Saffron Agronomy & Technology
Homepage: https://saffron.torbath.ac.ir
Vol. 14, No. 1, 2026, p. 1-16

Assessment of the Impacts of Humic Acid Application and Mycorrhizal Fungi Inoculation on Flowering and Stigma Quality of Saffron under Two Irrigation Regimes

Amin-Allah Abbassi[1], Mohamad Galavi[1], Mahmoud Ramroudi[1]*, Hamid-Reza Fallahi[2,3] and Maysam Khavari[1]

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
2- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
3- Plant and Environmental Stresses Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article
Article history:
Submitted: 14 April 2025
Revised: 25 February 2026
Accepted: 12 March 2026
Available Online: 16 March 2026

Keywords:
Bud
Biofertilizer
Water
Availability
Leaf
Weight
Dry Stigma Yield

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Saffron (*Crocus sativus* L.) is a high-value crop grown mainly in Iran, which accounts for roughly 90% of world production. Its cultivation depends heavily on irrigation and fertility management, and growers face increasing pressure to reduce chemical inputs while maintaining yield and stigma quality. Humic acid and arbuscular mycorrhizal fungi are two biological inputs that have improved saffron growth separately in earlier work, but researchers have rarely examined irrigation frequency, humic acid, and mycorrhizal species together in a single factorial design. Because mycorrhizal effectiveness depends on water status and fungal species, and humic acid can alter root colonization, the three factors likely interact rather than act independently. This study therefore tested the combined effects of two irrigation intervals, humic acid application, and inoculation with two Glomus species on saffron flowering, flower-component yield, and stigma quality traits (crocin, picrocrocin, safranal), aiming to identify which combinations best support both productivity and quality under contrasting water regimes.

Materials and Methods

The two-year field experiment was carried out at the Faculty of Agriculture, University of Birjand, Sarayan, Iran (58°31′ E, 33°51′ N, 1450 m a.s.l.). Treatments were arranged in a split-split plot based on a randomized complete block design with three replications: irrigation interval (20 and 40 days, corresponding to about 4000 and 2000 m^3 ha^{-1} of water) as the main plot, humic acid (0 and 5 kg ha^{-1}) as the sub-plot, and mycorrhizal inoculation (non-inoculated control, Glomus mosseae, G. intraradices) as the sub-sub-plot. Corms were planted in September 2016; humic acid was applied through fertigation before and after flowering, and mycorrhizal inoculum was placed with the corms at planting. Because irrigation and biological treatments had not yet taken effect in the first autumn, flowering traits were recorded in the second growing season (Autumn 2017). Flower number, flowering rate, and the fresh and dry weights of flowers, petals, styles, and stigmas were measured on flowers harvested daily from the inner rows of each plot. Crocin, picrocrocin, and safranal contents of the dried stigmas were determined spectrophotometrically following the Iranian National Standard (INSO 259-2, 2013). Data were subjected to ANOVA, and means were separated by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Results and Discussion

The triple interaction among irrigation interval, humic acid, and mycorrhizal inoculation was significant for every measured trait. Under the shorter, 20-day irrigation interval, combining humic acid with G. mosseae inoculation gave the highest fresh flower yield (79.63 g m^{-2}), dry stigma yield (0.88 g m^{-2}), style yield (0.22 g m^{-2}), and petal yield (9.88 g m^{-2}), indicating a synergistic effect of the two biological inputs when water was not limiting. Under the longer, 40-day irrigation interval, however, mycorrhizal inoculation without humic acid tended to depress

flower yield, and the highest yield at this water regime (74.73 g m^{-2}) occurred with neither input, suggesting that under water stress the carbon cost of sustaining the fungal symbiosis can outweigh its benefit unless humic acid improves the plant's nutrient and energy balance. Despite this, mean flower yield differed by only 2.45% between irrigation regimes, suggesting saffron has fairly high tolerance to deficit irrigation. Stigma quality responded differently from yield. The highest crocin content (274.5) occurred under the 40-day irrigation interval with humic acid and G. mosseae, while the highest safranal (35.80) and picrocrocin (124.5) occurred under the 20-day irrigation interval with the same combination, showing that irrigation frequency can shift which quality trait benefits most from the same biological inputs. G. intraradices behaved differently from G. mosseae, generally performing better without humic acid or under the 40-day regime, consistent with reports that mycorrhizal effectiveness is species- and environment-dependent. The lowest crocin and safranal values occurred under 40-day irrigation with neither humic acid nor inoculation, reinforcing that the biological inputs mattered most for quality when water was already limiting.

Conclusion

Saffron flowering, yield, and stigma quality are jointly shaped by irrigation frequency, humic acid, and mycorrhizal species, and these three factors interact rather than acting additively. G. mosseae combined with humic acid under frequent irrigation offered the best overall combination of flower and stigma yield together with crocin, picrocrocin, and safranal content, while G. intraradices was more useful under reduced irrigation or without humic acid. Applying a single biological input alone did not reproduce the benefits observed from the combined application, and the value of combining inputs itself varied with water availability and fungal species. These findings suggest that recommendations for biological inputs in saffron production should be tailored to irrigation regime and mycorrhizal species rather than applied uniformly.

Cite this Article:
Abbassi, A.A., Galavi, M., Ramroudi, M., Fallahi, H.R., and Khavari, M. (2026). Assessment of the Impacts of Humic Acid Application and Mycorrhizal Fungi Inoculation on Flowering and Stigma Quality of Saffron under Two Irrigation Regimes. *Saffron Agronomy & Technology*, *14*(1), 1-16. https://doi.org/10.22048/jsat.2026.560084.1578

Corresponding author email: mramroudi42@uoz.ac.ir

Print ISSN: 2383-1529 Online ISSN: 2383-2142
https://doi.org/10.22048/jsat.2026.560084.1578

© 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).

زراعت و فناوری زعفران
جلد۱۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵ ص. ۱۶-۱
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir

تأثیر تلقیح میکوریزایی و کاربرد اسید هیومیک بر رشد بنه‌های دختری و عملکرد کلالهٔ زعفران تحت رژیم‌های آبیاری

امین اله عباسی[۱]، محمد گلوی[۱]، محمود رمرودی[۱*]، حمیدرضا فلاحی[۲،۳] و میثم خاوری[۱]

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳- گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، ایران.

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۲۵ آبان ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری: ۶ اسفند ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۴۰۴

کلمات کلیدی
جوانه گل دهنده
کود زیستی
فراهمی آب
وزن برگ
عملکرد خشک کلاله

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تلقیح میکوریزایی و مصرف اسید هیومیک بر رشد بنه‌های دختری زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت دو رژیم آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی سرایان، دانشگاه بیرجند اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بارخرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. دور آبیاری (فواصل ۲۰ و ۴۰ روز) به‌عنوان عامل اصلی و کاربرد اسید هیومیک (صفر و پنج کیلوگرم در هکتار) و تلقیح میکوریزایی (*Glumus mossea*، *G. intraradices* و عدم تلقیح) به‌ترتیب به‌عنوان عامل فرعی و فرعی- فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری بر وزن کل برگ‌ها، وزن فلس‌ها، تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های مختلف وزنی، کاربرد اسید هیومیک بر تعداد کل بنه‌های دختری، وزن فلس‌ها، وزن بنه، تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های مختلف وزنی و تلقیح میکوریزایی بر وزن کل بنه‌های دختری در بوته، تعداد جوانه‌های گل دهنده در بنه، وزن فلس و تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های مختلف وزنی تأثیر معنی‌داری داشتند. بیشترین وزن برگ و عملکرد خشک کلاله (۱/۷ گرم در مترمربع) در شرایط دور آبیاری با فواصل ۲۰ روز، تلقیح با *G. mossea* و کاربرد اسید هیومیک و کمترین آنها در دور آبیاری با فواصل ۴۰ روز، عدم تلقیح میکوریزایی و عدم کاربرد اسید هیومیک حاصل شد. بیشترین تعداد بنه‌های دختری (۵/۶۱ بنه در بوته) و تعداد جوانه (۱۴/۶ جوانه در هر بنه) در شرایط مصرف توام *G. mossea* و اسید هیومیک در دور آبیاری ۲۰ روز به‌دست آمد. در تمامی تیمارهای آزمایشی بیشترین توزیع بنه‌های دختری در گروه وزنی کمتر از ۴ گرم بود. بیشترین تعداد بنه‌های دختری درشت با وزن ۸ تا ۱۲ گرم در دور آبیاری ۲۰ روز همراه با کاربرد اسید هیومیک و تلقیح توسط *G. mossea* مشاهده شد، هر چند که در تیمار فوق بیشترین تعداد بنه‌های ریز نیز ثبت گردید. در مجموع، کاربرد اسید هیومیک و تلقیح میکوریزایی باعث افزایش نسبی وزن برگ و عملکرد خشک کلاله و افزایش وزن و تعداد بنه‌های دختری در دور آبیاری ۲۰ روز گردید.

نحوه ارجاع دهی به مقاله: عباسی، ا.، گلوی، م.، رمرودی، م.، فلاحی، ح.ر. و خاوری، م. (۱۴۰۵). تأثیر تلقیح میکوریزایی و کاربرد اسید هیومیک بر رشد بنه‌های دختری و عملکرد کلالهٔ زعفران تحت رژیم‌های آبیاری. *زراعت و فناوری زعفران*، ۱۴(۱)، ۱-۱۶.

مقدمه

یکی از بخش‌های مورد تأکید جهت توسعهٔ صادرات غیر نفتی در ایران، بخش کشاورزی است که تقویت آن در تأمین امنیت غذایی و استقلال اقتصادی بسیار ضروری است.

نویسنده مسئول: mramroudi42@uoz.ac.ir

شاپا چاپی: ۱۵۲۹-۲۳۸۳ شاپا الکترونیکی: ۲۱۴۲-۲۳۸۳
https://doi.org/10.22048/jsat.2026.560084.1578

حقوق مولفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه تربت حیدریه داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.en دیدن فرمائید.

زعفران از محصولات مهم کشور ایران است. این محصول در رشد و توسعه بخش کشاورزی و ارزآوری در راستای تحقق برنامه‌های توسعه مبنی بر افزایش صادرات غیر نفتی نقش ارزنده‌ای دارد (Moinoddini, 2025).

زعفران با قدمتی دیرینه از دوره باستان تا دوره معاصر برای ایرانیان، کاربرد خوراکی و دارویی داشته است (Azizi & Farabi, 2023; Behdani & Fallahi, 2024).

زعفران از جمله گیاهان دارویی است که در طب سنتی و مدرن به کاربردهای متعدد آن از جمله ضد اسپاسم، کمک به هضم طبیعی غذا، ضد نفخ، افزایش دهنده تعریق، خلط آور، تسکین دهنده درد، درمان اختلالات کبد و کیسه صفرا، درمان بی‌خوابی، ضد افسردگی، ضد استرس، ضد تشنج، درمان اختلالات قلبی-عروقی و ضد سرطان می‌توان اشاره نمود (Hosseinzadeh & Moudi, 2022). زعفران زراعی (*Crocus sativus* L.) گیاهی علفی است، که از نظر گیاه‌شناسی یک‌ساله و از نظر زراعی چندساله می‌باشد. در طول هر فصل زراعی، زعفران مراحل نمو را پس از گل‌دهی، با تولید بنه‌های دختری از بنه مادری طی می‌کند. در طی دوره رشد، بنه‌های جدید عموماً در روی بنه‌های قدیمی‌تر تشکیل می‌شوند، به طوری که تراکم گیاه با افزایش سن مزرعه، افزایش می‌یابد. بر این اساس، تعداد گل و نیز عملکرد کلاله زعفران در سال اول پایین و در سال‌های چهارم تا ششم پس از کاشت، به حداکثر مقدار خود می‌رسد (Koocheki & Seyyedi, 2015).

تعیین مقدار آب مورد نیاز گیاهان و جلوگیری از بیش آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور یکی از راه‌های صرفه‌جویی و مصرف بهینه آب در این مناطق است (Saeidi Noghabi et al., 2020). نتایج تحقیقی نشان داد در سال اول کاشت که تراکم گیاهی و سطح تعرق‌کنندهٔ زعفران کم می‌باشد، مصرف حدود ۳۶۰۰ مترمکعب آب در هر هکتار در طی فصل رشد همراه با مصرف کودهای آلی و شیمیایی (کود گاوی ۱۵ تن در هکتار و ۲۲۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از کودهای اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم) سودمندی مناسبی دارد (Fallahi & Mahmoodi, 2018). زعفران دارای مقاومت نسبی به تنش خشکی است، اما به دلیل عدم توسعه یافتگی ریشه‌های این گیاه، تنش شدید خشکی باعث کاهش رشد و عملکرد این گیاه می‌شود. با این وجود، کاربرد ماده آلی می‌تواند به میزان چشم‌گیری اثرات منفی تنش خشکی بر زعفران را تعدیل نماید (Moradi et al., 2024).

کاربرد نهاده‌های آلی و زیستی و نیز تنظیم کننده‌های رشد در افزایش تحمل گیاهان به خشکی و بهبود رشد و کیفیت محصولات کشاورزی مؤثر است (Behdani & Fallahi, 2024). اسید هیومیک به عنوان یکی از کودهای سازگار با محیط زیست شناخته می‌شود. این ترکیب نه تنها کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد، بلکه نقش بسزایی در افزایش تولید محصولات کشاورزی با کیفیت بالا دارد (Hosseini et al., 2023). کودهای زیستی با تأثیرگذاری بر تخلخل خاک و پایداری خاکدانه‌ها، می‌توانند بر ساختمان خاک اثر مثبتی بگذارند (Heydari et al., 2020). یکی از اثرات مهم ریزجانداران موجود در کودهای زیستی، کمک به جذب عناصر غذایی و در نتیجه بهبود رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاه است، در فرآیند تولید گیاهان دارویی که توجه به کیفیت محصول اهمیت بیشتری دارد، مصرف کودهای آلی و زیستی می‌تواند سودمندی بیشتری به همراه داشته باشد (Rahimzadeh et al., 2013). نتایج پژوهشی نشان داد که مصرف اسید هیومیک (در سه سطح غوطه‌ورسازی قلمه نیشکر در محلول‌های ۰/۳ و ۰/۵ درصد) باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه و تارهای کشنده شد و در نتیجه جذب فسفر توسط گیاه را افزایش داد (Behravan et al., 2019). در تحقیق دیگری کاربرد چهار سطح اسید هیومیک (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ کیلوگرم در هکتار) موجب افزایش تعداد گل و وزن کلاله زعفران شد (Ahmadi et

al., 2017). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) نیز گزارش کردند استفاده از سطوح مختلف اسید هیومیک (صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر بهبود شاخص‌های رشد و عملکرد زعفران اثرات مثبتی داشت. در تحقیقی اثر همزمان مصرف اسید هیومیک (تلقیح و عدم تلقیح) و قارچ میکوریزا (*G. intraradices*) بر رشد بنه‌های دختری زعفران بررسی و گزارش شد که بیشترین تعداد بنه دختری در واحد سطح از ترکیب سه‌گانه قارچ، بنه‌های مادری درشت (۱۲-۸/۱ گرم) و مصرف اسید هیومیک برابر با ۶۷ عدد در متر مربع حاصل شد (Nouri et al., 2023). نتایج اقحوانی شجری و همکاران (Aghhavani Shajari et al., 2022) ضمن تأیید نقش مثبت اسید هیومیک و قارچ میکوریزا (*G. intraradices*) بر رشد و کیفیت زعفران، نشان داد با کاربرد اسید هیومیک می‌توان فواصل آبیاری مزرعه (۲، ۳ و ۴ هفته) زعفران را افزایش داد.

بر اساس آمار ارائه شده توسط وزارت جهاد کشاورزی (MA, 2024) سطح زیر کشت زعفران در ایران در سال ۱۴۰۲ معادل با ۱۱۱۶۵۴ هکتار، مقدار تولید کلاله خشک برابر با ۳۰۱ تن و میانگین عملکرد کلاله ۲/۷ کیلوگرم در هکتار بود. این کاهش عمدتاً ناشی از سوء مدیریت زراعی، تغییرات اقلیمی و نیز خشک‌سالی‌های متوالی بوده است (Koocheki et al., 2017). بر این اساس، ارایه راهکارهایی که ضمن کاهش مقدار آب مصرفی، موجب افزایش حاصل‌خیزی خاک و نیز بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط کاهش فراهمی آب شود، دارای اهمیت است. اسید هیومیک و قارچ‌های میکوریزا به عنوان نهاده‌های آلی و زیستی می‌توانند ضمن تأمین بخشی از نیازهای غذایی گیاه، تولید محصول در محیط‌های تحت تنش خشکی را بهبود بخشند. بر این اساس، هدف از این آزمایش بررسی اثر این دو نهاده تغذیه‌ای بر رشد بنه‌های دختری زعفران تحت دو تیمار متفاوت فراهمی آب بود.

مواد و روش‌ها

زمان و مکان اجرای تحقیق

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی سرایان دانشگاه بیرجند اجرا گردید. شهرستان سرایان با طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی در ارتفاع ۱۴۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد. مهم‌ترین اطلاعات اقلیمی سرایان در طی دوره اجرای آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است.

تیمارهای آزمایش

آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. دور آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در فواصل ۲۰ و ۴۰ روز بود. اعمال این تیمار پس از اتمام گلدهی (اوایل آذر ماه) و بعد از اینکه تمامی کرت‌ها در پایان گلدهی یک مرتبه آبیاری شدند (زائیچ آب) شروع و تا پایان فصل رشد به صورت غرقابی ادامه یافت. بر این اساس در تیمارهای انجام آبیاری با فواصل ۲۰ و ۴۰ روز به‌ترتیب هشت و چهار مرتبه آبیاری در طی فصل رشد صورت گرفت و با توجه به اینکه میزان آب مصرفی در هر نوبت آبیاری حدود ۵۰۰ مترمکعب در هکتار بود، در تیمارهای مذکور به‌ترتیب ۴۰۰۰ و ۲۰۰۰ مترمکعب آب در طی فصل رشد زعفران مصرف شد. تیمارهای اسید هیومیک و میکوریزا به‌ترتیب به‌عنوان عامل فرعی و فرعی- فرعی در نظر گرفته شدند. در تیمار تلقیح میکوریزا، از مایه تلقیح خاک‌پایه حاوی گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار با تراکم تقریبی ۵۰ تا ۱۵۰ اسپور زنده در هر گرم خاک، تهیه‌شده از شرکت زیست فناوران توران (سمنان، ایران)، استفاده شد. این مایه تلقیح هم‌زمان با کاشت بنه و به میزان تقریبی ۱۵ گرم برای هر بنه، در زیر ردیف‌های کاشت قرار داده شد (Aghhavani-Shajari et al., 2017). اسید هیومیک

مورد استفاده از شرکت آریا شیمی (زاهدان، ایران) تهیه گردید و به روش کودآبیاری در آبیاری پیش از گل‌دهی مصرف شد و کاربرد آن در سه نوبت آبیاری پس از گل‌دهی نیز تکرار گردید. اسید هیومیک مصرفی حاوی ۳۰ درصد اسید هیومیک، ۱۰ درصد اسید فولیک، ۸ درصد فسفات، ۱۱ درصد نیتروژن و ۱۷ درصد پتاسیم بود.

جدول ۱- برخی اطلاعات اقلیمی سرایان در طی دوره اجرای آزمایش

Table 1- Some climatic parameters of Sarayan during the experiment period

سال Year	ماه Month	حداقل دما Min. temperature (°C)	حداکثر دما Max. temperature (°C)	میزان بارندگی Rainfall (mm)
2016	October مهر	9.6	37.6	0.3
	November آبان	3.7	28.5	0
	December آذر	-8.7	23.7	0.7
	January دی	-4	21.6	17.4
	February بهمن	-5.9	18.7	70.5
	March اسفند	-2.7	25.3	11.3
2017	April فروردین	2.4	35.2	10.8
	May اردیبهشت	9	37.4	7.7
	Juneخرداد	16.3	41.5	0
	July تیر	15.4	43.5	0
	August مرداد	16.2	38.1	0
	September شهریور	11.9	35.5	0
	October مهر	3.8	34.1	0

عملیات زراعی

برای کاشت گیاه، ابتدا زمینی به مساحت ۴۰۰ متر مربع مشخص گردید و سپس با استفاده گاوآهن برگردان‌دار عمل شخم در اول مهر ماه سال ۱۳۹۵ انجام شد و پس از آن تسطیح زمین صورت گرفت. به منظور اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از شروع آزمایش نمونه‌های خاکی به صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از چند نقطه به صورت زیگزاگ تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. تمامی نمونه‌ها در دمای اتاق، خشک و پس از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و سپس اندازه‌گیری‌های لازم روی نمونه مرکب صورت گرفت که نتایج مربوطه در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of the soil in experimental site

بافت خاک Soil texture	فسفر کل P_{total} (ppm)	کربن آلی O.C	نیتروژن کل N_{total} (٪)	ماده آلی O.M	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC ($ms.cm^{-2}$)
لومی شنی Sandy loam	3.8	0.234	0.02	0.4	7.98	3.95

بنه‌های مورد نیاز جهت کاشت از مزارع شهرستان سرایان تهیه شدند. بنه‌ها قبل از کاشت از نظر ابتلا به بیماری‌های قارچی و آفت کنه مورد بررسی قرار گرفت و بعد اطمینان از عدم آلودگی، بنه‌های سالم (از نظر فیزیکی) و تمیز با وزن ۸ تا ۱۰

گرم انتخاب شده و مقداری از فلس‌های آزاد روی بنه جدا شد تا جذب آب توسط بنه‌ها آسان‌تر و سبز شدن سریع‌تر انجام شود. در هر کرت آزمایشی (با ابعاد ۱/۵ در ۱/۵ متر) بنه‌ها در ۷ ردیف کاشت در تاریخ هفتم مهر ماه سال ۱۳۹۵ کشت شدند. در هر ردیف (به طول ۱/۵ متر) ۳۲ عدد بنه ۸ تا ۱۰ گرمی در عمق ۱۵ سانتی‌متری به‌صورت دانه تسبیحی با تراکم حدود ۱۰۰ بنه در متر مربع به صورت دستی کاشته شدند. فواصل بین ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر منظور شد. بلافاصله پس از کاشت، آبیاری کرت‌ها به همراه کاربرد اسید هیومیک (در کرت‌های مربوطه) صورت گرفت. با فاصله ۵ روز از آبیاری اول و پس از حصول امکان فعالیت در زمین، سطح زمین با چهارشاخ تا عمق حدود ۵ سانتی‌متر سله‌شکنی شد. این عمل باعث می‌شود تا گل‌ها به آسانی از خاک خارج شوند و همچنین رطوبت زمین حفظ و تهویه خاک بهبود یابد. وجین علف‌های هرز مزرعه نیز در اواخر اسفند و اواسط فروردین در دو نوبت به‌صورت دستی انجام شد.

شاخص‌های مورد مطالعه

پس از انجام آخرین آبیاری بهاره در اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۶ و زمانی‌که برگ‌های گیاه خشک شد (آغاز مرحله خواب حقیقی بنه)، تعداد پنج بوته (کلون) از هر کرت به‌صورت تصادفی از خاک خارج شد. بنه‌های برداشت شده، پس از شست و شو به مدت یک ماه در شرایط آزمایشگاه قرار گرفته و سپس شاخص‌های مرتبط با رشد بنه‌های دختری شامل وزن و تعداد بنه‌های دختری موجود در هر بوته، وزن فلس، متوسط وزن بنه، تعداد جوانه‌های موجود در بنه و نیز تعداد و عملکرد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی مختلف (کمتر از ۴ گرم، ۴ تا ۸، ۸ تا ۱۲ و بیش از ۱۲ گرم) تعیین شد. افزون بر این، برگ‌های پنج بوته مربوطه نیز به‌طور جداگانه برداشت و پس از خشک شدن توزین گردید. برداشت گل‌های زعفران در آبان‌ماه سال ۱۳۹۶، با فاصله ۱۵ روز پس از اولین آبیاری پاییزه آغاز شد. گل‌ها در اوایل صبح به‌صورت روزانه از سطح هر کرت برداشت و به آزمایشگاه انتقال یافتند. پس از جدا کردن کلاله و خشک شدن آن در سایه، مجموع عملکرد کلاله خشک در طی دورهٔ گلدهی تعیین شد.

آنالیز آماری

محاسبات آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 انجام گرفت. میانگین‌ها نیز به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

وزن برگ در کلون

نتایج تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش آبیاری× اسید هیومیک× تلقیح میکوریزا بر وزن برگ دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن برگ‌ها (۱/۷۴ گرم در هر بوته) از تیمار دور آبیاری ۲۰ روز به همراه کاربرد اسید هیومیک و تلقیح توسط قارچ میکوریزای *G. mossea* حاصل که نسبت به عدم کاربرد اسید هیومیک و تلقیح با قارچ میکوریزایی *G. intradiaces* در دور آبیاری ۴۰ روز، افزایش ۳۳ درصدی را نشان داد (جدول ۴). در تحقیق مشابهی انجام آبیاری متداول (بدون تنش)، در مؤسسه تحقیقات خاک و آب به همراه کاربرد بیوچار (۱۰ تن در هکتار) و قارچ میکوریزای *R. irregularis* موجب افزایش وزن برگ گیاه شد (Habibi et al., 2021). آبیاری با فواصل مناسب تنش آبی را کاهش داده و فتوسنتز و رشد رویشی گیاه را بهبود می‌دهد (Behdani & Fallahi, 2024). اسید هیومیک می‌تواند به‌طور مستقیم اثرات مثبتی بر رشد گیاه بگذارد. رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه توسط اسید هیومیک تحریک می‌شود، ولی اثر آن روی ریشه برجسته‌تر است، حجم ریشه را افزایش داده و باعث اثربخشی بهتر سیستم ریشه

می‌گردد. اسید هیومیک جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر را توسط گیاه افزایش می‌دهد (Rahi et al., 2012). قارچ میکوریزا (*G. intraradices*) در گیاه زعفران با افزایش جذب آب و عناصر غذایی به‌خصوص فسفر، کارایی تغذیه‌ای گیاه را بالا می‌برد (Aghhavani Shajari et al. 2022). در نتیجه، ترکیب این عوامل موجب افزایش وزن برگ‌های زعفران می‌شود. در بین عناصر غذایی بیشترین نقش مایکوریزا در جذب فسفر است. همچنین مشخص شد که استفاده از کودهای زیستی تا ۲۵ درصد به افزایش تعداد گل و عملکرد کلاله نسبت به شاهد کمک می‌کند (Koocheki et al., 2011). تلقیح قارچ میکوریزا روی زعفران موجب افزایش ارتفاع بوته، وزن تر ریشه و اندام هوایی در گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد گردید (Zand et al., 2014).

تعداد بنه دختری در کلون

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد اسید هیومیک بر تعداد بنه‌های دختری در کلون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با کاربرد اسید هیومیک تعداد بنه‌های دختری در کلون در دور آبیاری ۲۰ روز به میزان چهار درصد و در دور آبیاری ۴۰ روز به میزان ۱۸ درصد نسبت به عدم کاربرد اسید هیومیک افزایش یافت (جدول ۴). نتایج تحقیق مشابهی نشان داد کاربرد مقادیر ۵ و ۱۵ لیتر اسید هیومیک در هکتار توانست به‌ترتیب به میزان ۵۰ و ۵۷ درصد تعداد بنه دختری در انتهای فصل رویشی سال اول (اردیبهشت ماه ۱۳۹۴) زعفران را افزایش دهد (Ahmadi & Aminifard, 2018). محقق دیگری دریافت کاربرد ۴۰ لیتر اسید هیومیک در هکتار موجب افزایش ۱۰ درصدی تعداد کل بنه در متر مربع شد. آن‌ها این موضوع را به اثر مثبت اسید هیومیک در افزایش جذب آب و مواد غذایی و نیز تقویت و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه نسبت دادند (Osmani Roudi et al., 2015).

وزن کل بنه‌های دختری در کلون

نتایج نشان داد برهمکنش آبیاری× تلقیح میکوریزا بر وزن کل بنه‌های دختری در کلون در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین وزن کل بنه‌های دختری (۱۷/۷۸ گرم در کلون) از دور آبیاری ۲۰ روز با تلقیح قارچ *G. mossea* و کم‌ترین وزن آن (۱۴/۴۹ گرم در کلون) از دور آبیاری ۴۰ روز با تلقیح قارچ *G. intradiaces* حاصل شد (جدول ۴). نتایج پژوهش مشابهی در شرایط اقلیمی سرایان نشان داد با کاهش فواصل آبیاری از چهار به دو هفته وزن کل بنه‌های دختری به میزان هفت درصد افزایش یافت (Fallahi & Mahmoodi, 2018). نتایج تحقیق دیگری با ارزیابی تیمارهای آبیاری با تخلیه ۷۰ درصد رطوبت و آبیاری کامل نشان داد که آبیاری کامل و تأمین رطوبت کافی سبب افزایش تعداد بنه‌های دختری زعفران شد (Khashei Siuki et al., 2016). اگر چه زعفران گیاهی نسبتاً کم‌توقع نسبت به حاصلخیزی خاک و آبیاری می‌باشد، ولی فراهمی مناسب آب به همراه استفاده از کودهای آلی به عنوان بستر کاشت، با بهینه‌سازی رشد و به دنبال آن بهبود وزن بنه‌های دختری، افزایش عملکرد گل و کلاله زعفران را به دنبال دارد (Shariatmadari et al., 2018; Behdani & Fallahi, 2024).

جدول ۳- تجزیه واریانس مربوط به وزن برگ و برخی ویژگی های بنه زعفران تحت تاثیر تلقیح میکوریزایی و مصرف اسید هیومیک در دو رژیم آبیاری

Table 3- Analysis of variance for leaf weight and some saffron corm traits under the influence of mycorrhizal inoculation and humic acid consumption in two irrigation regimes

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df	وزن برگ‌ها در کلون Leaf weight per clone	تعداد بنه دختری در کلون Number of daughter corms per clone	وزن بنه‌های دختری در کلون Weight of daughter corms per clone	وزن فلس‌ها در کلون Weight of scales per clone	تعداد جوانه در بنه Number of buds per corm	عملکرد خشک کلاله Dry yield of stigma
Block	بلوک	2	0.009	0.101	0.291	0.0015	2.892	0.023
Irrigation (I)	آبیاری	1	0.669**	0.896ns	2.689ns	0.0348**	0.173ns	0.499**
E_a	خطای a	2	0.020	0.277	1.800	0.0003	16.254	0.017
Humic acid (H)	اسید هیومیک	1	0.005ns	2.777**	0.426ns	0.0498**	3.410ns	0.092*
I × H	آبیاری × اسید هومیک	1	0.130*	1.224ns	1.562ns	0.0005ns	0.040ns	0.217**
E_b	خطای b	4	0.011	0.098	0.204	0.0051	3.024	0.024
Mycorrhiza (M)	میکوریزا	2	0.026ns	0.686ns	8.261**	0.0157**	9.076*	0.054*
I × M	آبیاری × میکوریزا	2	0.032ns	0.096ns	5.918**	0.0466**	8.220ns	0.029ns
H × M	اسید هومیک × میکوریزا	2	0.253ns	0.558ns	2.259ns	0.0147**	0.105ns	0.065ns
I × H × M	آبیاری× اسید هومیک × میکوریزا	2	0.062**	0.628ns	1.233ns	0.0468**	14.104ns	0.166ns
E_c	خطای c	16	0.010	0.208	0.519	0.001	2.106	0.013
C.V. (%)	ضریب تغییرات (درصد)	-	8.27	9.43	4.45	3.79	12.40	8.22

ns، *، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ns غیر معنی دار.

ns, *, ** significant at the 0.05 and 0.01 of probability level respectively, and ns is non-significant.

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های وزن کل برگ و برخی ویژگی های بنه زعفران تحت تاثیر برهمکنش تلقیح میکوریزایی و کاربرد اسید هیومیک در دو رژیم آبیاری

Table 4- Mean comparison of average total leaf weight and some traits of saffron corm under the influence of mycorrhizal inoculation and humic acid application in two irrigation regimes

دور آبیاری Irrigation interval (Day)	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments: هیومیک اسید Humic acid (kg.ha^{-1})	تلقیح میکوریزایی Mycorrhizal innoculation	وزن برگ‌ها Leaf weight (g.plant^{-1})	تعداد بنه دختری در بوته Number of daughter corms per plant	وزن کل بنه‌های دختری در بوته Weight of daughter corms per plant (g)	در بنه تعداد جوانه Number of buds per corm	وزن فلس‌ها در هر بوته Weight of scales per plant (g)	عملکرد خشک کلاله (گرم در متر مربع) Dry stigma yield (g.m^{-2})
20	0	Control	1.16^{de}	4.55^{cde}	15.86^{bcde}	11.33^{b}	0.965^{e}	1.326def
		G. mossea	1.37^{bc}	5.55^{ab}	15.40^{def}	11.40^{bc}	0.986^{de}	1.693ab
		G. intradiaces	1.41^{b}	4.61^{cde}	17.11^{ab}	11.55^{abc}	0.981^{de}	1.483bcd
	5	Control	1.39^{b}	4.83^{bcd}	17.08^{ab}	11.22^{bc}	0.990^{cde}	1.336def
		G. mossea	1.74^{a}	5.61^{a}	17.78^{a}	14.62^{a}	1.322^{a}	1.716a
		G. intradiaces	1.19^{cde}	4.83^{bcd}	17.64^{a}	10.50^{bc}	1.145^{b}	1.613abc
40	0	Control	0.911^{f}	4.50^{cde}	16.78^{abc}	12.44^{ab}	1.040^{cd}	1.406cde
		G. mossea	1.11^{e}	4.22^{de}	14.94^{ef}	9.18^{c}	0.999^{cde}	1.266efg
		G. intradiaces	1.08^{ef}	3.94^{e}	16.27^{bcd}	12.44^{ab}	1.063^{c}	1.590abc
	5	Control	1.30^{bcd}	5.38^{ab}	15.55^{cdef}	13.44^{ab}	1.003^{cde}	1.110g
		G. mossea	1.14^{de}	5.16^{abc}	15.13^{def}	11.72^{abc}	1.033^{cde}	1.126fg
		G. intradiaces	1.09^{ef}	4.88^{abcd}	14.49^{f}	10.55^{bc}	0.982^{de}	1.256efg

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

In each column, means followed by at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

وزن فلس‌ها در کلون

نتایج نشان داد که اثر برهمکنش دور آبیاری× اسید هیومیک × تلقیح میکوریزا بر وزن فلس‌ها در هر بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن فلس‌ها در هر کلون (۱/۳۲۲ گرم) از دور آبیاری ۲۰ روز به همراه کاربرد اسید هیومیک و تلقیح بنه توسط قارچ میکوریزا *G. mossea* و کم‌ترین وزن آن (۰/۹۶۵ گرم در بوته) از دور آبیاری ۲۰ روز عدم کاربرد اسید هیومیک و عدم تلقیح قارچ میکوریزا حاصل شد (جدول ۴). نتایج تحقیق مشابهی در زعفران نشان داد افزایش سطح مصرف اوره و کود دامی باعث افزایش وزن بنه و فلس‌ها شد (Rezvani Moghaddam et al., 2014). بنظر می‌رسد اسید هیومیک و تلقیح میکوریزا با ارتقای شرایط تغذیه‌ای و تقویت متابولیسم گیاه، در توسعهٔ فلس‌های اطراف بنه زعفران موثر باشند.

تعداد جوانه در بنه

تلقیح بنه‌های زعفران با قارچ میکوریزا اثر معنی‌داری بر تعداد جوانه در بنه داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین تعداد جوانه در بنه (۱۴/۶ جوانه) از تیمار دور آبیاری ۲۰ روز همراه با تلقیح توسط قارچ میکوریزا *G. mossea* و کاربرد پنج کیلوگرم اسید هیومیک به‌دست آمد، در حالی‌که کمترین مقدار این ویژگی با ۹/۱ جوانه در بنه از تیمار دور آبیاری ۴۰ روز همراه با تلقیح قارچ میکوریزا *G. mossea* و عدم کاربرد اسید هیومیک حاصل شد (جدول ۴). در تحقیق مشابهی با هدف بررسی تأثیر نظام‌های مختلف کم‌نهاده، متوسط نهاده و پرنهادهٔ ارگانیک و رایج بر رشد بنه‌های دختری زعفران در طی یک دورهٔ رشد یکسالهٔ گیاه از مهرماه ۱۳۹۴ تا اردیبهشت ماه سال ۱۳۴۹ گزارش شد استفاده از مدیریت تغذیه‌ای ارگانیک در مقایسه با نظام زراعی متداول تأثیر مطلوبی بر بهبود ویژگی‌های رشدی بنه‌های دختری زعفران به‌خصوص میانگین وزن بنه و تعداد جوانه‌ها دارای پتانسیل گلدهی اعمال نمود (Behdani et al., 2017). نتایج بررسی اثر حاصلخیزکننده‌های خاک بر تعداد جوانه‌های گل‌دهنده در هر بنهٔ زعفران نشان داد که کودهای دامی (گاوی پوسیده به‌میزان ۴۰ تن در هکتار)، شیمیایی، زیستی و گوگرد توانستند به‌ترتیب ۵۸، ۵۵، ۲۶ و ۲۵ درصد نسبت به شاهد مقدار این شاخص را افزایش دهند (Asadi et al., 2018). بنظر می‌رسد قارچ میکوریزا با گسترش سطح جذب ریشه و تسهیل جذب آب و عناصر غذایی شرایط را برای تقسیم سلولی بنه فراهم می‌کند. اسید هیومیک نیز با بهبود ساختار خاک، افزایش دسترسی مواد غذایی و تحریک تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین، ممکن است در تشکیل جوانه‌های جدید موثر باشد (Koocheki et al., 2016; Aghhavani Shajari et al., 2022). در نتیجه، ترکیب این دو منبع غذایی همراه با فراهمی مطلوب آب موجب افزایش تعداد جوانه در بنه‌های دختری زعفران شده است.

وزن خشک کلاله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر برهمکنش دور آبیاری× اسید هیومیک× تلقیح میکوریزا بر وزن خشک کلاله معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک کلاله از دور آبیاری ۲۰ روز آبیاری توام با کاربرد اسید هیومیک و تلقیح قارچ مایکوریزا *G. mossea* و کمترین آن از دور آبیاری ۴۰ روز، عدم کاربرد اسید هیومیک و قارچ میکوریزا به‌دست آمد (جدول ۴). بر اساس نتایج تحقیقی استفاده از سطوح مختلف اسید هیومیک بر بهبود شاخص‌های رشد و عملکرد زعفران اثرات مثبتی داشت (Koocheki et al., 2015). ارتباط نزدیکی بین وضعیت رشدی بنه‌های دختری زعفران با گلدهی این گیاه وجود دارد، بطوری‌که افزایش وزن بنه از مهم‌ترین عوامل موثر در بهبود گلدهی زعفران می‌باشد (Fallahi et al., 2024) و از این‌رو بهبود عملکرد کلالهٔ

زعفران در شرایط تأمین مطلوب آب همراه با کاربرد اسید هیومیک و قارچ میکوریزا ناشی از افزایش شاخص‌های رشد بنه‌های دختری در این تیمارها می‌باشد (جدول ۴). اسید هیومیک با قابلیت‌کلات کنندگی خود باعث افزایش جذب عناصر غذایی خاک شده و به‌دلیل تأثیر بر افزایش متابولیسم گیاه، تقویت ریزموجودات خاک و بهبود وضعیت فیزیکی خاک باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Ebrahimi et al., 2020).

جدول ۵- تجزیه واریانس نحوه توزیع تعداد بنه‌های دختری زعفران در گروه‌های وزنی مختلف، تحت تاثیر تلقیح میکوریزایی و کاربرد اسید هیومیک در دو رژیم آبیاری

Table 5- Analysis of variance of the distribution of the number of saffron daughter corms in different weight groups, influenced by the levels of mycorrhizal inoculation and humic acid consumption in two irrigation regimes

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد بنه کمتر از ٤ گرم Number of corm with weight less than 4 g	تعداد بنه ٨-٤ گرم Number of corm with weight of 4-8 g	تعداد بنه ١٢-٨ گرم Number of corm with weight of 8-12 g	تعداد بنه با وزن بیش از ١٢ گرم Number of corm with weight more than 12 g
بلوک Block	2	1.100	0.0016	0.140	0.0008
آبیاری Irrigation (I)	1	0.175^{ns}	0.1178^{*}	0.288^{**}	0.0096^{**}
خطای اصلی Error I	2	0.427	0.00085	0.012	0.0003
اسید هیومیک Humic acid (H)	1	2.761^{**}	0.2085^{**}	0.015^{ns}	0.0124^{**}
آبیاری × اسید هومیک I × H	1	2.030^{ns}	0.0002^{ns}	0.004^{ns}	0.0272^{ns}
خطای فرعی Error II	4	0.579	0.0052	0.026^{ns}	0.0023
میکوریزا Mycorrhiza (M)	2	1.077^{*}	0.1085^{**}	0.009^{ns}	0.0143^{**}
آبیاری × میکوریزا I × M	2	0.238^{ns}	0.0147^{**}	0.088^{*}	0.0055*
اسید هومیک × میکوریزا H × M	2	0.341^{ns}	0.5356^{**}	0.177^{**}	0.0036^{*}
آبیاری × اسید هومیک× میکوریزا I × H × M	2	0.920^{ns}	0.0520^{**}	0.033^{ns}	0.0469^{**}
خطای فرعی فرعی Error II	16	0.255	0.0013	0.012	0.0008
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	14.63	6.51	22.00	12.29

*، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ns غیر معنی دار.

*, ** significant at the 0.05 and 0.01 level of probability respectively, and ns is non-significant.

تعداد بنه در گروه‌های وزنی مختلف

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر کاربرد اسید هیومیک و میکوریزا روی تعداد بنه‌های دختری با وزن کمتر از ۴ گرم، برهمکنش اسید هیومیک× میکوریزا و همچنین برهمکنش آبیاری× میکوریزا روی تعداد بنه‌های دختری با وزن ۸ تا ۱۲ گرم و نیز برهمکنش دور آبیاری× اسید هیومیک× میکوریزا روی تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی ۴ تا ۸ و بیش از ۱۲ گرم معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین تعداد بنه‌های دختری ریز (کوچک‌تر از ۴ گرم) نشان داد به‌میزان ۳۹ درصد بین بهترین تیمار (دور آبیاری ۲۰ روز و تلقیح قارچ میکوریزا *G. mossea*) و ضعیف‌ترین تیمار (دور آبیاری ۴۰ روز و عدم تلقیح قارچ میکوریزا) اختلاف وجود داشت (جدول ۶). نتایج تحقیق مشابهی نشان داد تلقیح با کودهای میکوریزا (خاک حاوی اسپور قارچ استفاده شده شامل مخلوطی از گونه‌های *R. glomus, G. caledonius, R. irregularis*) در تیمارهای ۷/۵، ۱۰ و ۱۵ گرم خاک حاوی اسپور قارچ به ازای هر کپه زعفران به ترتیب موجب افزایش ۳۵، ۲۷ و ۸ درصدی تعداد بنه در بوته نسبت به تیمار شاهد شدند (Jami et al., 2020). در مطالعه صورت گرفته روی زعفران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک مشاهده شد که کاهش آبیاری از سطح ۱۰۰ به ۷۵ درصد نیاز آبی سبب کاهش معنی‌دار تعداد بنه‌های دختری و ورن آن‌ها شد و عملکرد بنه دختری را کاهش داد (Karimiferezgh et al., 2018).

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری × میکوریزا و اسید هیومیک × میکوریزا بر تعداد بنه‌های دختری دارای وزن ۸ تا ۱۲ گرم نشان داد ۶۸ درصد بین بیش‌ترین تعداد بنه (دور آبیاری ۲۰ روز و کاربرد اسید هیومیک و تلقیح قارچ میکوریزا *G. mossea*) و کم‌ترین تعداد بنه (دور آبیاری ۲۰ روز عدم کاربرد اسید هیومیک و عدم تلقیح قارچ میکوریزا) اختلاف وجود داشت (جدول ۶). در تحقیق مشابهی بررسی برهمکنش وزن بنه مادری، میکوریزا و اسید هیومیک نشان داد که بیش‌ترین تعداد و وزن بنه‌های دختری بزرگ (به‌ترتیب با ۱۳ بنه در مترمربع و ۱۰۹ گرم در متر مربع) در ترکیب تیماری کاشت بنه مادری بزرگ، میکوریزا گونه *G. intraradices* و مصرف اسید هیومیک حاصل شد (Noori et al., 2023).

مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری× اسید هیومیک × میکوریزا روی تعداد بنه‌های دختری دارای وزن ۴ تا ۸ گرم نشان داد ۸۱ درصد بین بیش‌ترین تعداد بنه (دور آبیاری ۲۰ روز، کاربرد اسید هیومیک و تلقیح توسط قارچ میکوریزا *G. mossea*) و کم‌ترین تعداد بنه (دور آبیاری ۴۰ روز، عدم کاربرد اسید هیومیک و عدم تلقیح قارچ میکوریزا) اختلاف وجود داشت (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های نحوه توزیع تعداد بنه‌های دختری زعفران در گروه‌های وزنی مختلف تحت برهمکنش تلقیح میکوریزایی، کاربرد اسید هیومیک و رژیم آبیاری

Table 6- Mean comparison for distribution of the number of saffron daughter corms in different weight groups under the interaction of mycorrhizal inoculation, humic acid application and irrigation regime

دور آبیاری Irrigation intervals (day)	اسید هیومیک Humic acid ($kg.ha^{-1}$)	تلقیح میکوریزایی Mycorrhizal innoculation	تعداد بنه کمتر از ٤ گرم Number of corm with weight less than 4 g	تعداد بنه ٨-٤ گرم Number of corm with weight of 4-8 g	تعداد بنه ١٢-٨ گرم Number of corm with weight of 8-12 g	تعداد بنه با وزن بیش از ١٢ گرم Number of corm with weight more than 12 g
20	0	Control	3.26^{b-e}	0.777^{b}	0.246^{c}	0.177^{cd}
		G. mossea	4.27^{ab}	0.805^{b}	0.388^{c}	0.111^{e}
		G.intradiaces	2.89^{de}	0.499^{de}	0.514^{abc}	0.221^{c}
	5	Control	3.99^{abc}	0.444^{e}	0.444^{bc}	0.277^{b}
		G. mossea	4.36^{a}	0.888^{a}	0.777^{a}	0.333^{a}
		G.intradiaces	3.27^{b-e}	0.277^{f}	0.388^{c}	0.178^{cd}
40	0	Control	2.66^{e}	0.668^{c}	0.666^{ab}	0.277^{b}
		G. mossea	2.99^{cde}	0.552^{d}	0.395^{c}	0.333^{a}
		G.intradiaces	2.93^{cde}	0.499^{de}	0.686^{ab}	0.166^{d}
	5	Control	3.77^{a-d}	0.166^{g}	0.499^{bc}	0.333^{a}
		G. mossea	3.41^{a-e}	0.332^{f}	0.699^{ab}	0.166^{d}
		G.intradiaces	3.55^{a-e}	0.777^{b}	0.333^{c}	0.222^{c}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

In each column, means followed by at least one similar letter are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.

مقایسه میانگین‌های برهمکنش آبیاری× اسید هیومیک× میکوریزا روی تعداد بنه‌های دختری با وزن بیش از ۱۲ گرم نشان داد ۶۷ درصد بین بیش‌ترین تعداد بنه (دور آبیاری ۲۰ روز، کاربرد اسید هیومیک و تلقیح با استفاده از قارچ میکوریزا *G. mossea*) و کم‌ترین تعداد بنه (دور آبیاری ۲۰ روز، تلقیح قارچ میکوریزا *G. mossea* و عدم کاربرد اسید هیومیک) اختلاف وجود داشت (جدول ۶). در تحقیق مشابهی گزارش شد کاهش فواصل آبیاری از چهار هفته به دو هفته در شرایط کاشت بنه-

های مادری دارای وزن بیش از ۸ گرم، بر عملکرد بنه‌های دختری زعفران اثر مثبتی داشت (Ahmadi et al., 2022).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد با کاهش دور آبیاری مزرعه زعفران از ۴۰ به ۲۰ روز، وزن فلس‌ها، تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های مختلف وزنی، تعداد کل بنه‌های دختری، وزن بنه، وزن کل بنه‌های دختری در بوته، تعداد جوانه‌های گل دهنده در بنه افزایش یافت. کاربرد اسید هیومیک (پنج کیلوگرم در هکتار) توانست مقدار شاخص‌های مورد بررسی در هر دو دور آبیاری را افزایش دهد. تلقیح بنه با قارچ‌های میکوریزا (*G. mossea*) توانست اثر افزاینده همچون کاربرد اسید هیومیک بر ویژگی‌های مورد بررسی در دوره آبیاری ۲۰ روزه داشته باشد. تلقیح بنه زعفران با قارچ میکوریزا در دوره آبیاری ۴۰ روزه توانست وزن کل برگ‌ها را نسبت به شاهد ۱۷ درصد بهبود ببخشد. در مجموع، فراهمی مطلوب آب و کاربرد اسید هیومیک و تلقیح میکوریزایی اثر مثبتی بر رشد بنه و عملکرد کلاله زعفران داشت.

سپاسگزاری

بدینوسیله بابت حمایت مالی که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره GR9360 تأمین شده، سپاسگزاری می گردد. از دانشگاه بیرجند (دانشکده کشاورزی سرایان) جهت تأمین امکانات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی برای اجرای این آزمایش، تشکر می‌شود.

مشارکت نویسندگان

امین اله عباسی: روش‌شناسی، اجرای آزمایش، نمونه‌برداری، گردآوری داده‌ها. محمد گلوی: ایده‌پردازی، روش‌شناسی، سرپرستی تیم تحقیق. محمود رمرودی: ایده‌پردازی، اعتبارسنجی داده‌ها، مشارکت در نگارش پیش‌نویس مقاله، ارسال مقاله به مجله. حمیدرضا فلاحی: ایده‌پردازی، مشاور تحقیق، فراهم کردن امکانات میدانی، مشارکت در نگارش پیش‌نویس مقاله، تدوین نسخه نهایی مقاله. میثم خاوری: خدمات نرم‌افزاری، مشارکت در نگارش پیش‌نویس اولیه

منبع تأمین مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل و فراهم کردن امکانات میدانی و آزمایشگاهی توسط دانشگاه بیرجند، اجرا شده است.

دسترسی به داده‌ها و مواد پژوهشی

تمامی اطلاعات و داده‌ها پس از آنالیز آماری در مقاله درج شده است. در صورت نیاز به داده‌های خام، اطلاعات پس از مکاتبه با نویسنده مسئول، از طریق ایمیل قابل دسترسی هستند.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

Aghhavani Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., & Koocheki, A. (2017). Increasing saffron (*Crocus sativus* L.) corm size through the mycorrhizal inoculation, humic acid application and irrigation managements. *Journal of Plant Nutrition, 41*(8), 1047–1064.

Aghhavani Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., & Koocheki, A. (2022). Does nutrient and irrigation managements alter the quality and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Agricultural Water Management*, *267*, 107629. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107629

https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1433835

Ahmadi, F., & Aminifard, M. H. (2018). Effects of foliar spraying humic acid on some morphological characteristics and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, *6*(1), 17-26. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2017.540.1021

Ahmadi, F., Aminifard, M., Khayyat, M., & Samadzade, A. (2017). Evaluation of humic acid and planting density on flower yield and vegetative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Medicinal & Aromatic Plants Research*, *33*(2), 293-303. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.107051.1827

Ahmadi, H., Amini, M., Vazin, F., & Madani, A. (2022). Study the effect of irrigation cycle and size of mother corms on flower yield and daughter corms in saffron. *Sustainable Agricultural Science Research*, *1*(4), 14-28. (In Persain with Enghlish Abstract).

Asadi, G. A., Khorramdel, S., Ghorbani, R., & Bicharanlou, B. (2018). Evaluation of integrated management of soil fertilizers and summer irrigation on agronomic criteria and flower and stigma yield of saffron. *Saffron Agronomy & Technology*, *6*(4), 393-414. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2018.70724.1205

Azizi, E., & Farabi, Sh. (2023). Investigating the history and long term effect of climatic on saffron production in Khorasan Razavi province. *Saffron Agronomy & Technology*, *11*(2), 137-161. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2023.384206.1480 https://doi.org/10.22048/jsat.2023.384206.1480

Behdani, M. A., Zamani, G., Fallahi, H., Sayyari Zohan, M. H., & Samadzadeh, A. (2017). Evaluation of replacement corms growth criteria of saffron in response to different organic and conventional production systems. *Saffron Agronomy & Technology, 5*(2), 133-147. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2016.40887

Behdani, M. A., & Fallahi, H. R. (2024). Saffron: Technical Knowledge based on Research Approaches. Second Edition, University of Birjand Press. (In Persian).

Behravan, H., Khorasani, R., Fotovat, A., Moezei, A. A., & Taghavi, M. (2019). Effects of humic acid and phosphorus fertilizer on root, root hair, phosphorus uptake and phosphorus influx in Sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Water & Soil, 33*(5), 709-721. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v33i5.78726

Ebrahimi, M., Pouyan, M., & 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. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2019.165266.1331

Fallahi, H., & Mahmoodi, S. (2018). Influence of organic and chemical fertilization on growth and flowering of saffron under two irrigation regimes. *Saffron Agronomy & Technology, 6*(2), 147-166. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2017.71511.1207

Fallahi, H. R., Aghhavani-Shajari, M., Sahabi, H., & Feizi, H. (2024). The study of growth indices and allocation trend of photoassimilates between different parts of saffron under the influence of corm weight and agricultural inputs. *Saffron Agronomy & Technology, 12*(3), 229-260. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2024.466517.1536

Habibi, M., Zaefarian, F., Rejali, F., & Bagheri, N. (2021). Isolation and identification of

arbuscular mycorrhizal fungi of saffron symbiosis and investigation of their effect on yield and nutrient uptake under water interruption and different planting bed. *Journal of Crops Improvement*, *23*(3), 579-591. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2021.302406.2393

Heydari, L., Bayat, H., & Hamzei, J. (2020). Short-term effects of bio-fertilizers application on some soil physical and chemical properties. *Journal of Water & Soil Conservation, 27*(1), 71-89. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22069/jwsc.2020.16986.3238

Hosseini, S., Hejazi-Mehrizi, M., Sarcheshmehpour, M., & Fekri, M. (2023). Comparing the effect of manure-extracted humic acid and commercial humic acid on the growth of maize and inorganic P forms in a calcareous soil. *Journal of Soil Management & Sustainable Production, 13*(4), 115-132. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22069/ejsms.2024.21366.2101

Hosseinzadeh, M., & Moudi, M. (2022). Overview of effective saffron compounds and Its reactions on neurodegenerative diseases of nervous system. *Journal of Saffron Research*, *10*(2), 258-275. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2022.4985.1177

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, 7*(2), 217-234. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2019.1990.1074

Karimiferezgh, M., Kafi, M., & Nezami, A. (2018). Comparison of the effect of irrigation levels and methods on leaf area and replacement corm production of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology, 6*(3), 279-290. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2018.46986.1137

Khashei Siuki, A., Ahmadee, M., Hashemi, S. R., & Chaalaak, A. (2016). Effect of zeolite rates and irrigation management on some properties of saffron corms. *Saffron Agronomy & Technology, 4*(3), 201-213. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2016.38673

Koocheki, A, R., Fallahi, H. R., Amiri, M. B., & Ehyaei, H. R. (2015). Effects of humic acid application and mother corm weight on yield and growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology, 7*(4), 425-442. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v7i4.53822

Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2015). Phonological stages and formation of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) during growing period. *Journal of Saffron Research, 3*(2), 134-154. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2015.290

Koocheki, A., Fallahi, H. R., Amiri, M. B., & Ehyaei, H. R. (2016). Effects of humic acid application and mother corm weight on yield and growth of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology*, *7*(4), 425- 442. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v7i4.53822

Koocheki, A., Jahani, M., Tabrizi, L., & Mohammadabadi, A. A., (2011). Investigation on the effect of biofertilizer, chemical fertilizer and plant density on yield and corm criteria of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Soil & Water, 25*(1), 196-206. (In Persain with Enghlish Abstract) https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.8522

Koocheki, A. R., Karbasi, A. R., & Seyyedi, S. M. (2017). Some reasons for saffron yield loss over

the last 30 years' period. *Saffron Agronomy & Technology, 5*(2), 107-122. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2016.38669

MA (Ministry of Agriculture). (2024). Agricultural Statistics Bulletin. Volume 3: Horticultural Products. Ministry of Jihad-Agricultural, Center for Statistics, Information and Communication Technology. (In Persian).

Moinoddini, Z. (2025). Studying the structure of the Iranian saffron market and its position in the global market. *Journal of Saffron Research, 13*(1), 52-62. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2025.8535.1256

Moradi, R., Ramezani, Sh., & Ziaei, S. M. (2024). Effect of applying different organic matter levels on mitigating drought stress in saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, *12*(3), 261-282. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2024.476495.1540

Nouri, A., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Khorramdel, S. (2023). Effects of mycorrhiza inoculation, mother corm weight and humic ccid on daughter corm and flower yield of saffron. *Journal of Saffron Research, 11*(1), 48-65. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2023.5903.1203

Osmani Roudi, H. R., Masoumi, A., Hamidi, H., & Razavi, S. A. (2015). Effects of first irrigation date and organic fertilizer treatments on Saffron (*Crocus sativus* L.) yield under Khaf climatic conditions. *Saffron Agronomy & Technology, 3*(1), 33-25. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2015.9609

Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, G., Eivazi, A., & Hoseini, S. (2013). Effect of biofertilizers on macro and micro nutrients uptake and essential oil content in (*Dracocephalum moldavica* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research, 11*(1), 179-190. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v11i1.24128

Rahi, A., Mirzaie-Nodoushan, H., Danaee, M. & Azizi, F. (2012). Effects of humic acid on vegetative characteristics of *Festuca arundinacea*. *Iranian Journal of Range & Desert Reseach, 19*(4), 722-736. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22092/ijrdr.2013.3061

Rezvani Moghaddam, P., Mohammad Abadi, A. A., Falahi, H. R., & Aghhavani Shajari, M. (2014). Effects of nutrient management on flowe yield and corm characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Horticultural Science, 28*(3), 427-434. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.42891

Saeidi Noghbi, S. G., Khashei Siuki, A., Hammami., H., Shahidi, A., & Yaghoobzadeh, M. (2020). Determination of evapotranspiration and crop coefficient of saffron (*Crocus sativus* L.) by using lysimetric method in the dry-desert climate of Birjand. *Journal of Saffron Research, 8*(1), 161-172. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2019.2515.1101

Shariatmadari, Z., Shoor, M., Rezvani Moghaddam, P., Tehranifar, A., & Ahmadian, A. (2018). Study the effects of organic and chemical fertilizers on replacement corms and flower characteristics of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology, 6*(3), 291-308. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2017.89478.1239

Zand, A., Riyahi, H., Shariatmadari, Z., & Zanganeh, S. (2014). Effect of Funneliformis mosseae mycorrihza symbiosis on growth and yield of *Crocus sativus* L. . *Journal of Saffron Research, 2*, 141-151. (In Persain with Enghlish Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2014.318