتیب ۵/۹، ۱۳/۵، ۳۲ و ۸ ٪ افزایش داشتند (جدول ۸). بیشترین مقدار کلروفیل کل در بستر حاوی ورمی کمپوست در عمق ۱۰ سانتیمتری (۳۳/۵۹ میکروگرم در گرم وزن تر) مشاهده شد. مقدار این صفت در همین بستر و در عمق ۲۰ سانتیمتری ۳۰/۵ میکروگرم/گرم بود. اثر سه گانه سال × بستر کشت × عمق کشت بر محتوای کلروفیل کل برگ نیز معنی‌دار بود. به طوریکه بیشترین مقدار کلروفیل کل در تیمار دامی+ عمق ۱۰ سانتیمتری + سال دوم (۴۰/۱ میکروگرم/گرم) و پس از آن در تیمار ورمی کمپوست + عمق ۱۰ سانتیمتری + سال دوم (۳۷/۵ میکروگرم/گرم) بود (جدول ۹). با توجه به تاثیر ورمی کمپوست در افزایش کلروفیل کل در این پژوهش، رسولی و همکاران (Rasoli et al.,2013) نیز اظهار داشتند که ورمی‌کمپوست باعث افزایش میزان کلروفیل در برگ زعفران شد. آرانکون و همکاران (Arancon et al.,

2005) افزایش میزان کلروفیل در گیاهان را به افزایش جذب ترکیبات نیتراته در ورمی-کمپوست نسبت دادند. احتمالاً مصرف مقادیر مناسب ورمی کمپوست از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاه توسط این موجودات و نیز تدارک جذب بیشتر عناصر غذایی، سبب افزایش میزان فتوسنتز و میزان کلروفیل گردیده است.

میزان سافرانال، کروسین و پیکروکروسین

برهمکنش اثر سال و نوع بستر بر مقدار کروسین و پیکروکروسین در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود. اثر متقابل بستر و عمق کشت فقط بر محتوای سافرانال اثر معنی دار داشت.

میزان سافرانال، کروسین و پیکروکروسین در گل‌های برداشت شده سال دوم به طور معنی‌دار بیشتر از سال اول بود. ضمن اینکه مقادیر این صفات در پداژه‌های کشت شده در عمق ۱۰ سانتیمتری نسبت به ۲۰ سانتیمتری بیشتر بود. طبق نتایج جدول ۵، بیشترین محتوای این ترکیبات در بستر ورمی مشاهده شد. بررسی مقایسه میانگین‌های جدول ۶ نیز نشان داد گل‌های برداشت شده از بستر حاوی ورمی کمپوست در سال دوم کشت درصد کروسین (۸۱٪) و پیکروکروسین (۶۵٪) بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. با توجه به نتایج برهمکنش نوع بستر و عمق کشت بیشترین (۳۸/۵٪) و کمترین (۲۷/۵ ٪) میزان سافرانال در تیمار ورمی کمپوست+۱۰ سانتیمتری عمق کشت و تیمار خاک + ۲۰ سانتیمتری شد. در همین راستا امینی و همکاران (Amini et al., 2014) در پژوهشی بیان کردند، مصرف ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست باعث افزایش پیکروکروسین و کروسین در کلاله زعفران گل و پداژه زعفران بود. نتایج جامی و همکاران (Jami et al., 2019) نشان داد ورمی کمپوست بر کروسین، پیکروکروسین و سافرانال کلاله در سال اول و دوم موثر است و محتوای این ترکیبات در سال دوم نسبت به سال اول افزایش نشان داده است. به طوریکه بیشترین محتوای کروسین در ۲۴۰۰۰ کیلوگرم در هر هکتار ورمی کمپوست به میزان ۴۶٪ و کمترین محتوای کروسین به میزان ۴۲٪ در بستر شاهد بود. طبق مطالعات این محققین بیشترین محتوای پیکروکروسین نیز در تیمار ۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار ورمی کمپوست (۱۵٪) و کمترین در تیمار ۲۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار (۱۳٪) ورمی کمپوست بود. با توجه به نتایج جامی و همکاران (Jami et al., 2019) بیشترین محتوای سافرانال در تیمار ۸۰۰۰ کیلوگرم ورمی کمپوست (۲۷٪) و کمترین محتوای سافرانال (۲۶٪) در تیمار شاهد بدون کود آلی مشاهده شده است. سایر محققین هم بهبود ویژگی‌های کیفی کلاله زعفران را تحت تاثیر کودهای آلی گزارش کردند. به گزارش رضاییان و پاسبان (Rezaian & Paseban, 2006) و ربانی فروتاقه و همکاران (Rabani-Foroutagheh et al., 2013) کروسین، پیکروکروسین و سافرانال کلاله زعفران تحت تاثیر کودهای آلی قرار می‌گیرد. در پژوهشی قلی زاده و همکاران (Gholizadeh et al., 2017) هم بر تاثیر کمپوست روی محتوای کروسین و پیکروکروسین کلاله اذعان داشتند. در تحقیق دیگری مشخص شد میزان کروسین با استفاده از کود ورمی کمپوست افزایش داشته است (Azizi, 2014). قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2019) گزارش کردند کودهای آلی بر محتوای پیکروکروسین کلاله اثر معنی دار دارد ولی این ترکیبات تحت تاثیر فاکتور سال قرار نگرفتند. جامی و همکاران (Jami et al., 2019) گزارش کردند درصد ترکیبات کیفی زعفران (سافرانال، کروسین و پیکروکروسین) در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول بیشتر می‌گردد. آن ها این امر را به چند ساله بودن گیاه زعفران نسبت دادند که در کل خصوصیات کمی و کیفی آن از سال دوم به بعد افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: نتایج آزمایش حاکی از نقش مثبت کودهای آلی در بهبود رشد و عملکرد مشاهده شد. به طوریکه در این بسترهای آلی هم عملکرد گل و هم عملکرد پداژه در سال دوم به مراتب نسبت به سال اول بهتر بود. در بین دو عمق کشت مورد مطالعه عمق کشت ۱۰ سانتیمتری برای افزایش عملکرد گل و عمق کشت ۲۰ سانتیمتری جهت افزایش عملکرد پداژه زعفران توصیه می‌گردد. اگرچه که آزمایش در شرایط گلدانی انجام شده است و با توجه به محدودیت تعمیم نتایج به شرایط مزرعه انجام مطالعات مزرعه‌ای در آینده توصیه می شود. افزایش تعداد پداژه‌ها (پیازهای دختری) در سال‌های بعد می‌تواند منجر به افزایش تعداد گل‌ها و در نتیجه عملکرد زعفران شود، زیرا هر پداژه قادر است چندین گل تولید کند. بنابراین، افزایش تعداد پداژه‌ها

به‌طور مستقیم می‌تواند عملکرد محصول را افزایش دهد. با این حال، کاشت سطحی به دلیل نوسانات شدید دمایی در تابستان و زمستان می‌تواند مشکلاتی ایجاد کند. در تابستان، خاک سطحی سریع‌تر داغ می‌شود که باعث خشک شدن پیازها و از بین رفتن پداژه‌ها می‌شود. در زمستان، سرمای شدید ممکن است پیازها را در معرض یخزدگی قرار دهد و موجب مرگ آن‌ها گردد. در نتیجه، کاشت سطحی می‌تواند منجر به کاهش تولید پداژه‌ها و در نهایت کاهش عملکرد محصول شود. در مقابل، کاشت عمیق‌تر به پیازها امکان می‌دهد که از نوسانات دمایی محافظت شوند و در شرایط بهتری رشد کنند. بنابراین، عمق کشت بیشتر می‌تواند طول عمر مزرعه را افزایش دهد و در نهایت باعث افزایش عملکرد زعفران شود.

منابع

Aalizadeh, M., makarian, H., ebadi, A., shafaroodi, A. (2021). Evaluation of the effect of different fertilizer treatments on yield and some reproductive traits of Saffron (*Crocus sativus* L.) in the climatic conditions of Ardabil. *Journal of Saffron Research*, 9(1), 11-27. [In Persian with English Summary]

Alvarezorti, M., Gomez Gomez, L., Rubio, J., Escriban pardo, J., Jimenez, F. & Fernandez, J.A. (2004). Development and gene expression in saffron corms; *Acta Horticulturae*, 650, 141-148.

Amini, S., Maleki Farahani, S., & Shrgi, y. (2014). Effect of organic fertilizers and biological (PGPR) on the quality of saffron (Crocus sativus L.) National Conference on Medicinal Plants, Islamic Azad University, Science and Research Branch Ayatollah Amoli. [in Persian].

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

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D. & Lucht, C. (2005). Effect of vermicompost produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. Pedobiologia. 49, 297-306.

Azizi, Z., (2014). Effects of Planting Date and Application of Biological and Chemical Fertilizers on Quantitative and Qualitative Yield of Saffron in Guilan Climate. MSc Thesis. Faculty of agriculture, University of Guilan, Iran.

Besharati, H. (2013). Some vegetative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by various fertilizers. *Iranian Journal of Soil Research*. 27, 35–36. [in Persian].

Dashti, M., & Ruiz, J. (2019). Influence of planting depth on flowering and corm growth of saffron (*Crocus sativus L.*). *Agricultural Research Journal*, 28(4), 120–128.

De-Juan, J.A., Crcoles, H.L., Munoz, R.M., and Picornell, M.R. 2009. Yield and yield components of saffron under different cropping systems. 30: 212–219

Ebrahimi, M., Pouyan, M. and Nezhad, M.M. (2020). Possibility of Replacing Manure with Other Organic Amendments in saffron (Crocus sativus L.) Cultivation at Different Mother Corm Weights. *Saffron Agronomy & Technology*, 8(1):37-57.

Eghball, B., Ginting, D. & Gilley, J.E. (2004). Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*, 96, 442-7.

El-Naggar, A.H., & El-Nasharty, A.B. (2009). Effect of growing media and mineral fertilization on growth, flowering, bulbs productivity and chemical constituents of *Hippeastrum vittatum*, Herb. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 6 (3), 360-371.

Fernandez, R., Scull, R., Gonzales, J.L., Crespo, M., Sanchez, E., Carballo, C. (1993). Effect of fertilization on yield and quality of Chamomile (Matricaria reculita L.). Aspects of mineral nutrition of the crop. Memorias 11th Congreso Latinoamericano de la Ciencia Del Suelo. 2ed Congresso cubcno de la Ciencia Del Suelo. 3, 891-894.

Frutos I., Garate A. and Eymar E. 2010. Applicability of spent mushroom compost (SMC) as organic amendment for remediation of polluted soils. *Act. Hortic*, 852: 261-268

Ghalavand, A., and Mazaheri, D. 2000. Temperature effect on flowering and potential of Iranian saffron. *Pajoohesh and Sazandegi*. 4: 65-69. [in Persian].

Ghanbari, A., Koocheki, A., & Khazaei, J. (2023). Combined effect of planting depth and organic fertilizers on saffron corm production and flowering. *Iranian Journal of Soil Management*, 14(1), 55–67.

Ghanbari, J., khajoei-negad, Gh. Van Ruth, S., Aghighi, S. (2019). The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and nutritional

regimes. *Industrial Crops and Products*, 135, 301–310.

Gholizade, Z., Aminifard, M.H., Sayyari, M.H. (2018). Evaluation of Different Levels of Municipal Waste Compost and Maternal Corm Weights on Vegetative, Reproductive and Photosynthetic Pigments of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research (semi-annual)*, 5(2):201-216

Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G.M., & Ruberto, G. (2009). Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (Crocus sativus L.) as affected by environmental conditions. *Scientia Horticulturae*, 119, 320-324.

Grilli Caiola, M. (2004). Saffron reproductive biology. *Acta Horticulturae*, 650, 25-37.

Jami, N., Rahimi, A., Sedaghati, E., Naghizadeh, M. (2020). Effects of Mycorrhiza Inoculation and Vermicompost Levels on some Nutrient Concentrations and Corm Criteria of Saffron (*Crocus sativus* L.) under Kerman Climatic Conditions. *Journal of Saffron Research (semi-annual)*, 7(2):217-234.

Jami, N., Rahimia, 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, 1-12

Javadzadeh, S. M. 2011. Prospects and problems for enhancing yield of saffron (*Crocus sativus*) in Iran. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 1, 21–25.

Kafi, M. (2002). Saffron, Production and Processing. Zaban va Adab Publications. 276 pp [in Persian].

Kafi, M., Rashed Mohassel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A. (2002). Saffron: Production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad Publication,

Khazaei, J., & Ghorbani, R. (2021). Comparative study of animal manure and vermicompost on nutrient uptake and saffron yield. *Scientia Horticulturae*, 283, 109975.

Khilare, V., Tiknaik, A., Prakash, B., Ughade, B., Korhale, G., Nalage, D & Khedkar, G. (2019). Multiple tests on saffron find new adulterant materials and reveal that Ist grade saffron is rare in the market. *Journal of Food chemistry*, 272: 635-642.

Koochaki, A., Tabrizi, L., Jahani, M. & Mohammad Abadi, A. A. (2011a). An evaluation of the effect of saffron (*Crocus sativus* L.) corm planting rate and pattern on the crop's performance. *Iranian journal of horticultural science*, 42, 379–391. [in Persian].

Koocheki, A. (2013). Research on production of saffron in Iran: Past trend and future prospects. *Saffron Agronomy and Technology*, 1 (1): 3-21. [in Persian].

Koocheki, A., & Khajehzadeh, M. (2020). Modeling the physiological responses of saffron to planting depth under semi-arid conditions. *Journal of Applied Research on Medicinal Plants*, 9(1), 14–25.

Koocheki, A., Najibnia, S., & Lalehgani, B. (2009). Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7, 173–182. [in Persian].

Koocheki, A., Nassiri-Mahalati, M., Azizi, G., & Siah-Marguee, A. (2008). The final report of design of investigation effect of different nutrient resources on qualitative and quantitative yield and competition ability of *Teucrium polium* with weeds. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. [in Persian].

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Mollafilabi, A., and Seyyedi, S. (2015). Effects of corm planting density and manure rates on flower and corm yields of saffron (*Crocus sativus* L.) in the first year after planting. *Agroecology*, 6 (4), 719-729. [in Persian].

Mirahmadi, N., Jafari, R., & Mohammadi, A. (2022). Investigation of the effect of vermicompost and mushroom compost on vegetative and reproductive growth of saffron under field conditions. *Journal of Saffron Research*, 10(2), 23–34. [in Persian].

Moallem Banhangi, F., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G.A., & Khorramdel, S. 2019. Effects of different amounts of corms and planting depths of corms on flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 7(1), 55-67

Mohamad Zadei, R. (2010). Evaluate the use of different sources of organic fertilizers in the cultivation of saffron. The first challenge for *Congress fertilizers in Iran: half a century of fertilizer*, Tehran. 1-11.

Mohamadzadeh, A.R. and Pasban, M. (2007). Effect of sources and levels of organic fertilizers on crop yield of saffron flowers. Tenth Congress of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, 6-4September:156. [in Persian].

Mokhtarian, A., and Rahimi, H. 2006. Investigation on influence of depth planting and summer irrigation on saffron yield and population variation of *Rhizoglyphus robini* in Gonabad. Final report. 913/85. Khorasan Razavi.

Naderi Darbaghshahi, M.R., Khajabashi, S.M., Baniateba, S., & Dehdashti, S.M. (2008). Effects of planting method, density, and depth on yield and production period of saffron (*Crocus sativus* L.) in Isfahan region.

Seed and Plant Improvement Journal, 24 (4), 643-657. [in Persian].

Oftadeh Fadafen, A., Aminifard, M.H., Moradinezhad, F., Behdani, M.A. (2020). Effect of Cattle Manure Vermicompost on Biochemical Criteria and Active Components of Saffron (*Crocus sativus* L.) Petals and Stigmas. *Journal of Saffron Research*, 8(1): 1-9.

Oftadeh, A., Aminifard, M.H., Behdani, M.A., and Moradineghad, F. (2017). The Effect of different levels of nitroxin and vermicompost on yield and photosynthetic pigmentation of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of saffron Research*. 5(2), 163-179. [in Persian].

Omidi, H., Naghdi Badi, H.A., Golzad, A, Torabi, H., and Footou Kian, M.H. 2009. The effect of chemical and biofertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron. *Journal of Medicinal Plants* 8 (30), 98-109. [in Persian].

Pierre Anoshi, E., imam, E., & Jamali, R. (2010) Comparison of the effects of biofertilizers with chemical fertilizers on growth, yield and oil content of sunflower (Helianthus annuss L.) at different levels of drought stress. *J. Agri. Eco*. 2(3), 492-501. [in Persian].

Poorreza, A., and Amirshekari, H. (2020) Effects of Organic, Biological Fertilizers and Summer Irrigation on Quantitative and Qualitative Yield of Saffron (Crocus sativus L.) in Zaweh city. *Journal of Saffron Research (semi-annual)*, 7(2):269-282.

Rabani-Foroutagheh, M., Hamidoghlia, Y., Mohajeri, S.A. (2013). Effect of split foliar fertilisation on the quality and quantity of active constituents in saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 1872–1878. https://doi.org/10.1002/jsfa.6506.

Rasouli, Z., Maleki Farahani, S., and Mohammad-Abadi, A.A., Rezvani-Moghaddam, P. & Sabori, A. (2006). Effect of plant distance on flower yield and qualitative and quantitative characteristics of forage production of saffron (*Crocus sativus*) in Mashhad conditions. In II *International Symposium on Saffron Biology and Technology*. 739: 151-153. [in Persian].

Rezae, M., & Baradaran, R. (2013). Effects of bio fertilizers on the yield and yield components of pot marigold (Calendula officinalis L.). *Iran J. Med. Arom. Plant* 29(3), 635-650.

Rezaei, M., Ahmadi, F., & Abbasi, S. (2019). Effect of different organic fertilizer sources on flower yield and soil properties in saffron (Crocus sativus L.) cultivation. *Iranian Journal of Sustainable Agriculture*, 7(3), 45–56. [in Persian].

Rezaian S. & Paseban M. (2007). The effect of micronutrients and manure fertilizers on the quantity and quality of Khorasan saffron. Second International Symposium on Saffron Biology and Technology, April 2007.

Rezaian, S., Paseban, M. (2006). The effect of micronutrients and manure fertilizers on the quantity and quality of khorasan saffron. *Acta Hortic.* 739, 25–33. https://doi.org/10.17660/ActaHortic, 2007.739.20.

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Amin Ghafori, A., & Shabahang, J. (2013). Evaluation of growth and yield of saffron (Crocus sativus L.) affected by spent mushroom compost and corm density. *Journal of Saffron Research*. 1, 13–26. [in Persian].

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A. & Seyyedi, M. (2013). Effect of biological and chemical fertilizers on replacement corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Crop Science*, 15(2), 234-246.

Rezvani Moghaddam, P., Mohammad abadi, A. A., Fallahi, J. and Aghhavani Shajari, M. (2011). Effects of chemical and organic fertilizers on number of corm and stigma yield of saffron (*Crocus sativus*). 59thInternational Congress and Annual Meeting of the Society for Medicinal Plant and Natural Product Research. 4th-9th September, 2011, Antalya, Turkey.

Saeedi-rad, M.H. 2000. Designing, making and evaluation corm sower of saffron. Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Center Publications. [in Persian].

Saeidi Aboueshaghi, R., Omidi, H., and 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.

Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., & Asgharzadih, A. (2011). Effect of zeolite, Bacterial inoculum of vermicomposting concentration NPK elements essential oil content and essential oil yield in organic farming chamomile (Matricaria chamomilla L.). German Quarterly.Journal of Medicinal and *Aromatic Plants of Iran research*. 27(2), 201-188. [in Persian].

Sarkhosh, D., & Vafaei, H. (2024). Long-term assessment of planting depth and organic fertilizer sources on saffron growth in non-calcareous soils. *Crop Science and Technology*, 35(1), 77–88

Singh, R., & Mehta, S. (2022). Effect of pine leaf compost and organic amendments on soil moisture and saffron flowering. *Agricultural*

Waste Management Journal, 42(2), 112–121.

Temperini, O., Rea, R., Temperini, A., Colla, G., & Rouphael, Y. (2009). Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in Italy: Effects of the age of saffron fields and plant density. Food, *Agriculture and Environment*. 7(1): 19-23

Turhan, H., Kahriman, F., Omer Egesel, C., & Kemal Gul, M. (2007). The effects of different growing media on flowering and corm formation of saffron (*Crocus sativus* L.). *African Journal of Biotechnology*, 6 (20), 2328-2332.

Vafabakhsh, J., Ahmadiyan, J., & Mokhtariyan, A.A. (2009). Investigation of correlation between saffron flowering pattern and climatological parameters under planting depth and summer irrigation treatments. 3rd International Symposium on Saffron. Forthcoming Challenges in Cultivation, Research and Economics. 20-23 May, Korokos, Kozani, Greece.

Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C. and Wong, M.H. (2004). Effect of bio fertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. *Geoderma*. 125, 155-166.