The Effect of Soil Fertilizers and Foliar Application on Vegetative Growth and Flower and Daughter Corm Yield of Saffron under On-Farm Management Conditions

Mahmoud Mokhtari[1], Soroor Khorramdel[2*], Bijan Saboori[3], Hoda Latifi[4] and Masoomeh Amini[3]

1- Department of Agriculture, Islamic Azad University, Qaenat, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
ORCID: 0000000329954898
3- PhD Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4- PhD in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Corresponding author email: khorramdel@um.ac.ir

پذیرفته شده

Extended Abstract

Introduction

Saffron (*Crocus sativus* L.) is one of the most valuable and expensive spices in the world, widely appreciated for its unique aroma, color, flavor, and diverse medicinal properties. It plays a significant economic role in several countries, particularly in arid and semi-arid regions where alternative high-value crops are limited. Despite its high market value, saffron production is often constrained by low productivity per unit area, which is largely influenced by agronomic practices, soil fertility status, and environmental conditions. Saffron is a perennial geophyte that develops from corms and has a shallow root system, making it highly sensitive to soil structure, nutrient availability, and water management.

In many saffron-growing areas, especially those characterized by calcareous soils, low organic matter, and nutrient imbalances, suboptimal fertilization practices can significantly reduce vegetative growth, flowering intensity, daughter corm development, and ultimately dry stigma yield. Therefore, improving nutrient management strategies is considered a fundamental approach to enhancing saffron productivity and sustainability. The combined application of organic amendments, such as poultry manure and humic substances, with mineral fertilizers including potassium, phosphorus, and sulfur, can improve soil physical and chemical properties, increase nutrient use efficiency, stimulate microbial activity, and enhance plant physiological yield. Moreover, the use of liquid fertilizers containing readily available macro- and micronutrients during critical growth stages may further optimize nutrient uptake and support flowering and corm formation.

Given the growing demand for saffron and the need for sustainable intensification in water-limited environments, evaluating integrated nutritional treatments under field conditions is essential. Therefore, this study was conducted to investigate the effects of different combinations of organic and inorganic fertilizers, as well as liquid nutrient applications, on vegetative traits, flowering characteristics, corm development, and dry stigma yield of saffron under the ecological conditions of Mashhad, Iran.

Materials and Methods

The research was conducted using a randomized complete block design with four replications to provide a comprehensive analysis of the effects of different treatments in the Cheshmeh Gilas region of Mashhad over two growing seasons (2021-2022 and 2022-2023). The study was designed based on an evaluation of the chemical properties of the soil. The treatments included:

Treatment A: 5 kg of poultry pellets + 100 g potassium sulfate + 100 g triple superphosphate + 400 g bentonite sulfur + 200 g granular humic acid,

Treatment B: 2.5 kg of poultry pellets + 60 g potassium sulfate + 60 g triple superphosphate + 300 g sulfur + 200 g humic acid,
Treatment C: 4 kg of poultry pellets + 140 g potassium sulfate + 40 g triple superphosphate + 300 g sulfur + 300 g humic acid,
Treatment D: 4 kg of poultry pellets + 200 g potassium sulfate + 100 g triple superphosphate + 300 g sulfur + 400 g humic acid,
Treatment E: 5 kg of poultry pellets + 200 g potassium sulfate + 200 g triple superphosphate + 240 g sulfur + 100 g humic acid,
Treatment F: Four applications of 31 g Saffron Power and three applications of 31 g Saffron Magic during vegetative growth and flowering stages, and
Treatment G: Application of a solution containing 17 ml KTS (potassium thiosulfate) after flowering, along with two applications of K-Leaf (potassium sulfate) and 62 ml CaTs (calcium thiosulphate).

The studied characteristics included growth traits, leaf dry weight and length, flower numbers and weight, daughter corm numbers and weight, daughter corm diameter, as well as dry stigma yield.

Results and Discussion

The results from the second growing season indicated significant differences among treatments for most measured traits, highlighting the strong influence of nutrient management on saffron growth and productivity. Treatment A produced the highest leaf dry weight (6.54 g m^{-2}), number of daughter corms (1575 corms m^{-2}), and dry corm weight (8492 g m^{-2}), demonstrating the positive impact of combining adequate organic matter with balanced mineral nutrition. The greatest leaf length (52.52 mm) and dry stigma yield (14.2 g m^{-2}) were observed under Treatments F and B, suggesting that both optimized solid fertilization and targeted liquid nutrient applications during key phenological stages can enhance reproductive yield.

A very strong positive correlation ($r \approx 0.99$) between flowering-related traits and dry stigma yield confirmed that improved flowering intensity directly translates into higher economic yield. Treatments integrating organic amendments with mineral nutrients generally outperformed those relying predominantly on a single nutrient source, likely due to improved soil structure, enhanced nutrient availability, and better root growth. In particular, Treatment D, which included a higher rate of potassium sulfate, significantly improved flowering yield, emphasizing the critical role of potassium in reproductive development and assimilate translocation.

Furthermore, liquid fertilizers such as Saffron Power and Saffron Magic appeared to enhance physiological activity and nutrient uptake efficiency during vegetative and flowering stages, possibly through the supply of essential micronutrients. Overall, the findings demonstrate that integrated nutrient management, combining organic inputs, balanced mineral fertilization, and timely liquid nutrient applications, can substantially improve saffron growth and yield under semi-arid conditions, providing a sustainable strategy for increasing productivity in commercial saffron production systems.

Conclusion

Among the evaluated treatments, Treatment A showed superiority in vegetative growth and daughter corm production, Treatment F enhanced flowering yield under liquid fertilization regimes, Treatment B improved dry stigma yield, and Treatment D demonstrated the positive effect of higher potassium levels on reproductive development. Collectively, these results indicate that no single nutrient source alone can maximize saffron productivity; rather, the strategic integration of organic amendments, mineral fertilizers, and targeted liquid applications is essential for achieving optimal growth and yield. The combined use of poultry manure, humic substances, sulfur, phosphorus, and potassium fertilizers improved soil fertility, nutrient availability, and plant physiological efficiency, while stage-specific liquid fertilization further supported flowering and yield formation. Therefore, integrated nutrient management emerges as a scientifically sound and sustainable approach for enhancing saffron productivity, particularly under semi-arid conditions where soil fertility constraints limit crop yield.

Conflict of Interest
The authors declare that there are no conflicts of interest related to this study.

Keywords: Foliar application, Livestock manure, Nutrient management, Stigma yield, Sustainable production.

پذیرفته شده نهایی قبل از انتشار

اثر حاصلخیزکننده‌های خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی برگی بر رشد رویشی و عملکرد بنه‌های دختری و کلاله زعفران تحت مدیریت کشاورز (On-Farm)

محمود مختاری[۱]، سرور خرم‌دل[۲*]، بیژن صبوری[۳]، هدا لطیفی[۴] و معصومه امینی[۳]

۱- گروه کشاورزی، واحد قاینات، دانشگاه آزاد اسلامی، قاینات، ایران.

۲- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

کدارکید: ۰۰۰۰۰۰۰۳۲۹۹۵۴۸۹۸

۳- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۴- دانش آموخته دکتری اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*نویسنده مسئول: khorramdel@um.ac.ir

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر تیمارهای تغذیه‌ای و محلول‌پاشی بر رشد و عملکرد رویشی و زایشی زعفران تحت مدیریت کشاورز، در منطقه چشمه گیلاس در مشهد در استان خراسان رضوی طی دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲- ۱۴۰۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارها پس از مطالعات اولیه، شامل A: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۱۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل+ ۴۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، B: ۲/۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۶۰ گرم سولوپتاس+ ۶۰ گرم سوپر فسفات تریپل + ۳۰۰ گرم گوگرد+ ۲۰۰ گرم هیومیک، C: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۱۴۰ گرم سولوپتاس+ ۴۰ گرم سوپر فسفات تریپل + ۳۰۰ گرم گوگرد+ ۳۰۰ گرم هیومیک، D: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل + ۳۰۰ گرم گوگرد+ ۴۰۰ گرم هیومیک، E: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۲۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل + ۲۴۰ گرم گوگرد+ ۱۰۰ گرم هیومیک، F: چهار نوبت محلول‌پاشی با ۳۱ گرم Saffron Power و سه نوبت با ۳۱ گرم Saffron Magic در مراحل رویشی و گلدهی و G: محلول‌پاشی با ۱۷ میلی‌لیتر KTS (تیوسولفات پتاسیم) پس از گلدهی+ دو نوبت K-Leaf (سولفات پتاسیم) + ۶۲ میلی‌لیتر CaTs (تیوسولفات کلسیم) بودند. صفات مورد مطالعه شامل خصوصیات رشدی برگ، عملکرد بنه‌های دختری، میانگین قطر بنه، تعداد و وزن گل و عملکرد خشک کلاله بودند. نتایج بررسی داده‌ها در سال دوم مطالعه نشان داد که بیشترین وزن خشک برگ (۶/۵۴ گرم/متر مربع)، تعداد بنه‌های دختری (۱۵۷۵ عدد/مترمربع) و وزن خشک بنه‌های دختری (۸۴۹۲ گرم/مترمربع) برای تیمار A مشاهده شد. بیشترین طول برگ (۵۲/۵۲ سانتی‌متر) و عملکرد کلاله (۲/۱۴ گرم/مترمربع) به ترتیب مربوط به تیمارهای F و B بود. همبستگی قوی بین صفات گلدهی و عملکرد کلاله (r≈0.99) مشاهده شد. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد ترکیبی کودهای دامی به دلیل دارا بودن عناصر غذایی باعث بهبود خصوصیات خاک، رشد گیاه و عملکرد زعفران شده و از طرفی، کاربرد این کودها برای پایداری تولید و بهبود کارکردها و خدمات سیستم‌های تولید این محصول به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تولید پایدار، عملکرد کلاله، کود دامی، محلول‌پاشی، مدیریت تغذیه.

پذیرفته شده نهایی قابل انتشار

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی چندساله، متعلق به خانواده Iridaceae بوده و به عنوان یکی از ارزشمندترین محصولات کشاورزی جهان به شمار می‌آید که به دلیل ویژگی‌های خاص به «طلای سرخ» شهرت دارد (El Hajj et al., 2024). تکثیر زعفران از طریق پنه انجام می‌شود که هر بنه بسته به وزن، معمولاً بین یک تا چهار گل تولید می‌کند و هر گل دارای کلاله سه‌شاخه باریک و قرمز رنگ است. برای تولید هر کیلوگرم کلاله خشک به طور متوسط ۲۰۰ هزار گل مورد نیاز است (Qasim et al., 2024). ایران، ایتالیا، اسپانیا، هند و مراکش به عنوان تولیدکنندگان اصلی این محصول در دنیا مطرح هستند (Kothari et al., 2021). با این حال، اگرچه از دیرباز ایران خاستگاه تاریخی و تنوع اکولوژیکی منحصربه‌فرد این گیاه بوده است (Khorramdel et al., 2020a; Rashed-Mohassel, 2020)، اما کاربرد فناوری‌های نوین کشاورزی در تولید این گیاه محدود است و عمده تولید زعفران عمدتا ایران بر پایه دانش بومی و روش‌های سنتی انجام می‌شود (Koocheki et al., 2009; Khorramdel et al., 2018a; Ghahramanzadeh et al., 2024). اگرچه تا سال‌های اخیر زعفران تنها به‌عنوان ادویه‌ای گران‌قیمت شناخته می‌شد، اما یافته‌های پژوهشی اخیر نشان می‌دهند که این گیاه دارای خصوصیات دارویی، آرایشی، رنگرزی و درمانی همچون فعالیت‌های ضدمیکروبی، ضدسرطانی و آنتی‌اکسیدانی نیز می‌باشد (Kafi et al., 2006; Kothari et al., 2021).

مراحل فنولوژیکی اصلی زعفران به سه مرحله رشد زایشی[1]، رویشی[2] و رکود[3] تقسیم‌بندی می‌شود (Lopez-Corcoles et al., 2015). سیستم ریشه‌ای این گیاه تا اوایل اسفند، ظرفیت کافی برای جذب مواد غذایی از خاک را دارد، اما در اواخر فصل رشد به تدریج از طول ریشه‌ها کاسته می‌شود. بنابراین محلول پاشی عناصر غذایی بدلیل تاخیر در پیری و نکروز زودرس برگ‌ها، اثر جبران‌کننده‌ای دارد. نتیجه این فرآیند افزایش مدت زمان پر شدن بنه‌های دختری و در نهایت افزایش ظرفیت گلدهی در فصل رشد بعدی است. بنابراین مدیریت تغذیه، افزایش سبزمانی برگ، رشد و عملکرد زعفران را باعث می‌شود (Fallahi., 2021). سایر عوامل به‌زراعی مانند وزن و کیفیت بنه مادری، تاریخ و عمق کاشت، سن مزرعه و آبیاری نیز بر عملکرد این گیاه به طور چشمگیری تأثیرگذار هستند (Koocheki & Seyyedi, 2020). با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از عملکرد کمی و کیفی گل زعفران تحت تأثیر حاصل‌خیزی خاک قرار دارد. از اینرو یکی از عوامل کلیدی در پایداری تولید، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تغذیه

1- Generative phase
2- Vegetative phase
3- Dormant phase

مناسب و فراهمی متعادل عناصر غذایی بر پایه مدیریت صحیح کودی است (Cardone et al., 2020; Koocheki & Seyyedi, 2020).

از سایر عوامل تاثیرگذار در مبحث مدیریت تغذیه برای دستیابی به تولید پایدار، بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها است. در این راستا، نتایج برخی تحقیقات نشان داده‌اند که بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بر بهبود افزایش محصول تاثیرگذار هستند (Al-Shammary et al., 2024; Ma et al., 2021). در این راستا، برخی مطالعات نیز تأکید دارند که بین ۱۶ تا ۸۰ درصد تغییرات در عملکرد گل این گیاه به ویژگی‌های خاک بستگی دارد (Rezvani Moghaddam et al., 2015; Aghhavani Shajari et al., 2018; Cardone et al., 2020).

در ایران، سطح زیرکشت زعفران عمدتاً در مناطق شرقی و شمال شرقی کشور واقع شده که دارای محتوی ماده آلی نسبتاً پایینی هستند (Khorramdel et al., 2018a). با توجه به اینکه کشت زعفران از حالت سنتی و کشاورزی کوچک‌مقیاس به کشت تجاری و مقیاس بزرگ در حال تغییر است، کشاورزان تمایل بیشتری به استفاده از نهاده‌های شیمیایی دارند. متأسفانه ایران یکی از کشورهایی است که با بحران مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی نیز مواجه است (Esmaeilian et al., 2022). در این راستا، تحقیقات و آمارهای منتشر شده نشان می‌دهند که عملکرد زعفران در ایران در سال‌های اخیر به طور قابل توجهی کاهش یافته که از جمله دلایل آن می‌توان به افزایش نوسانات دمایی و کاهش بارندگی به دلیل تغییر اقلیم، کاهش حاصلخیزی و افت خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اشاره نمود (Mohtashami, 2018; Ramezani et al., 2022; Khorramdel & Mirzaeian, 2025). مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی علاوه بر بروز آلودگی‌های زیست محیطی و افت کیفیت خاک موجب کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی، تشدید شوری، تخریب خصوصیات خاک، اسیدی و قلیایی شدن و افت شدید محتوی ماده آلی شده است (Wu et al., 2020; Zhang et al., 2024; Malal et al., 2025). بر این اساس، یکی از مهمترین عوامل موثر بر عملکرد گل و بنه زعفران، مدیریت صحیح و پایدار بر مبنای اصول اکولوژیک و همنوا با طبیعت بر پایه مصرف کودهای آلی معرفی شده است (Khorramdel et al., 2015).

علاوه بر فواید مصرف کودهای آلی از جمله بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک (Li et al., 2011)، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و تأمین عناصر غذایی گیاه، این اصلاح‌کننده‌های آلی، کم‌هزینه و دوستدار محیط زیست برای کنترل و کاهش آلاینده‌های خاک و اثرات آن‌ها بر گیاهان شناخته و معرفی شده‌اند (Filipe et al., 2010; Aragón et al., 2019). خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2018b) در مطالعه‌ای با بررسی تاثیر کود دامی بر عملکرد کمی و کیفی زعفران دریافتند که مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی، موجب حصول بالاترین ویژگی‌های کمّی گل زعفران شد. همچنین، افزایش میزان مصرف کود

پذیرفته شده نهایی قبل از انتشار

دامی موجب بهبود ویژگی‌های کیفی از جمله افزایش محتوای کروسین، پیکروکروسین و سافرانال گردید. بنابراین، این محققان توصیه نمودند که مصرف کود دامی به‌عنوان نوعی راهکار اکولوژیک مؤثر به‌منظور بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی زعفران مورد توجه قرار گیرد (Khorramdel et al., 2018b). البته برخی مطالعات نیز نشان داده‌اند اگرچه کود دامی می‌تواند اثر مثبتی بر رشد و عملکرد زعفران داشته باشد، اما استفاده از آن به تنهایی در بسیاری از صفات عملکردی نسبت به کاربرد همزمان با کودهای شیمیایی یا زیستی، اثربخشی کمتری دارد زیرا عناصر غذایی کود دامی به صورت تدریجی آزاد می‌شود و نسبت NPK آن با نیازهای تغذیه‌ای گیاه مطابقت ندارد و ممکن است باعث تنش شیمیایی یا افزایش تراکم علف‌های هرز شود (Esmaeilian et al., 2022; Moradi et al., 2022). لذا مدیریت صحیح و اکولوژیک تغذیه گیاه مبتنی بر کاربرد همزمان کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند به عنوان رویکردی مؤثر و پایدار مدنظر باشد (Zabihi & Pishbin, 2018; Ghanbari et al., 2019). در پژوهشی دیگر، خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2020b) با بررسی اثر بهینه‌سازی سطوح مختلف کود دامی و محلول‌پاشی برگی با دلفارد (شامل نیتروژن ۱۲ درصد، فسفر ۸ درصد، پتاسیم ۴ درصد، آهن ۰/۲ درصد، منگنز ۰/۱ درصد، روی ۰/۱ درصد و مس ۰/۰۵درصد) بر عملکرد گل، بنه و ویژگی‌های کیفی زعفران نشان دادند که بیشترین تعداد بنه‌های دختری (۴۱/۳۸ بنه در متر مربع) در تیمار ۵۰ تن در هکتار کود دامی بدون محلول‌پاشی دلفارد به‌دست آمد. در مقابل، کمترین وزن خشک کلاله (۱۵۶/۳۳میلی‌گرم در متر مربع) مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی بدون محلول‌پاشی بود. همچنین، بهترین مقادیر ویژگی‌های کیفی شامل محتوی پیکروکروسین، کروسین و سافرانال، به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار کود دامی همراه با محلول‌پاشی ۱۰ پی‌پی‌ام دلفارد اختصاص داشت. سایر محققان نیز با ارزیابی اثر کود دامی همراه با محلول‌پاشی کود کامل در سه زمان اوایل و اواخر اسفند و اوایل فروردین بر رشد و عملکرد اندام‌های هوایی و زیرزمینی زعفران دریافتند که محلول‌پاشی با مصرف کود دامی سبب افزایش سرعت ظهور برگ و گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله شد (Mollafilabi & Khorramdel, 2016). رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) مهمترین عوامل موثر بر عملکرد کلاله زعفران را به ترتیب میزان پتاسیم و فسفر قابل دسترس، قابلیت هدایت الکترونیکی و محتوی نیتروژن عنوان نمودند.

پتاسیم یکی از عناصر غذایی ضروری و مهم پس از نیتروژن برای رشد گیاهان به شمار می‌رود (Zabihi & Feizi, 2014). این عنصر غلظت کلروفیل، کاروتنوئیدها و پرولین، کارایی جذب سایر عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد و علاوه بر نقش‌های فیزیولوژیکی خود، در بهبود مقاومت به تنش خشکی و افزایش کیفیت گیاهان نیز مؤثر است و به همین دلیل، به عنوان یکی از عوامل کلیدی در بهبود کیفیت گیاهان شناخته می‌شود (Hasanuzzaman et al., 2018; Ghahramanzadeh et al., 2024). برخی مطالعات نشان داده‌اند که محلول‌پاشی با نیترات پتاسیم و عناصر ریزمغذی مانند روی موجب بهبود صفات کمی و کیفی زعفران گردید و بیشترین

تأثیر برای غلظت ۱۰ در هزار کود پتاسیم مشاهده شد (Tabatabaeian et al., 2020). اکبریان و همکاران (Akbarian et al., 2012) گزارش دادند که محلول‌پاشی با پتاسیم به‌طور معنی‌داری طول برگ و عملکرد گل زعفران را افزایش می‌دهد. همچنین کودهای شیمیایی حاوی آهن، فسفر و پتاسیم اثر مثبتی بر تعداد گل، وزن خشک و تر گل و کلاله دارند (Amirnia et al., 2014). بر این اساس، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تیمارهای مختلف کودی و محلول‌پاشی برگی بر عملکرد رویشی برگ، بنه‌های دختری و گل زعفران تحت مدیریت کشاورز (On-farm) بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه‌ای واقع در منطقه چشمه گیلاس (در شهرستان مشهد) در استان خراسان رضوی، در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. قبل از شروع آزمایش، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک به‌طور تصادفی انجام شد و به آزمایشگاه ارسال گردید. نتایج مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ویژگی‌های شیمیایی آب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil

بافت			شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	فسفر قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available P (mg/kg)	پتاسیم قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available K (mg/kg)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)
سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	شن (درصد) sand (%)						
	سیلتی لوم Silty loam		7.85	1.17	0.103	21.4	250	1.082
41	26	33						

جدول ۲. نتایج خصوصیات شیمیایی آب

Table 2. Chemical analysis of a water sample

شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC (µmho/cm)	کل مواد جامد محلول TDS (mg/L)	نسبت جذب سدیم SAR	کلسیم Ca^{2+} meq/L)	منیزیم Mg^{2+} (meq/L)	سدیم Na^{+} (meq/L)	پتاسیم K^{+} (meq/L)	کاتیون‌ها Cations (meq/L)	بی‌کربنات HCO_3^{-} (meq/L)	کلر Cl^{-} (meq/L)	سولفات SO_4^{2-} (meq/L)	آنیون‌ها Anions (meq/L)
7.05	630	403	2.26	3.5	1.8	3.0	0.03	6.53	3.75	1.5	0.89	6.14

مطالعات اولیه‌ای به منظور تعیین مقادیر تیمارهای محلول‌پاشی و خاک کاربرد در سال‌های پیش از شروع آزمایش انجام، تیمارهای برتر انتخاب و مقادیر آنها به عنوان تیمار در این آزمایش اعمال شد. بر این اساس، تیمارهای کودی خاک کاربرد و محلول‌پاشی برگی به ازای هر متر مربع به شرح زیر بودند:

تیمار A: ۵ کیلوگرم پلت مرغی[۴] +۱۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل+ ۴۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول،

تیمار B: ۲/۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۶۰ گرم سولوپتاس+ ۶۰ گرم سوپر فسفات تریپل + ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول،

تیمار C: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۱۴۰ گرم سولوپتاس+ ۴۰ گرم سوپر فسفات تریپل + ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۳۰۰ گرم هیومیک گرانول،

تیمار D: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل + ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۴۰۰ گرم هیومیک گرانول،

تیمار E: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۲۰۰ گرم سوپر فسفات تریپل + ۲۴۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۱۰۰ گرم هیومیک گرانول،

تیمار F: چهار نوبت (آبان، آذر، دی و بهمن) محلول‌پاشی با مصرف ۳۱ گرم کود Saffron power[5] و سه نوبت محلول‌پاشی (بهمن، اسفند و فروردین) بر اساس مصرف ۳۱ گرم Saffron Magic[6] طی مراحل گلدهی و رویشی،

تیمار G: سه نوبت مصرف ۱۷ میلی‌لیتر تیوسولفات پتاسیم (KTS) (شرکت Fermolife، کشور هلند) بعد از گلدهی (نیمه دوم بهمن و اوایل فروردین) + دو نوبت محلول‌پاشی با سولفات پتاسیم (K-Leaf) (شرکت Tessenderlo، کشور بلژیک) به میزان ۶/۲۵ گرم طی مرحله رشد رویشی(نیمه دوم بهمن و اوایل فروردین)+ دو نوبت مصرف ۶۲ میلی‌لیتر تیوسولفات کلسیم (CaTs) (شرکت Tessenderlo، کشور بلژیک) بعد از گلدهی (نیمه دوم بهمن).

تیمارهای A تا E به‌صورت خاک کاربرد پیش از کاشت اعمال شدند، در حالی‌که سایر تیمارها به صورت محلول‌پاشی برگی و خاک کاربرد اعمال شدند.

۴- کود پلت مرغی شامل دو درصد نیتروژن+ یک درصد فسفر قابل استفاده+ دو درصد پتاسیم محلول در آب+ ۳۸ درصد ماده آلی+ ۲۰ درصد کربن آلی بوده که در تیمارهای A تا E نیز استفاده شده است.

۵- این کود فاقد نام تجاری بوده و از بازار محلی تهیه شده که خصوصیات شیمیایی آن در جدول ۳ آورده شده است.

۶- این کود فاقد نام تجاری بوده و از بازار محلی تهیه شده که خصوصیات شیمیایی آن در جدول ۳ آورده شده است.

خصوصیات شیمیایی کودهای KTS، CaTs و K-Leaf، Saffron power و Saffron Magic در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. خصوصیات شیمیایی کودهای مختلف مورد استفاده

Table 3. Chemical properties of different saffron fertilizers

	Saffron Magic (%)	Saffron Power (%)	K-Leaf (%)	CaTs® (تیوسولفات کلسیم) CaTs® (Calcium thiosulfate)	KTS® (تیوسولفات پتاسیم) KTS® (Potassium thiosulfate)
نیتروژن N	5	5	-	-	-
فسفر P	10	10	-	-	-
پتاسیم K_2O (w/w)	20	10	52	-	25%
کلسیم Ca (w/w)	-	-	-	6%	
گوگرد S (w/w)	-	-	46	10%	17%
آهن Fe	4	5	-	-	-
روی Zn	4	-	-	-	-
منگنز Mn	2	-	-	-	-
اسید هیومیک Humic acid	-	50	-	-	-
اسید فولویک Fulvic acid	-	5	-	-	-
اسید آلژینیک Alginic acid	5	-	-	-	-
اسید آمینه Amino acid	20	-	-	-	-
حلالیت در آب Water soluble	-	-	100	-	-
عصاره جلبک دریایی Seaweed	30	15	-	-	-
دامنه شاخص واکنش pH range	-	-	-	6.5-8.8	6.8-8.5
دامنه تراکم Density range (at 25°C)	-	-	-	1.22-1.26	1.45-1.49

برای آماده‌سازی بستر کاشت، ابتدا زمین تا عمق حدود ۲۵ سانتی‌متر با دیسک شخم زده شد و پس از آن، سطح خاک به‌وسیله لولر کاملاً تسطیح گردید. هر قطعه آزمایشی شامل ۲۰ ردیف کاشت به طول ۲۰ متر و با فاصله ۱۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها بود. پیش از

پذیرفته شده نهایی قبل از انتشار

کاشت، شیارهایی به عمق ۱۵ سانتی‌متر ایجاد شد و بنه‌های مادری از اکوتیپ قائن (استان خراسان جنوبی) با وزن ۸ تا ۱۲ گرم به صورت تسبیحی (در هر چاله کشت دو عدد بنه قرار داده شد) و با استفاده از دستگاه بنه‌کار در داخل شیارها قرار گرفتند. در تیمارهای خاک‌کاربرد، کودها پس از شخم اولیه و پیش از کاشت، به‌طور یکنواخت پخش و با لایه سطحی خاک (۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر) کاملاً مخلوط شدند؛ سپس سطح زمین دوباره صاف شد و عملیات کاشت بنه‌ها در شیارهای مشخص انجام گرفت. تیمارهای محلول‌پاشی نیز بر اساس برنامه تعیین‌شده و هم‌زمان با آبیاری اجرا شدند.

آبیاری به شیوه نشتی و جوی‌پشته‌ای در شش نوبت اواخر شهریور (خاک‌آب)، اواسط مهر (بسارآب)، اواسط آبان (زاچ‌آب)، اواسط آذر (آبیاری زمستانه)، اواسط دی (کولش‌آب) و از اواسط فروردین تا اوایل اردیبهشت (زردآب) انجام گردید. عملیات سله‌شکنی به صورت سطحی با هدف تسهیل در رویش گل‌ها در مهرماه اجرا گردید. همچنین، علف‌های هرز به‌صورت دستی و در طول فصل رشد رویشی حذف شدند، ولی بقایای آنها با توجه به تغییرات اقلیمی و به عنوان راهکاری برای خنک‌سازی سطح خاک (Khorramdel & Mirzaeian, 2025) نگهداری شدند. سایر راهکارهای مدیریت زراعی مطابق با روش‌های رایج کشاورزی و به‌طور یکسان برای تمام تیمارها اجرا شد.

اندازه‌گیری‌ها و جمع‌آوری داده‌ها

برداشت گل‌ها از آغاز دوره گل‌دهی در ابتدای ۲۷ مهرماه شروع شد و تا ۱۸ آبان ادامه یافت. در هر نوبت نمونه‌برداری، تمامی گل‌ها به‌صورت روزانه جمع‌آوری شده و اندازه‌گیری‌ها صورت گرفت. در هر برداشت، تعداد گل‌ها شمارش و پس از توزین با ترازویی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، کلاله‌ها از گلبرگ‌ها جدا شده و در شرایط سایه و دمای اتاق خشک و سپس وزن‌گیری شدند.

برای ارزیابی عملکرد بنه‌های دختری، در پایان مرحله رشد رویشی در اردیبهشت‌ماه، بنه‌ها از سطحی معادل یک متر مربع (۱ × ۱ متر) برداشت شده و پس از شمارش، قطر آن‌ها با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. در ادامه، بنه‌های دختری به مدت دو هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس وزن آن‌ها تعیین گردید. برگ‌ها از مساحت یک متر مربع جمع‌آوری و در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس با ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

لازم به ذکر است که با توجه به ماهیت تیمارها، اطمینان از دقت داده‌ها و اثربخشی تیمارها تنها داده‌های مربوط به سال دوم مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

ویرایش نهایی قبل از انتشار

برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار Minitab ver. 17 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند. برای بررسی روابط بین صفات، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی خاک کاربرد و محلول‌پاشی برگی بر ویژگی‌های رویشی برگ و بنه‌های دختری و خصوصیات زایشی (گل) زعفران در سال دوم آزمایش در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای کودی خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی برگی بر خصوصیات رویشی و گل زعفران در سال دوم

Table 4. The results of analysis of variance (mean square) for the effect of soil-applied fertilizers and foliar spraying on vegetative and flower characteristics of saffron in the second year

منابع تغییرات Treatments	درجه آزادی df	تعداد بنه‌های دختری Number of daughter corms	وزن خشک بنه‌های دختری Dry weight of daughter corms	وزن خشک برگ Dry weight of leaves	طول برگ Leaf length	میانگین قطر بنه Average corm diameter	وزن تر گل Fresh weight of flowers	تعداد گل Number of flowers	عملکرد خشک کلاله Dry stigma yield
بلوک Block	3	10252	1215811	0.75	19.30	0.01	436	2701	0.12
تیمار Treatment	6	921451**	40822450**	21.45**	251**	0.18**	4832**	29527**	1.40**
خطا Error	18	700	72719	0.06	0.61	0.003	427	2641	0.12
ضریب تغییرات CV (%)		3.15	6.9	11.47	1.98	2.15	27.06	27.02	27.06

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

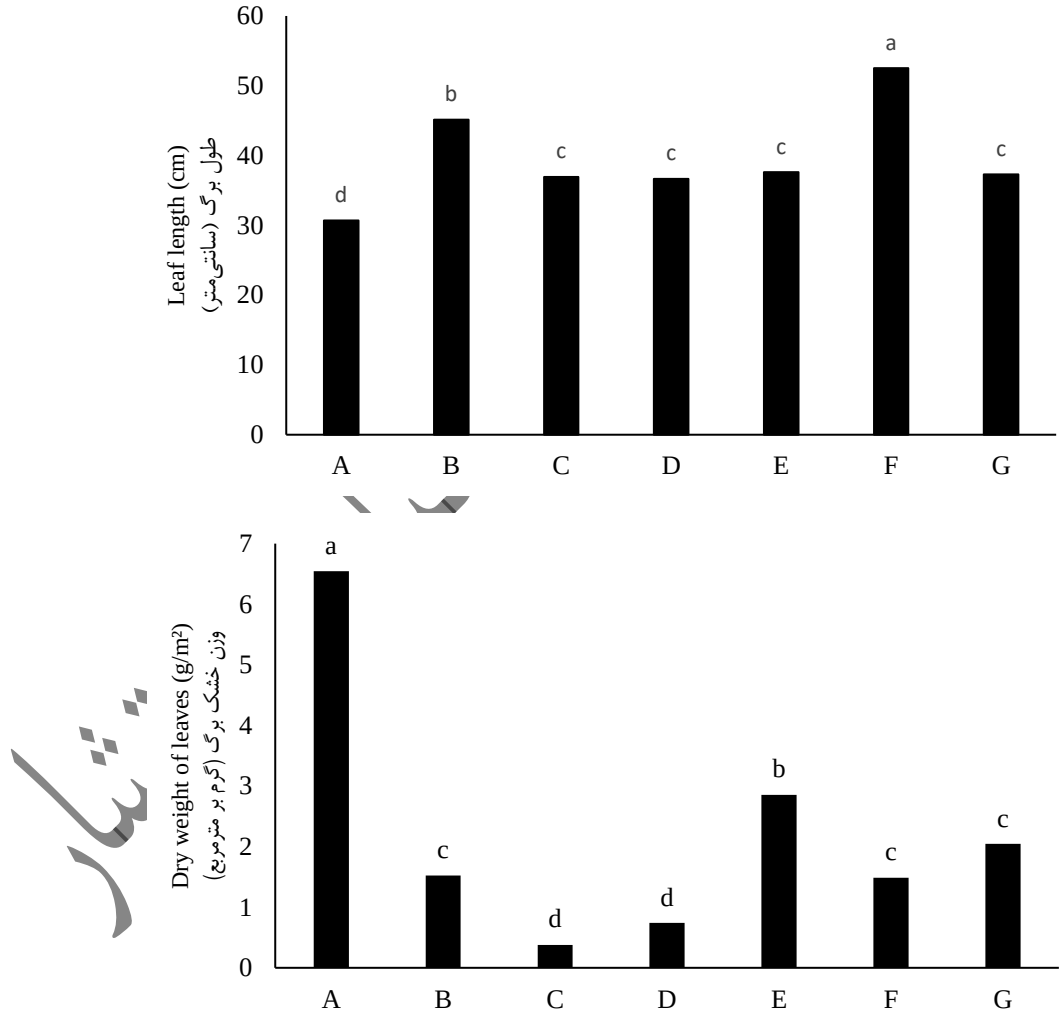
**: Significant at the 1% probability level.

نتایج تجزیه واریانس خصوصیات کمی بنه‌های دختری و گل زعفران در سال دوم نشان داد که تیمارهای کودی خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی برگی اثر معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده از جمله تعداد و وزن خشک بنه‌های دختری، میانگین قطر بنه‌های دختری، وزن خشک برگ، طول برگ، قطر بنه، وزن و تعداد گل و نیز عملکرد کلاله داشتند (جدول ۴). این یافته‌ها بیانگر آن است که نوع، ترکیب و نحوه کاربرد کودها به صورت خاکی و یا محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار داده است. در این راستا برخی پژوهشگران دریافتند با اینکه زعفران به عناصر غذایی زیادی نیاز ندارد، اما کوددهی نقش مؤثری در افزایش عملکرد این گیاه، از نظر تولید کلاله خشک و رشد و عملکرد بنه‌های دختری به همراه دارد (El Hajj et al.,

2024; Omidi et al., 2009). در ادامه اثر تیمارهای کودی خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی برگی بر خصوصیات رویشی و عملکرد بنه، گل و کلاله آورده شده است.

الف) خصوصیات رشدی و عملکرد برگ

طول برگ: همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر طول برگ زعفران از نظر آماری معنی‌دار ($p<0/01$) بود. در شکل ۱ مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی برگی بر طول برگ زعفران نشان داده شده است.



شکل ۱. اثر تیمارهای کودی بر شاخص‌های رشدی برگ زعفران

تیمارهای کودی و محلول‌پاشی به ازای هر متر مربع شامل A: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+۱۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم فسفات+ ۴۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، B: ۲/۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۶۰ گرم سولوپتاس+ ۶۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، C: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۱۴۰ گرم سولوپتاس+ ۴۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۳۰۰ گرم هیومیک گرانول، D: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۴۰۰ گرم هیومیک گرانول، E: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۲۰۰ گرم فسفات+ ۲۴۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۱۰۰ گرم هیومیک گرانول، F: چهار نوبت محلول‌پاشی بر اساس مصرف ۳۱ گرم کود Saffron power و سه نوبت محلول‌پاشی بر اساس مصرف ۳۱ گرم Saffron Magic طی مراحل گلدهی و رویشی و G:

۱۷ میلی‌لیتر KTS در سه زمان بعد از گلدهی+ دو نوبت محلول‌پاشی با K-Leaf به میزان ۶/۲۵ گرم طی مرحله رشد رویشی+ ۶۲ میلی‌لیتر Cats در دو زمان بعد از گلدهی بودند.
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 1. Effect of fertilizer treatments on saffron leaf indices of saffron

Fertilizer and foliar application treatments per square meter included: A: 5 kg poultry manure pellets + 100 g Solu Potash + 100 g phosphate + 400 g bentonite sulfur + 200 g humic granules; B: 2.5 kg poultry manure pellets + 60 g Solu Potash + 60 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 200 g humic granules; C: 4 kg poultry manure pellets + 140 g Solu Potash + 40 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 300 g humic granules; D: 4 kg poultry manure pellets + 200 g Solu Potash + 100 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 400 g humic granules; E: 5 kg poultry manure pellets + 200 g Solu Potash + 200 g phosphate + 240 g bentonite sulfur + 100 g humic granules; F: Four foliar applications using 31 g *Saffron Power* fertilizer and three foliar applications using 31 g *Saffron Magic* fertilizer during flowering and vegetative stages; and G: 17 mL KTS applied three times after flowering + two foliar applications with 6.25 g *K-Leaf* during the vegetative growth stage + 62 mL *Cats* applied twice after flowering.
Means followed by the same letter(s) in each figure, based on Duncan's multiple range test at the 5% probability level, are not significantly different.

بیشترین طول برگ در تیمار F (محلول‌پاشی برگی ترکیبی شامل کودهای Saffron Power و Saffron Magic در طی مراحل گلدهی و رشد رویشی) برابر با ۵۲/۵ سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ۱) که این مقدار نسبت به کمترین طول برگ در تیمار A با میانگین ۳۱ سانتی‌متر، حدود ۷۱ درصد افزایش نشان داد. این نتیجه بیانگر آن است که محلول‌پاشی‌های مرحله‌ای و هدفمند در طی مراحل حساس رشدی زعفران (گلدهی و رویشی) می‌توانند با بهبود رشد رویشی و افزایش سطح فتوسنتزی برگ‌ها، موجب افزایش معنی‌دار طول برگ شوند و از این طریق، به ویژه در مرحله انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به بنه‌های دختری، عملکرد گیاه را در فصل رشد بعدی تحت تأثیر قرار دهند. تیمار B نیز با طول برگ ۴۵ سانتی‌متر در گروه آماری b قرار گرفت که نسبت به تیمار A حدود ۴۷ درصد افزایش داشت. هرچند این تیمار دارای مقادیر کمتری از عناصر غذایی بود (جدول ۳)، اما به نظر می‌رسد که احتمالا توازن مناسب بین کود آلی (پلت مرغی) و عناصر معدنی شامل پتاسیم، فسفر، گوگرد و هیومیک باعث بهبود رشد طولی برگ‌ها شد (شکل ۱). این امر نشان می‌دهد که حتی مصرف مقادیر نسبتاً پایین‌تر از عناصر غذایی، در صورت تعادل و زمان‌بندی مناسب، می‌تواند اثر مثبتی بر رشد این گیاه داشته باشد که البته این موضوع نیازمند مطالعات تکمیلی به ویژه در زمینه بررسی روند تغییرات خصوصیات شیمیایی کودها در طول فصل رشد همزمان با مراحل رشدی گیاه زعفران می‌باشد.

تیمارهای C، D، E و G با میانگین طول برگ به‌ترتیب ۳۶/۹، ۳۶/۷، ۳۷/۶ و ۳۷/۳ سانتی‌متر در گروه آماری c قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱). این تیمارها اگرچه حاوی مقادیر بالاتری از برخی عناصر غذایی بودند، اما به‌نظر می‌رسد ترکیب و نسبت این عناصر به‌گونه‌ای نبوده است که موجب افزایش قابل‌توجه رشد طولی برگ شود. به‌ویژه در مورد تیمار محلول‌پاشی G، زمان مصرف و نوع ترکیبات مورد استفاده احتمالاً با مراحل کلیدی رشد برگ هم‌زمانی کافی نداشته و در نتیجه، اثرگذاری آن محدود شده است.

طول برگ یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی رشد رویشی زعفران و پیش‌بینی عملکرد گل و بنه‌های دختری در فصل زراعی بعدی به شمار می‌رود و با افزایش سطح اندام‌های فتوسنتزی، تولید ماده خشک و تقویت رشد بنه‌ها ارتباط مستقیم دارد (Fallahi

et al., 2021). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تیمارهای کودی تأثیر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۱) بر طول کلاله، طول برگ، تعداد برگ، عملکرد کلاله و میزان ترکیبات سافرنال، کروسین و پیکروکروسین زعفران داشتند (Omidi et al., 2009). همچنین، محلول‌پاشی عناصر غذایی بر روی برگ‌ها با گسترش سطح اندام‌های فتوسنتزی و افزایش جذب عناصر غذایی در برگ‌ها و بنه‌های زعفران، منجر به بهبود قابل توجه گلدهی گیاه شد (Ahmadi et al., 2025). در مجموع، به نظر می‌رسد طول برگ زعفران به طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع و زمان مصرف کود، نظیر محلول‌پاشی، قرار دارد. همچنین به نظر می‌رسد که رشد کمی برگ (از نظر طول) لزوماً با افزایش ماده خشک همراه نباشد که این امر احتمالا مربوط به سطح پایین اندام‌های فتوسنتزی این گیاه می‌باشد. بنابراین، در مدیریت تغذیه‌ای زعفران لازم است میان کمیت و کیفیت رشد رویشی تمایز قائل شد و نوع و زمان‌بندی مصرف کودهای مختلف متناسب با اهداف زراعی مربوط به گل و یا بنه تنظیم گردد.

وزن خشک برگ: نتایج حاصل از بررسی تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر وزن خشک برگ زعفران نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود داشت ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۳). بیشترین وزن خشک برگ در تیمار **A** (۵ کیلوگرم پلت مرغی، ۱۰۰ گرم سولوپتاس، ۱۰۰ گرم فسفات، ۴۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار و ۲۰۰ گرم هیومیک گرانوله) با ۶/۵۴ گرم بر مترمربع مشاهده شد که با اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها در گروه آماری a قرار گرفت و اختلاف آن، نسبت به تمام تیمارهای خاک کاربرد و محلول‌پاشی برگی بیش از ۱۰۰ درصد بالاتر محاسبه گردید (شکل ۱). این ترکیب موجب افزایش دسترسی گیاه به عناصر اصلی مورد نیاز در مراحل ابتدایی رشد و در نتیجه، باعث نمو بهتر برگ‌ها و تولید ماده خشک بیشتر گردید که نشان‌دهنده تأثیر مثبت ترکیب متعادل عناصر غذایی بر رشد رویشی گیاه بود. تیمار E نیز با ترکیب مشابه و استفاده از مقادیر بالای پتاسیم و فسفر، اما با هیومیک کمتر، در گروه آماری b قرار گرفت و عملکرد مطلوبی از نظر تولید ماده خشک در برگ‌ها داشت (شکل ۱). این تفاوت ممکن است به دلیل مقدار کمتر هیومیک اسید یا کاهش گوگرد باشد که نشان می‌دهد توازن بین عناصر مختلف و نه صرفاً مقدار آن‌ها، نقش مؤثری در پاسخ گیاه دارد. تیمارهای B، F و G با وزن خشک متوسط، در گروه آماری c قرار گرفتند. این تیمارها با وجود تفاوت در نوع کاربرد (خاکی یا محلول‌پاشی)، دارای عملکرد مشابهی در تولید ماده خشک برگ بودند (شکل ۱). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی‌های بعد از گلدهی تأثیر محدودی در رشد اولیه و نمو برگ‌ها داشته‌اند و کاربرد کودهای آلی و شیمیایی قبل از کاشت همچنان مؤثرتر عمل کرده است. کمترین وزن خشک برگ در تیمارهای C و D به‌دست آمد که در گروه آماری d قرار گرفتند (شکل ۱). اگرچه این تیمارها از مقادیر بالایی سولوپتاس و هیومیک اسید برخوردار بودند، ولی عدم تعادل در نسبت فسفر به پتاسیم و یا تراکم بالاتر برخی عناصر ممکن است موجب اختلال در جذب یا رقابت بین عناصر غذایی شده و رشد برگ‌ها را محدود کرده باشد. همان‌طور که پیشتر

نیز بیان گردید، این نتایج اهمیت بالای مدیریت متعادل و زمان‌بندی دقیق مصرف کودها را در بهبود رشد رویشی زعفران نشان می‌دهد.

وزن خشک برگ یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی رشد رویشی گیاه زعفران محسوب می‌شود و به‌طور مستقیم با سطح اندام‌های رویشی و فتوسنتزکننده، تولید مواد ذخیره‌ای و رشد اندام‌های زیرزمینی (بنه‌های دختری) در ارتباط است (Fallahi et al., 2021). نتایج این مطالعه نشان داد که تیمارهای مختلف کودی تأثیرات متفاوتی بر وزن خشک برگ دارند که ناشی از تفاوت در مقدار و نوع عناصر غذایی مصرفی و نحوه کاربرد آن‌هاست. پتاسیم در افزایش کارایی فتوسنتزی، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و رشد سلولی (Hasanuzzaman et al., 2018) و فسفر نیز در توسعه و تقسیم سلولی و انتقال انرژی نقش بسیار مؤثری دارد (Khan et al., 2023). همچنین کاربرد هیومیک باعث تحریک رشد ریشه، بهبود ساختار خاک و افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود که همگی در تقویت رشد رویشی نقش دارند (Nabi et al., 2025). بر این اساس، می‌توان چنین نتیجه گرفت که موفقیت در افزایش رشد رویشی و در نهایت، عملکرد زعفران، نه تنها به مقدار مصرف کود بلکه به توازن بین عناصر غذایی، نوع منبع کود و زمان‌بندی دقیق مصرف آن‌ها وابسته است. به‌ویژه کاربرد همزمان کودهای آلی و شیمیایی در دوره‌های بحرانی رشد، می‌تواند منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ و بهبود وضعیت فیزیولوژیکی گیاه شود. بنابراین، مدیریت تغذیه‌ای تلفیقی و متعادل، به عنوان یکی از راهکارهای اکولوژیکی مؤثر در بهینه‌سازی رشد و پایداری تولید زعفران در شرایط متغیر اقلیمی معرفی شده است (Khorramdel & Mirzaeian, 2025).

جالب توجه اینکه تیمار A با وجود بالاترین وزن خشک برگ، کمترین طول برگ را نشان داد. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش وزن برگ الزاماً به معنای افزایش طول آن نیست، بلکه ممکن است ناشی از افزایش تعداد برگ، افزایش ضخامت بافت‌ها یا تراکم سلولی باشد (Gonzalez et al., 2010). بر این اساس، به نظر می‌رسد که شرایط تغذیه‌ای احتمالاً بر جنبه‌های متفاوتی از رشد رویشی گیاه اثرگذار می‌باشد.

ب) خصوصیات رشدی و عملکرد بنه‌های دختری

میانگین قطر بنه‌های دختری: نتایج حاصل از بررسی اثر تیمارهای مختلف کودی بر قطر بنه زعفران نشان داد که بین تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد ($p\leq ۰/۰۱$) (جدول ۴). بیشترین قطر بنه در تیمارهای B و C مشاهده شد که هر دو در گروه آماری a قرار گرفتند و نسبت به تیمار A حدود ۱۷/۵ تا ۱۷/۸ درصد افزایش نشان دادند. این تیمارها شامل کاربرد خاکی پلت مرغی همراه با مقادیر متوسط تا بالا از سولوپتاس، فسفات، گوگرد و هیومیک بودند (شکل ۲). تیمار F که بر مبنای محلول‌پاشی

چندمرحله‌ای با کودهای Saffron Power و Saffron Magic اجرا شد، عملکرد قابل توجهی داشت و با افزایش ۱۳/۴ درصدی نسبت به تیمار A در گروه آماری ab قرار گرفت (شکل ۲). این یافته نشان می‌دهد که محلول‌پاشی مرحله‌ای با مقدار کنترل‌شده می‌تواند رشد قطری بنه‌ها را بهبود بخشد، هرچند کارایی آن نسبت به برخی تیمارهای خاک‌کاربرد کمی کمتر بود. تیمار E نیز با قطر نسبتاً مطلوب در گروه آماری bc قرار گرفت (۸/۶ درصد افزایش نسبت به تیمار A) و بیانگر این است که افزایش فسفر همراه با سایر عناصر، بدون تعادل مناسب در مقادیر هیومیک و گوگرد، ممکن است پاسخ رشدی کمتری ایجاد کند. تیمار D با وجود دارا بودن محتوی بیشترین مقدار هیومیک، در گروه آماری cd قرار گرفت که نشان می‌دهد که احتمالا وجود یک عنصر به‌تنهایی کافی نیست و هماهنگی بین عناصر اهمیت بیشتری دارد. از طرف دیگر، کمترین قطر بنه‌ها در تیمارهای A و G مشاهده شد که در گروه آماری d قرار گرفتند (شکل ۲). کاهش قطر بنه‌ها در این تیمارها ممکن است ناشی از رقابت درون‌گیاهی برای منابع بین تعداد زیاد بنه‌های دختری باشد، به‌گونه‌ای که گیاه منابع را بین تعداد زیادی بنه تقسیم کرده و رشد قطری هر بنه کاهش یافته است. این پدیده در سیستم‌های تکثیر غیرجنسی مانند زعفران بسیار رایج است (Elhajj et al., 2019) و اهمیت تراکم بنه در کنترل رشد کیفی آن‌ها را نشان می‌دهد.

به طور کلی، به نظر می‌رسد که ترکیب‌های کودی آلی متعادل نه‌تنها بستر فیزیکی مناسبی را برای رشد بنه‌های مادری زعفران ایجاد کرده‌اند، بلکه با بهبود جذب عناصر ضروری در طول فصل رشد، امکان نمو قطری بنه را نیز فراهم می‌کنند. همانطور که پیشتر نیز تأکید گردید، پتاسیم نقش مهمی در انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های ذخیره‌ای دارد، در حالی‌که هیومیک با تحریک رشد سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب عناصر، شرایط مطلوبی برای بزرگ شدن بنه‌ها ایجاد می‌کند (Wang et al., 2013; Maffia et al., 2025). قطر بنه یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی کیفیت بنه‌های دختری زعفران بوده که با میزان ذخیره مواد غذایی، توان تولید گل در سال بعد و سلامت گیاه ارتباط مستقیم دارد. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که ترکیب مناسب و متعادل عناصر غذایی، به ویژه پتاسیم، فسفر و هیومیک، تأثیر چشمگیری بر افزایش قطر بنه دارد.

وزن خشک بنه‌های دختری: نتایج حاصل از بررسی اثر تیمارهای کودی مختلف بر وزن خشک بنه‌های دختری زعفران نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری از نظر این ویژگی وجود داشت ($p\leq ۰/۰۱$) (جدول ۴). بیشترین وزن خشک بنه‌های دختری در تیمار A (۵ کیلوگرم پلت مرغی، ۱۰۰ گرم سولوپتاس، ۱۰۰ گرم فسفات، ۴۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار و ۲۰۰ گرم هیومیک گرانوله) با ۸۴۹۳ گرم در مترمربع مشاهده شد که در گروه آماری a قرار گرفت و از سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری برتر بود. همچنین میزان این افزایش برای صفت وزن خشک بنه‌های دختری در تمام تیمارها بیش از ۱۰۰ درصد محاسبه شد (شکل ۲). در تیمار D نیز که ترکیبی مشابه ولی با مقدار بیشتر سولوپتاس و هیومیک و مقدار کمتر گوگرد داشت، وزن خشک نسبتاً بالایی به دست آمد و در

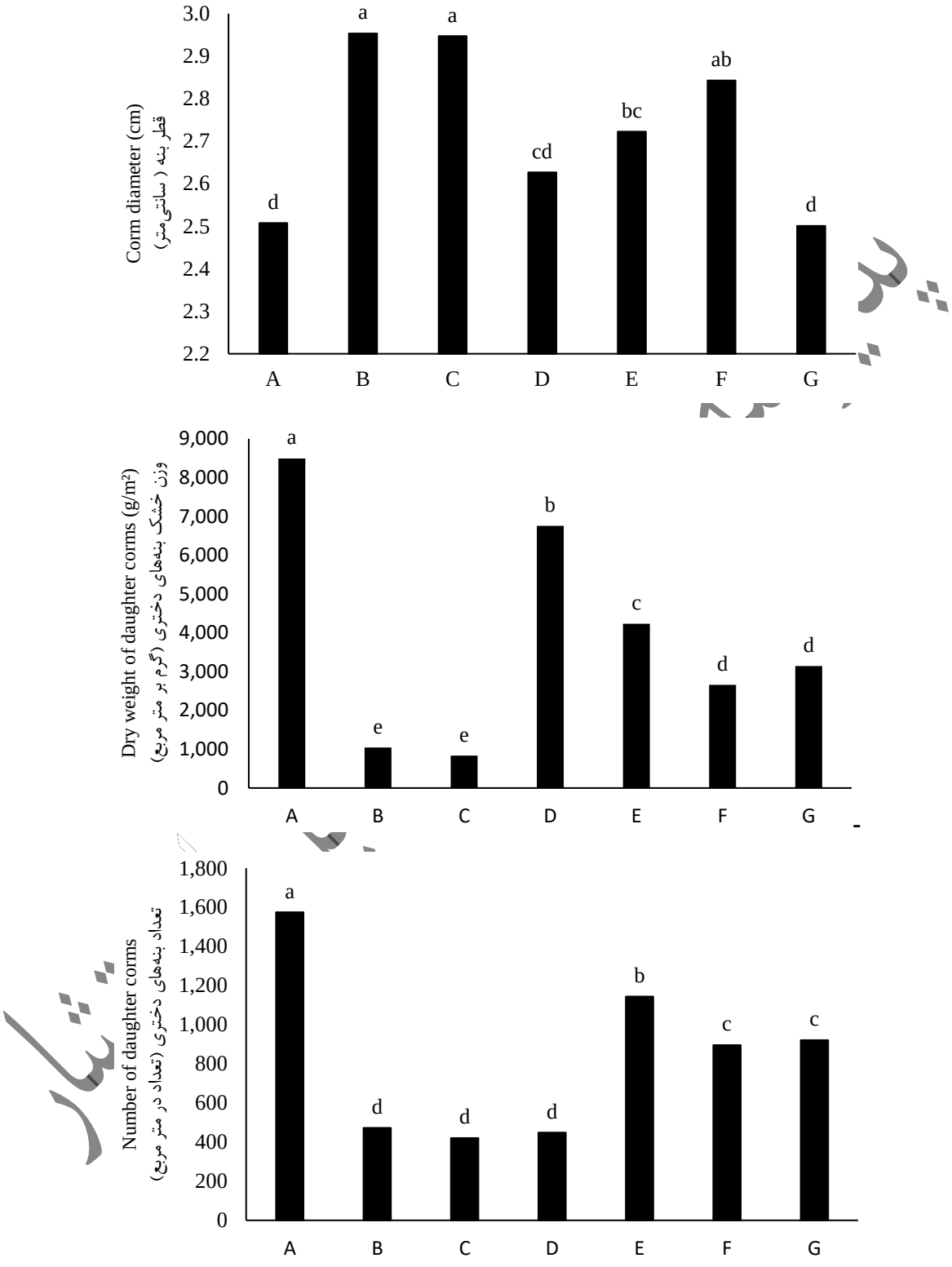
گروه آماری b قرار گرفت (شکل ۲). این نتایج حاکی از نقش کلیدی تأمین کامل عناصر غذایی، به‌ویژه پتاسیم، گوگرد و هیومیک در افزایش رشد بنه‌های دختری و بهبود تجمع ماده خشک در آن‌هاست. در مقابل، تیمار E با ترکیب کامل کود دامی و داشتن فسفات و پتاسیم بالا، به دلیل مقدار کمتر هیومیک اسید و گوگرد، وزن خشک کمتری نسبت به تیمارهای A و D تولید کرد که اهمیت نقش متقابل این عناصر را نشان می‌دهد. تیمارهای محلول‌پاشی F و G نیز وزن خشک متوسطی تولید کردند و در گروه آماری d طبقه‌بندی شدند (شکل ۲) و بیانگر این موضوع است که محلول‌پاشی بعد از گلدهی به‌تنهایی قادر به تأمین نیازهای اساسی گیاه برای رشد کامل بنه‌ها نبوده و لذا بنظر می‌رسد که این شیوه بیشتر نقش تکمیلی دارد. از طرف دیگر، کمترین وزن خشک بنه‌ها در تیمارهای B و C به‌دست آمد (شکل ۲) که به ترتیب حاوی مقادیر کمتر کود دامی و عناصر غذایی اصلی بودند. این تیمارها در گروه آماری e قرار گرفتند (شکل ۲). بر این اساس، به نظر می‌رسد که کاهش مقادیر عناصر غذایی خصوصاً گوگرد و پتاسیم، می‌تواند به‌طور مستقیم موجب کاهش تجمع ماده خشک در بنه‌های دختری شود. به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که تیمارهای خاک کاربرد با ترکیبات کامل‌تر نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی یا تیمارهایی با مقادیر پایین‌تر کود، بهتر عمل نمودند. وزن خشک بنه‌های دختری یکی از شاخص‌های مهم رشدی در ارزیابی وضعیت فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گیاه زعفران بوده که به طور مستقیم با ذخیره مواد غذایی و پتانسیل عملکرد گل زعفران در سال‌های آینده در ارتباط است (Ahmadian et al., 2024). پتاسیم علاوه بر نقش تنظیم‌کننده در فرآیندهای اسمزی و انتقال مواد، در نمو بنه‌ها و افزایش تراکم ماده خشک نیز تاثیرگذار است (Ragel et al., 2019). همچنین، گوگرد با بهبود دسترسی عناصر پرمصرف و شرکت در سنتز برخی ترکیبات آلی، در افزایش ماده خشک بنه مؤثر است (Scherer, 2001). هیومیک نیز با بهبود ساختار خاک، تحریک رشد ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی، به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش وزن خشک می‌شود (Ouni et al., 2014). بنابراین، چنین بنظر می‌رسد که ترکیب متعادل مصرف کود دامی (پلت مرغی) با سایر کودها، پتاسیم (سولوپتاس)، فسفر، گوگرد و هیومیک در بهبود ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در بنه نقش کلیدی دارد. به طور کلی، در راستای بهبود مدیریت زراعی، فراهمی عناصر غذایی به عنوان یکی از مهمترین عوامل موثر بر رشد بنه‌های دختری و موثر بر عملکرد زعفران در طول فصل رشد مطرح می‌باشد (Jalal et al., 2025).

تعداد بنه‌های دختری: بررسی اثر تیمارهای مختلف کودی بر تعداد بنه‌های دختری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از نظر این صفت وجود داشت ($p\leq ۰/۰۱$). بیشترین تعداد بنه‌های دختری برای تیمار A (۵ کیلوگرم پلت مرغی، ۱۰۰ گرم سولوپتاس، ۱۰۰ گرم فسفات، ۴۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار و ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، با ۱۵۷۵ بنه در متر مربع به دست آمد که میزان افزایش تعداد بنه‌های دختری در این تیمار در مقایسه با سایر تیمارهای B، C، D، E، F و G به ترتیب ۲۳۲، ۲۷۴، ۲۵۱، ۳۸، ۷۶ و ۷۱ درصد تعیین گردید (شکل ۲). به نظر می‌رسد که این ترکیب متعادل و کامل عناصر غذایی احتمالاً موجب بهبود شرایط تغذیه‌ای

پذیرفته شده نهایی قبل از انتشار

خاک، افزایش فعالیت میکروبی، بهبود جذب عناصر غذایی و در نهایت، افزایش تقسیم سلولی در بنه‌های مادری شده که نتیجه آن افزایش تعداد بنه‌های دختری بوده است. تیمار E (۵ کیلوگرم پلت مرغی، ۲۰۰ گرم سولوپتاس، ۲۰۰ گرم فسفات، ۲۴۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار و ۱۰۰ گرم هیومیک گرانول) نیز با تولید ۱۱۴۴ بنه دختری در گروه آماری b قرار گرفت (شکل ۲). افزایش بنه‌های دختری در تیمار E نیز مؤید اهمیت تغذیه مناسب در رشد و تکثیر زعفران است. اگرچه کاهش مقدار گوگرد و هیومیک نسبت به تیمار A ممکن است دلیل کاهش نسبی عملکرد باشد. تیمارهای محلول‌پاشی برمبنای استفاده از کودهای Saffron Power و Saffron Magic (تیمار F) و ترکیب KTS، K-Leaf و CaTs (تیمار G) عملکرد مشابهی داشتند و در گروه آماری c طبقه‌بندی شدند (شکل ۲) و عملکردی متوسط از خود نشان دادند. با اینکه این تیمارها حاوی عناصر غذایی ضروری بودند، اما احتمالا به‌دلیل نحوه کاربرد (محلول‌پاشی برگی یا مصرف بعد از گل‌دهی)، تأثیر کمتری در مقایسه با تیمارهای خاک کاربرد قبل از کاشت داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که تأمین عناصر غذایی در مرحله ابتدایی رشد از طریق خاک نقش مهم‌تری در افزایش تکثیر بنه‌ها نسبت به تغذیه برگی در مراحل بعدی دارد. در مقابل، کمترین تعداد بنه دختری مربوط به تیمارهای B و C و D بود که شامل کاربرد خاکی مقادیر کمتر کودهای دامی و شیمیایی بودند و در گروه آماری d قرار گرفتند (شکل ۲). این موضوع نشان می‌دهد که استفاده تلفیقی کودهای آلی و سایر کودها نقش موثرتری نسبت به استفاده از کود دامی بدون مکمل‌های پتاسه و گوگردی بر رشد بنه‌های دختری داشته است. گوگرد با افزایش حلالیت ترکیبات غذایی نامحلول و آزادسازی عناصر غذایی ضروری، به‌ویژه در ناحیه ریزوسفر خاک نقش مؤثری ایفا می‌کند (Aminifard et al., 2025). این عنصر یکی از اجزای اصلی ترکیبات مهم زیستی مانند فیتوکلاتین‌ها، کلروفیل، گلوتاتیون، ویتامین‌های بیوتین و تیامین و همچنین حاوی برخی اسیدهای آمینه نظیر سیستئین و متیونین است (Narayan et al., 2023). گوگرد با نقش کلیدی و مؤثر در بهبود ساختار خاک و افزایش جذب عناصر پرمصرف و هیومیک با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و تحریک رشد ریشه، از جمله عوامل کلیدی در بهبود رشد بنه‌های دختری معرفی شده‌اند (Ampong et al., 2022).

بارنامه شاه‌های قبل از انتشار



شکل ۲. اثر تیمارهای کودی بر شاخص‌های رشدی بنه‌های دختری زعفران

تیمارهای کودی و محلول‌پاشی به ازای هر متر مربع شامل A: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+۱۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم فسفات+ ۴۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، B: ۲/۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۶۰ گرم سولوپتاس+ ۶۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، C: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۱۴۰ گرم

سولوپتاس+ ۴۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۳۰۰ گرم هیومیک گرانول، D: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۴۰۰ گرم هیومیک گرانول، E: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۲۰۰ گرم فسفات+ ۲۴۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۱۰۰ گرم هیومیک گرانول، F: چهار نوبت محلول‌پاشی بر اساس مصرف ۳۱ گرم کود Saffron power و سه نوبت محلول‌پاشی بر اساس مصرف ۳۱ گرم Saffron Magic طی مراحل گلدهی و رویشی و G: ۱۷ میلی‌لیتر KTS در سه زمان بعد از گلدهی+ دو نوبت محلول‌پاشی با K-Leaf به میزان ۶/۲۵ گرم طی مرحله رشد رویشی+ ۶۲ میلی‌لیتر Cats در دو زمان بعد از گلدهی بودند.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 2. Effect of fertilizer treatments on growth indices of daughter corms of saffron

Fertilizer and foliar application treatments per square meter included: A: 5 kg poultry manure pellets + 100 g Solu Potash + 100 g phosphate + 400 g bentonite sulfur + 200 g humic granules; B: 2.5 kg poultry manure pellets + 60 g Solu Potash + 60 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 200 g humic granules; C: 4 kg poultry manure pellets + 140 g Solu Potash + 40 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 300 g humic granules; D: 4 kg poultry manure pellets + 200 g Solu Potash + 100 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 400 g humic granules; E: 5 kg poultry manure pellets + 200 g Solu Potash + 200 g phosphate + 240 g bentonite sulfur + 100 g humic granules; F: Four foliar applications using 31 g Saffron Power fertilizer and three foliar applications using 31 g Saffron Magic fertilizer during flowering and vegetative stages; and G: 17 mL KTS applied three times after flowering + two foliar applications with 6.25 g K-Leaf during the vegetative growth stage + 62 mL Cats applied twice after flowering.

Means followed by the same letter(s) in each figure, based on Duncan's multiple range test at the 5% probability level, are not significantly different.

تعداد گل: نتایج بررسی اثر تیمارهای مختلف کودی بر تعداد گل زعفران نشان داد که بین تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۴). به طوری‌که بیشترین تعداد گل در تیمار B (۲/۵ کیلوگرم پلت مرغی، ۶۰ گرم سولوپتاس، ۶۰ گرم فسفات، ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار و ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول) با ۳۱۲ گل در متر مربع مشاهده شد که با در گروه آماری a قرار گرفت. این تیمار نسبت به تیمار G حدود ۲۳۰ درصد افزایش و نسبت به سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری برتری داشت (شکل ۳). این نتیجه تأکید می‌کند که افزایش مقدار کود به‌تنهایی مؤثر نیست، بلکه نسبت و هم‌افزایی بین عناصر مانند پتاسیم، فسفر، گوگرد و هیومیک اهمیت بالاتری دارد. تیمار D (۲۷۴ گل در متر مربع) بر مبنای استفاده از مقدار بالاتری از سولوپتاس و هیومیک، در گروه آماری ab قرار گرفت و ۱۹۰ درصد بیشتر از G و تنها ۱۲ درصد کمتر از B گل تولید کرد (شکل ۳). این نتایج نشان می‌دهد که وجود پتاسیم کافی در کنار گوگرد و هیومیک می‌تواند تأثیر چشمگیری در افزایش گلدهی زعفران داشته باشد. نتایج حاصل از پژوهشی در رابطه با اثر مقادیر متفاوت کودهای گوگرد و پتاسیم بر صفات کمی زعفران در شرایط اقلیمی کرمانشاه نشان داد که استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد موجب افزایش بیشترین تعداد گل در واحد سطح شد (Basatpour et al., 2021).

تیمارهای A، C و E عملکرد نسبتاً مشابهی داشتند (۱۷۵–۱۷۰ گل در متر مربع) و در گروه آماری bc قرار گرفتند. این تیمارها نسبت به کمترین مقدار ۸۰ تا ۸۵ درصد افزایش داشتند و ۴۴ تا ۴۶ درصد کمتر از بهترین تیمار B بودند (شکل ۳). به نظر می‌رسد در این تیمارها به دلیل عدم تعادل بهینه بین عناصر کلیدی یا رقابت درون‌گیاهی، گلدهی به سطح حداکثری نرسیده و منابع فتوسنتزی گیاه بیشتر به سمت رشد رویشی یا تولید بنه‌های دختری هدایت شده است. این نکته به‌خوبی اهمیت جهت‌دهی فیزیولوژیک رشد گیاه از طریق تغذیه مناسب را نشان می‌دهد. کمترین تعداد گل در تیمارهای محلول‌پاشی F و G به ترتیب با ۱۳۲ و ۹۵ گل در متر مربع مشاهده شد که در گروه آماری c قرار گرفتند (شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد که محلول‌پاشی به تنهایی، به

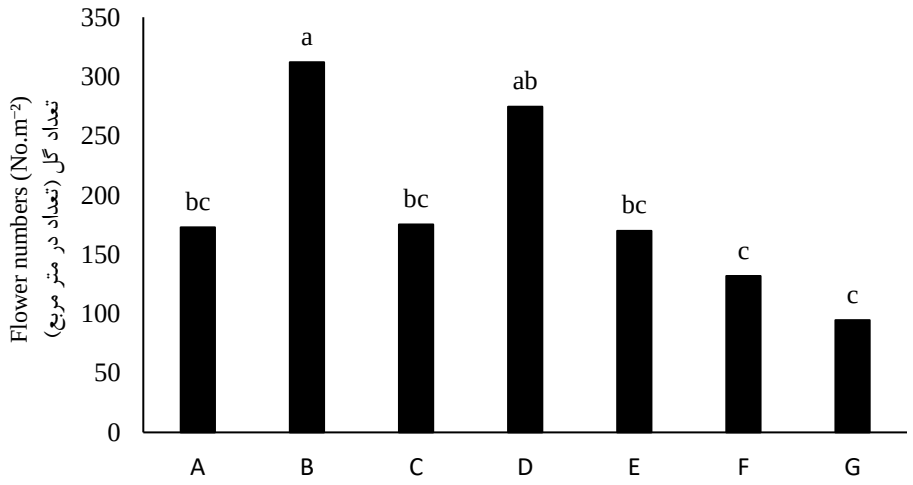
نسخه پذیرفته شده نهایی - قابل انتشار

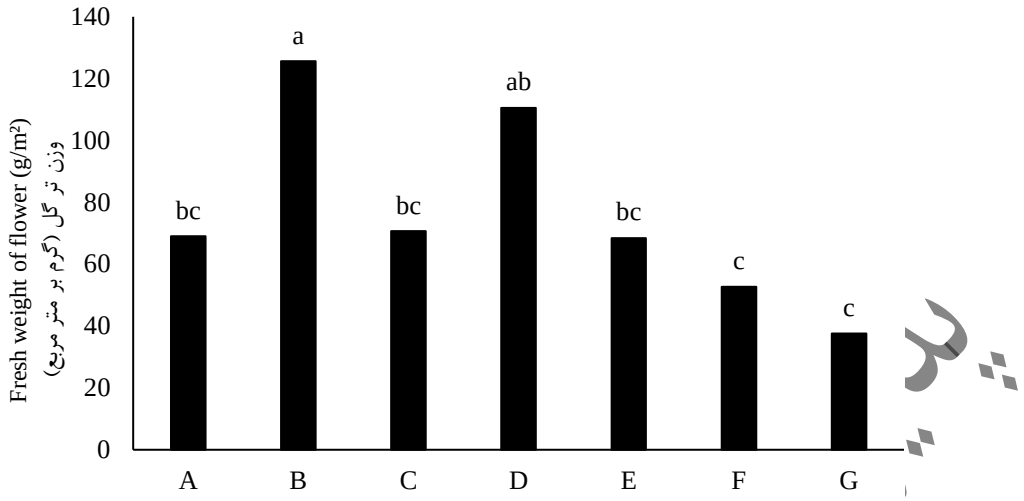
ویژه اگر پس از گلدهی گیاه انجام شود، توانایی تحریک گلدهی را ندارد و نمی‌تواند جایگزین تغذیه پایه از طریق مصرف کودها پیش از کاشت در خاک شود.

به طور کلی، تعداد گل زعفران به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های عملکرد اقتصادی گیاه، بازتابی از سلامت بوته، پتانسیل بنه‌های دختری و شرایط تغذیه‌ای است (Kalia et al., 2023). نتایج این تحقیق نیز تأکید می‌کند که نوع، مقدار و زمان مصرف کود نقش مؤثری در افزایش یا کاهش تعداد گل دارد و برای دستیابی به گلدهی بالا، باید تمرکز اصلی بر تغذیه پایه پیش از کاشت با ترکیبی متعادل از عناصر پرمصرف، ریزمغذی‌ها و محرک‌های زیستی مانند هیومیک باشد. نتایج آزمایش منعمی‌زاده و همکاران (Monemizadeh et al., 2020) نشان‌دهنده نقش مثبت و مؤثر محلول‌پاشی با انواع مختلف کودهای کامل حاوی عناصر ریزمغذی، بر صفات اندازه و وزن بنه‌های تولیدی بود؛ صفاتی که از اهمیت بالایی در تولید گل و تولید بنه‌های تجاری زعفران برخوردارند. همچنین، زمان مصرف عناصر ریزمغذی، اثر معنی‌داری در بهبود رشد بنه‌های تولیدی داشت و به تبع آن، افزایش عملکرد گل زعفران نیز انتظار می‌رود.

وزن گل: وزن گل یکی دیگر از شاخص‌های مهم کمی در ارزیابی عملکرد اقتصادی زعفران است، زیرا همبستگی مستقیمی با وزن کلاله دارد. بررسی اثر تیمارهای مختلف کودی بر وزن گل نشان داد که بین تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد ($p\leq$۰/۰۱) (جدول ۴). بیشترین وزن گل با ۱۲۶ گرم در تیمار B (۲/۵ کیلوگرم پلت مرغی، ۶۰ گرم سولوپتاس، ۶۰ گرم فسفات، ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار و ۲۰۰ گرم هیومیک گرانوله) مشاهده شد و در گروه آماری a قرار گرفت (شکل ۳). این موضوع نشان می‌دهد که کیفیت تغذیه و نسبت مناسب بین عناصر مختلف غذایی، به ویژه پتاسیم و فسفر، نقش مهم‌تری از مقدار مطلق آن‌ها دارد. حضور گوگرد بنتونیت‌دار نیز احتمالاً با بهبود جذب عناصر، اثر مؤثری بر رشد زایشی و افزایش وزن گل داشته است. با توجه به ترکیب تیمارها و عملکرد گل، مشخص است که فسفر و پتاسیم بیشترین تأثیر را روی وزن گل دارند. فسفر به دلیل نقش مستقیم در تحریک گل‌دهی و رشد زایشی و پتاسیم به دلیل تنظیم فرآیندهای متابولیک گیاه، عناصر کلیدی در افزایش وزن گل هستند. نتایج برخی پژوهش‌های متفاوت نشان داده است که تأمین متعادل عناصر غذایی، نقش حیاتی در تحریک گل‌دهی و بهبود رشد بنه‌های مادری زعفران دارد (Khorramdel et al., 2018b; Polara et al., 2015). تیمار D (شامل مقادیر بالاتری از سولوپتاس، فسفات و هیومیک نسبت به تیمار B) با وزن گل نسبتاً بالا برابر با ۱۱۱ گرم در گروه آماری ab قرار گرفت. بنابراین، مقدار فسفر در تیمار D بیش از سایر تیمارها بوده است، اگرچه وزن گل آن کمتر از تیمار B بود (شکل ۳). این یافته نشان می‌دهد که صرفاً افزایش مقدار یک عنصر، بدون رعایت تعادل عناصر غذایی، منجر به بیشترین عملکرد گل نمی‌شود. عملکرد مطلوب این دو تیمار نشان می‌دهد که ترکیب مناسب عناصر غذایی، به‌ویژه پتاسیم، فسفر و هیومیک، پیش از کاشت، تأثیر مستقیم بر افزایش عملکرد گل دارد.

تیمارهای A، C و E با ترکیب‌های مختلف، در گروه آماری bc قرار گرفتند و وزن گل متوسطی تولید کردند که نشان‌دهنده اهمیت تعادل عناصر غذایی و جذب مؤثر آن‌ها است. مصرف بیش‌ازحد برخی عناصر، مانند فسفر، ممکن است باعث کاهش جذب سایر عناصر مانند روی و آهن شده و رشد زایشی را محدود کند (Bindraban et al., 2020). تیمارهای محلول‌پاشی F و G کمترین وزن گل (۵۳ و ۳۸ گرم) را داشتند و در گروه آماری c قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که محلول‌پاشی پس از گلدهی یا در زمان نامناسب نمی‌تواند نیاز کامل گیاه را برای تولید گل با کیفیت تأمین کند. تغذیه پیش از کاشت از طریق کاربرد کودهای مختلف در خاک، با ایجاد بستری مناسب برای رشد و توسعه ریشه و ذخیره عناصر غذایی، نقش کلیدی در تأمین انرژی لازم برای تولید گل ایفا می‌کند. از آنجا که گیاهان گل‌دهنده نظیر زعفران، نسبت به کمبود عناصر غذایی حساس‌ترین هستند، بنابراین مدیریت خاک و عناصر غذایی یکی از حیاتی‌ترین عملیات زراعی در تولید این گونه گیاهان به شمار می‌آید. برخی محققان نیز تأکید نمودند که گیاهان گل‌دهنده برای رشد صحیح گل‌ها و دستیابی به رنگ مطلوب، نیاز بیشتری به عناصر غذایی دارند (Kumar et al., 2021). در مجموع، این نتایج بر اهمیت برنامه‌ریزی دقیق تغذیه‌ای بر پایه تعادل عناصر غذایی و زمان‌بندی مناسب در افزایش باثبات عملکرد گل زعفران به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأکید دارد.





شکل ۳. اثر تیمارهای کودی بر شاخص‌های گل زعفران

تیمارهای کودی و محلول‌پاشی به ازای هر متر مربع شامل A: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+۱۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم فسفات+ ۴۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، B: ۲/۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۶۰ گرم سولوپتاس+ ۶۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، C: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۱۴۰ گرم سولوپتاس+ ۴۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۳۰۰ گرم هیومیک گرانول، D: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۴۰۰ گرم هیومیک گرانول، E: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۲۰۰ گرم فسفات+ ۲۴۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۱۰۰ گرم هیومیک گرانول، F: چهار نوبت محلول‌پاشی بر اساس مصرف ۳۱ گرم کود Saffron power و سه نوبت محلول‌پاشی بر اساس مصرف ۳۱ گرم Saffron Magic طی مراحل گلدهی و رویشی و G: ۱۷ میلی‌لیتر KTS در سه زمان بعد از گلدهی+ دو نوبت محلول‌پاشی با K-Leaf به میزان ۶/۲۵ گرم طی مرحله رشد رویشی+ ۶۲ میلی‌لیتر Cats در دو زمان بعد از گلدهی بودند.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 3. Effect of fertilizer treatments on saffron flower indices

Fertilizer and foliar application treatments per square meter included: A: 5 kg poultry manure pellets + 100 g Solu Potash + 100 g phosphate + 400 g bentonite sulfur + 200 g humic granules; B: 2.5 kg poultry manure pellets + 60 g Solu Potash + 60 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 200 g humic granules; C: 4 kg poultry manure pellets + 140 g Solu Potash + 40 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 300 g humic granules; D: 4 kg poultry manure pellets + 200 g Solu Potash + 100 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 400 g humic granules; E: 5 kg poultry manure pellets + 200 g Solu Potash + 200 g phosphate + 240 g bentonite sulfur + 100 g humic granules; F: Four foliar applications using 31 g Saffron Power fertilizer and three foliar applications using 31 g Saffron Magic fertilizer during flowering and vegetative stages; and G: 17 mL KTS applied three times after flowering + two foliar applications with 6.25 g K-Leaf during the vegetative growth stage + 62 mL Cats applied twice after flowering.

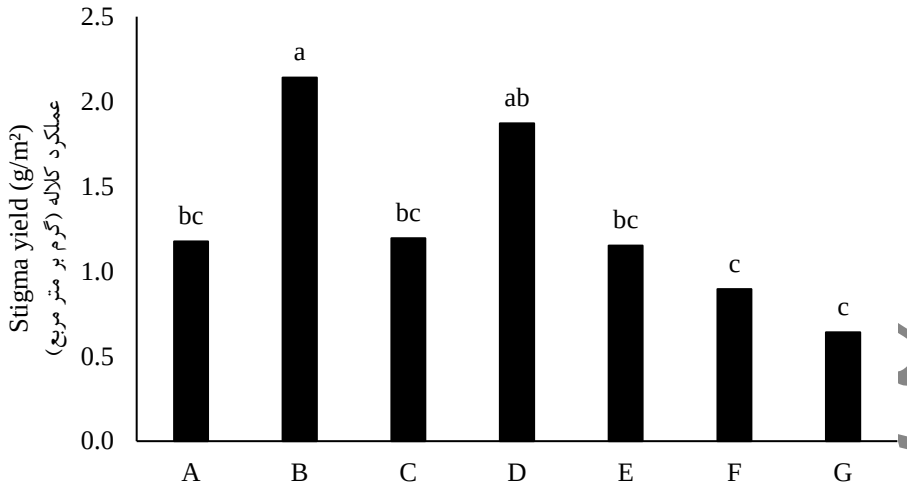
Means followed by the same letter(s) in each figure, based on Duncan's multiple range test at the 5% probability level, are not significantly different.

عملکرد کلاله: بررسی اثر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد کلاله زعفران نشان داد که بین تیمارها اختلاف قابل توجهی وجود دارد (جدول ۴). بیشترین عملکرد کلاله (۲/۱۴ گرم در متر مربع) در تیمار B (۲/۵ کیلوگرم پلت مرغی، ۶۰ گرم سولوپتاس، ۶۰ گرم فسفات، ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار و ۲۰۰ گرم هیومیک گرانوله) مشاهده شد (شکل ۳) که حتی با مقادیر متوسط عناصر، توانست عملکرد کلاله را به طور مؤثری افزایش دهد. ترکیب متوازن پلت مرغی، همراه با پتاسیم، فسفر، گوگرد و هیومیک، موجب بهبود رشد بنه‌ها، تحریک رشد زایشی و تقویت فرآیند تشکیل گل شد. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که کاربرد کود و اصلاح‌کننده‌های خاک بیشترین تأثیر را بر عملکرد زعفران دارد (El Hajj et al., 2024; Khorramdel et al., 2022). به‌ویژه هیومیک با افزایش فعالیت ریشه و جذب عناصر غذایی، شرایط مناسبی برای رشد گل و کلاله فراهم می‌کند (Babarabie et al.,

2020). این یافته‌ها تأکید می‌کنند که تعادل بین عناصر مختلف غذایی و کیفیت تغذیه مهم‌تر از مقدار مطلق کود مصرفی است. مصرف کود دامی با تأمین عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و حفظ چرخه عناصر غذایی نقش مهمی در بهبود عملکرد کلاله دارد (Khorramdel et al., 2023).

تیمار D (مصرف چهار کیلوگرم پلت مرغی و مقادیر بیشتر سولوپتاس و هیومیک) با عملکرد کلاله نسبتاً بالا برابر با ۱/۸۷ گرم در متر مربع در رتبه دوم قرار گرفت. این تیمار شامل بود (شکل ۴) و به نظر می‌رسد که افزایش پتاسیم و هیومیک به شکل قابل توجهی توان گلدهی و تشکیل کلاله‌ها را تقویت می‌کند. پتاسیم نقش حیاتی در انتقال مواد فتوسنتزی و فعال سازی آنزیم‌های مؤثر در تشکیل و نمو کلاله دارد (Xu et al., 2020). در این راستا، مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی خاک مؤثر بر عملکرد کلاله شامل پتاسیم و فسفر قابل دسترس، هدایت الکتریکی و نیتروژن کل معرفی شدند (Rezvani Moghaddam et al., 2015). همچنین به نظر می‌رسد که کاربرد سولوپتاس و هیومیک در تیمار D احتمالاً موجب تقویت توان گلدهی بنه‌ها و ارتقای عملکرد کلاله شده است. تیمارهای A، C و E عملکرد متوسطی (۱/۱۵ تا ۱/۲ گرم بر متر مربع) داشتند (شکل ۴). اگرچه توده بنه و وزن برگ در این تیمارها مناسب بود، تمرکز زیاد بر رشد رویشی یا ذخیره‌سازی بنه باعث شد که انرژی کافی برای رشد زایشی و تولید کلاله محدود شود. کمترین عملکرد کلاله (۰/۶۴ تا ۰/۸۹گرم در متر مربع) مربوط به تیمارهای محلول‌پاشی F و G بود (شکل ۴). با وجود مصرف برخی ترکیبات پرمصرف مانند پتاسیم و کلسیم، بنظر می‌رسد که کاربرد دیرهنگام این کودها (پس از گلدهی یا مراحل میانی رشد)، نتوانسته نیاز گیاه به عناصر غذایی حیاتی برای تشکیل کلاله را تأمین کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تغذیه هدفمند و زودهنگام، به ویژه پیش از آغاز گلدهی، نقش کلیدی در افزایش عملکرد کلاله دارد. کلاله زعفران به عنوان بخش اقتصادی اصلی گیاه، به طور مستقیم تحت تأثیر کیفیت تغذیه، تعادل عناصر غذایی، توان بنه‌ها، وضعیت رشد رویشی و زمان‌بندی مصرف کود قرار دارد. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که نوع، ترکیب و زمان مصرف کود، تعیین کننده اصلی عملکرد کلاله هستند و انتخاب تیمار متعادل و خاک‌کاربرد پیش از کاشت بهترین کارایی و بهره‌وری را ایجاد می‌کند.

نسخه نهایی قبل از انتشار



شکل ۴. اثر تیمارهای کودی بر عملکرد کلاله زعفران

تیمارهای کودی و محلول‌پاشی به ازای هر متر مربع شامل A: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+۱۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم فسفات+ ۴۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، B: ۲/۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۶۰ گرم سولوپتاس+ ۶۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۲۰۰ گرم هیومیک گرانول، C: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۱۴۰ گرم سولوپتاس+ ۴۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۳۰۰ گرم هیومیک گرانول، D: ۴ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۱۰۰ گرم فسفات+ ۳۰۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۴۰۰ گرم هیومیک گرانول، E: ۵ کیلوگرم پلت مرغی+ ۲۰۰ گرم سولوپتاس+ ۲۰۰ گرم فسفات+ ۲۴۰ گرم گوگرد بنتونیت‌دار+ ۱۰۰ گرم هیومیک گرانول، F: چهار نوبت محلول‌پاشی بر اساس مصرف ۳۱ گرم کود Saffron power و سه نوبت محلول‌پاشی بر اساس مصرف ۳۱ گرم Saffron Magic طی مراحل گلدهی و رویشی و G: ۱۷ میلی‌لیتر KTS در سه زمان بعد از گلدهی+ دو نوبت محلول‌پاشی با K-Leaf به میزان ۶/۲۵ گرم طی مرحله رشد رویشی+ ۶۲ میلی‌لیتر Cats در دو زمان بعد از گلدهی بودند.

میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 4. Effect of fertilizer treatments on saffron stigma yield

Fertilizer and foliar application treatments per square meter included: A: 5 kg poultry manure pellets + 100 g Solu Potash + 100 g phosphate + 400 g bentonite sulfur + 200 g humic granules; B: 2.5 kg poultry manure pellets + 60 g Solu Potash + 60 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 200 g humic granules; C: 4 kg poultry manure pellets + 140 g Solu Potash + 40 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 300 g humic granules; D: 4 kg poultry manure pellets + 200 g Solu Potash + 100 g phosphate + 300 g bentonite sulfur + 400 g humic granules; E: 5 kg poultry manure pellets + 200 g Solu Potash + 200 g phosphate + 240 g bentonite sulfur + 100 g humic granules; F: Four foliar applications using 31 g Saffron Power fertilizer and three foliar applications using 31 g Saffron Magic fertilizer during flowering and vegetative stages; and G: 17 mL KTS applied three times after flowering + two foliar applications with 6.25 g K-Leaf during the vegetative growth stage + 62 mL Cats applied twice after flowering.

Means followed by the same letter(s), based on Duncan's multiple range test at the 5% probability level, are not significantly different.

نتایج همبستگی بین صفات

در جدول ۵ نتایج ضرایب همبستگی بین صفات رشدی اندام‌های رویشی و عملکرد گل و کلاله زعفران آورد شده است.

جدول ۵. ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مختلف رشدی برگ و بنه‌های دختری و عملکرد گل و کلاله زعفران

Table 5. Pearson correlation coefficients among various growth traits of leaves and daughter corms, and the flower and stigma yield of saffron

	تعداد بنه‌های دختری Number of daughter corms	وزن خشک بنه دختری Dry weight of daughter corms	وزن خشک برگ Dry weight of leaves	طول برگ Leaf length	قطر بنه Corm diameter	وزن گل Flower weight	تعداد گل Number of flowers	عملکرد کلاله stigma yield
تعداد بنه‌های دختری Number of daughter corms	1							
وزن خشک بنه دختری Dry weight of daughter corms	-0.62**	1						
وزن خشک برگ Dry weight of leaves	0.91**	0.7**	1					
طول برگ Leaf length	-0.32	0.54**	0.44**	1				
قطر بنه Corm diameter	-0.56**	0.7**	-0.5**	0.59**	1			
وزن گل Flower weight	-0.45**	0.016	-0.18	-0.018	0.29	1		
تعداد گل Number of flowers	-0.44**	0.013	-0.18	0.018	0.28	0.99**	1	
عملکرد کلاله Stigma yield	-0.45**	0.017	-0.015	0.015	0.29	0.99**	0.99**	1

* و **: به‌ترتیب در سطح احتمال $\alpha = 0.05$ و $\alpha = 0.01$ معنادار هستند.

*and **: Significant at $\alpha = 0.05$ & $\alpha = 0.01$ probability levels, respectively.

پذیرفته شده نهایی-قبل از انتشار

نتایج بررسی ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های رویشی و زایشی زعفران نشان داد که برخی صفات دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و برخی دیگر دارای همبستگی منفی می‌باشند. بین وزن گل، تعداد گل و عملکرد کلاله همبستگی بسیار قوی و مثبت در سطح احتمال درصد ($r \approx 0.99, p \leq 0.01$) مشاهده شد (جدول ۵). این ارتباط نزدیک بیانگر آن است که عملکرد اقتصادی زعفران به‌شدت تحت تأثیر شاخص‌های گلدهی قرار دارد، به‌طوری‌که افزایش در تعداد یا وزن گل به‌طور مستقیم موجب افزایش عملکرد کلاله می‌شود. این یافته‌ها بر ضرورت توجه به شاخص‌های گلدهی در ارزیابی عملکرد زعفران تأکید دارد. همچنین بین وزن خشک برگ و تعداد بنه‌های دختری همبستگی مثبت و قوی و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد ($r = 0.91, p \leq 0.01$) وجود داشت (جدول ۵). این همبستگی نشان می‌دهد که رشد رویشی مطلوب و تولید ماده خشک بیشتر در برگ‌ها می‌تواند از طریق افزایش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی منجر به افزایش تعداد بنه‌های دختری گردد. علاوه بر این، بین وزن خشک برگ و وزن خشک بنه‌های دختری نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($r = 0.69, p \leq 0.01$) مشاهده شد (جدول ۵) که بیانگر نقش برگ‌ها به‌عنوان منبع تأمین مواد فتوسنتزی برای رشد بنه‌های دختری است. در مقابل، طول برگ با صفاتی نظیر وزن خشک برگ، قطر بنه و تعداد بنه‌های دختری دارای همبستگی منفی و غیرمعنی‌دار بود. به‌طور کلی، یافته‌های همبستگی این پژوهش بیانگر آن است که برای دستیابی به عملکرد بالا در زعفران، باید توازن دقیقی میان شاخص‌های رشدی اندام‌های رویشی (مانند برگ و بنه‌های دختری) و زایشی (چون گل و کلاله) برقرار شود. تیمارهایی که این تعادل را حفظ کردند، از جمله تیمار B (شکل ۳)، توانستند عملکرد مطلوب‌تری از خود نشان دهند. بنابراین، توصیه می‌شود برنامه‌های مدیریت تغذیه‌ای زعفران به‌گونه‌ای تنظیم شوند که ضمن تأمین نیازهای رشد رویشی، از تحریک فرآیند گلدهی و افزایش عملکرد کلاله نیز حمایت نمایند.

ضرایب همبستگی میان صفات رویشی و زایشی زعفران نشان داد که برقراری توازن بین رشد رویشی و زایشی، عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد بهینه و پایدار این گیاه ارزشمند است. صفاتی نظیر تعداد گل، وزن گل و عملکرد کلاله دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد اقتصادی زعفران ایفا می‌کنند.

در راستای تحقق مدیریت پایدار در تولید زعفران، بهره‌گیری از راهبردهای تغذیه‌ای و زراعی متعادل، شامل تنظیم تراکم و عمق کاشت بنه، تغذیه هدفمند با عناصر ضروری به‌ویژه نیتروژن و پتاسیم و مدیریت بهینه‌ی آبیاری، نقش مهمی در حفظ تعادل میان رشد رویشی و زایشی و در نتیجه تضمین پایداری عملکرد در بلندمدت دارد. علاوه بر این، می‌تواند بهبودخدمات و کارکردهای نام تولید زعفران به ویژه خدمات گروه حمایتی را به طور مؤثر و ویژه‌ای تحت تأثیر مثبت قرار دهد. نتایج پژوهش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2021) نشان داد که اثر ساده کاربرد بقایای گیاهی، تراکم بنه و عمق کاشت بر شاخص‌های عملکرد گل، ویژگی‌های رشد و عملکرد بنه‌های دختری زعفران به‌طور معنی‌داری قابل توجه بود. به‌طور کلی، اعمال مدیریت‌های زراعی مناسب،

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

از جمله افزودن بقایای گیاهی به خاک، افزایش عمق کاشت تا حدود ۱۵ سانتی‌متر و کاشت متراکم‌تر بنه‌ها، می‌تواند به‌عنوان راهبردهایی مؤثر جهت بهبود عملکرد گل، افزایش تعداد و وزن بنه‌های دختری و ارتقای پایداری تولید زعفران مورد استفاده قرار گیرد. همچنین بر اساس یافته‌های کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013)، سطوح مختلف تراکم بنه و میزان مصرف کود دامی تأثیر معنی‌داری بر تمامی شاخص‌های کمی گل زعفران داشتند. به‌طور کلی، دستیابی به عملکرد بالا و پایدار در زعفران مستلزم رویکردی سیستمی و مبتنی بر درک روابط فیزیولوژیک گیاه است؛ به طوری‌که طراحی و اجرای مدیریت زراعی بر اساس این روابط می‌تواند ضمن افزایش بهره‌وری، پایداری اکولوژیک و اقتصادی تولید زعفران را در بلندمدت تضمین نماید.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش روی اثر کودهای خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی برگی بر رشد رویشی و عملکرد کلاله زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت مدیریت کشاورز (On-farm) نشان داد که نوع، مقدار و زمان مصرف کود تأثیر قابل‌توجهی بر صفات رویشی و زایشی گیاه دارد. تیمارهای خاک‌کاربرد پیش از کاشت شامل پلت مرغی، سولوپتاس، سوپر فسفات تریپل، گوگرد بنتونیت‌دار و اسید هیومیک، به‌طور معنی‌داری عملکرد را تحت تأثیر قرار دادند. همچنین از نظر تولید بنه‌های دختری، تیمار A بیشترین تعداد و وزن را داشت که نقش کلیدی مصرف متعادل عناصر غذایی پایه را در تقویت بنه‌زایی نشان می‌دهد؛ با این حال، قطر بنه در این تیمار کمتر بود که احتمالاً ناشی از رقابت درون‌گیاهی میان بنه‌های دختری بود. در مقابل، تیمار B بیشترین قطر بنه و بالاترین عملکرد گل و کلاله را تولید نمود. این تیمار، همچنین با مصرف کمتر کود دامی و شیمیایی اما احتمالا تعادل مناسب بین عناصر مختلف غذایی، بهترین نتایج اقتصادی از نظر تعداد گل، وزن گل و عملکرد کلاله را به خود اختصاص داد.

در بین صفات رویشی، تیمار A بیشترین وزن خشک برگ و تیمار F بیشترین طول برگ را نشان دادند. هرچند محلول‌پاشی‌های هدفمند به‌ویژه تیمار F، رشد طولی برگ‌ها را بهبود داد، اما این افزایش لزوماً با ارتقای عملکرد زایشی همراه نبود. تیمارهای محلول‌پاشی F و G در بیشتر صفات، به‌ویژه عملکرد کلاله و وزن گل، در رتبه‌های پایین‌تری قرار گرفتند. این یافته نشان می‌دهد که محلول‌پاشی به‌تنهایی جایگزین تغذیه خاکی نمی‌شود و باید به‌عنوان مکمل استفاده گردد.

به‌طور کلی، ترکیب متعادل کودهای آلی و شیمیایی، به‌ویژه شامل پتاسیم، فسفر، گوگرد و اسید هیومیک، به‌صورت خاک‌کاربرد پیش از کاشت، رویکردی مؤثر، اقتصادی و پایدار در افزایش پایدار عملکرد زعفران است. به طور کلی، در میان تیمارهای مختلف تغذیه‌ای شامل خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی، تیمار B به‌عنوان بهترین ترکیب از نظر عملکرد گل، کلاله و قطر بنه و تیمار A از نظر تعداد و وزن بوته‌های دختری قابل توصیه هستند که البته این موضوع نیز نیازمند مطالعات تکمیلی به ویژه در اقلیم‌های مختلف و خصوصیات خاکی متفاوت می‌باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات آقای مهندس مرتضی قاسمی (شرکت سلام مزرعه) در تأمین محصولات و حمایت مالی آقای مهندس علیرضا رحیمی در شرکت تیما زعفران قائن در تأمین بخشی از هزینه‌های اجرای طرح تحقیقاتی سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1. Aghhavani Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., & Koocheki, A. (2018). Increasing saffron (*Crocus sativus* L.) corm size through the mycorrhizal inoculation, humic acid application, and irrigation management. *Journal of Plant Nutrition*, 41(8), 1047-1064. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1433835
2. Ahmadi, E., Sahabi, H., Fallahi, H. R., & Feizi, H. (2025). Nutrients can be effectively absorbed by Saffron (*Crocus sativus* L.) Leaves and positively affect the vegetative growth and flowering. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 04, 345-356. https://doi.org/10.22034/jmpb.2025.366770.1744
3. Ahmadian, A., Nazari, N., & Esmaeilian, Y. (2024). Determining an appropriate integrated nutrition system for saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation as affected by maternal corm weight. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 7(4), 317-334. https://doi.org/10.22077/jhpr.2024.7242.1363
4. Akbarian, M. M., Heidari Sharifabad, H., Noormohammadi, G., & Darvish Kojouri, F. (2012). The effect of potassium, zinc, and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativus* L.). *Annals of Biological Research*, (12), 5651-5658.
5. Al-Shammary, A. A. G., Al-Shihmani, L. S. S., Fernández-Gálvez, J., & Caballero-Calvo, A. (2024). Optimizing sustainable agriculture: A comprehensive review of agronomic practices and their impacts on soil attributes. *Journal of Environmental Management*, 364, 121487. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121487
6. Aminifard, M. H., Moghadam, A. K., Hassan Bayat, H., & Fallahi, H. R. (2025). Investigating the effect of different levels of manure and sulfur on vegetative growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 12(2), 256-274 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22077/jsr.2025.8373.1244
7. Amirnia, R., Bayat, M., & Tajbakhsh, M. (2014). Effects of nano fertilizer application and maternal corm weight on flowering at some saffron (*Crocus sativus* L.) ecotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 19(2), 158-168. https://doi/org/10.17557/tjfc.46269
8. Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 848621. https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621
9. Aragón, M.S., Nakamaru, Y.M., García-Carmona, M., Garzón, F.J.M., & Peinado, F.J.M. (2019). The role of organic amendment in soils affected by residual pollution of potentially harmful elements. *Chemosphere*, 237, 124549. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124549
10. Babarabie, M., Zarei, H., Badeli, S., Danyaei, A., & Ghobadi, F. (2020). Humic acid and folic acid application improve marketable traits of cut tuberose (*Polianthes tuberosa*). *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 10(1), 85-91. https://doi.org/0.22034/jppb.2020.12526
11. Basatpour, G., Kheirkhah, M., & Babaeian, M. (2021). Effect of sulfur and potassium fertilizers on yield and yield components of saffron (Crocus sativus L.) in Kermanshah. *Journal of Saffron Research*, 9(2), 242-228 [in Persian with English abstract]. https://doi/org/10.22077/jsr.2021.4187.1156
12. Bindraban, P. S., Dimkpa, C. O., & Pandey, R. (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, 56(3), 299-317. https://doi.org/10.1007/s00374-019-01430-2
13. Cardone, L., Castronuovo, D., Perniola, M., Scrano, L., Cicco, N., & Candido, V. (2020). The influence of soil physical and chemical properties on saffron (*Crocus sativus* L.) growth, yield, and quality. *Agronomy*, 10, 1154. https://doi.org/10.3390/agronomy10081154
14. Dordas, C. (2009). Dry matter, nitrogen, and phosphorus accumulation: partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source–sink relations. *Journal of European Agronomy*, 30, 129–139. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.09.001

15. El Hajj, A. K., Chamandy, A., Sayour, F., Jaber, S., & Oueidat, N. (2024). Optimizing saffron (*Crocus sativus*) yield and quality through nutrient inputs and timing. *Italian Journal of Agronomy*, 19(2), 100009. https://doi.org/10.1016/j.ijagro.2024.100009
16. Elhajj, M. S., Behdarvandi, B., & Chéhab, S. (2019). Effect of corm density on saffron (*Crocus sativus* L.) growth and yield. *Acta Horticulturae*, 1260, 63–70.
17. Esmaeilian, Y., Amiri, M. B., Tavassoli, A., Caballero-Calvo, A., & Rodrigo-Comino, J. (2022). Replacing chemical fertilizers with organic and biological ones in transition to organic farming systems in saffron (*Crocus sativus*) cultivation. *Chemosphere*, 307, 135537. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135537
18. Fallahi, H. R., Abbasi Aval Bohlooli, S., Pahlavan, Z., Hosseini, S. M., Hosseini, S. A. H., & Ghohestani-Bojd, P. (2021). Saffron vegetative growth as affected by transplanting and direct corm planting under field conditions. *Journal of horticulture and postharvest research*, 4(Special Issue), 1-10. https://doi.org/10.22077/jhpr.2020.3635.1160
19. Filipe, O.M.S., Vidal, M.M., Scherer, H.W., Schneider, R.J., Duarte, A.C., Esteves, V.I., & Santos, E.B.H. (2010). Effect of long-term organic amendments on adsorption-desorption of thiram onto a Luvisol soil derived from loess. *Chemosphere*, 80, 293–300. https://doi.org/ 10.1016/j.chemosphere.2010.04.003
20. Ghahramanzadeh, R., Khorramdel, S., Ghotb Sharif, M., & Ghahramanzadeh, S. (2024). The Effects of Potassium and Calcium Thiosulphates on Soil Properties, Flower and Corm Yield of Saffron Under On-farm Conditions. *Journal of Saffron Research*, 12(1), 28-50. [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22077/jsr.2024.6797.1226
21. Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., Van Ruth, S. M., & Aghighi, S. (2019). The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different nutritional regimes. *Industrial Crops and Products*, 135, 301-310. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.064
22. Gonzalez, N., De Bodt, S., Sulpice, R., Jikumaru, Y., Chae, E., Dhondt, S., Van Daele, T., De Milde, L., Weigel, D., Kamiya, Y., Stitt, M., Beemster, G., & Inzé, D. (2010). Increased leaf size: different means to an end. *Plant physiology*, 153(3), 1261-1279. https://doi.org/10.1104/pp.110.156018
23. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., Awal Chowdhury Masud, A., Moumita & Fujita, M. (2018). Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. https://doi.org/10.3390/agronomy8030031
24. Jalal, A., Abdelaziz, M. E., Salem, M., Liew, K. X., Wang, J. Y., Alrasheed, W., l-Ateeq, T. K., Althobiti, S., Qaryouti, M., Al- Soqeer, A., Jamil, M., & Al-Babili, S. (2025). Mimics of the Growth Regulator Zaxinone Increase Saffron Yield and Improve Its Nutritional Value. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44, 4336-4351. https://doi.org/10.1007/s00344-025-11690-y
25. Kafi, M., Koocheki, A., Rashed Mohassel, M. H., & Nassiri-Mahallati, M. (2006). *Saffron (Crocus sativus): Production and processing* (1st ed., p. 244). Science Publishers.
26. Kalia, D., Jose-Santhi, J., Kumar, R., & Singh, R. K. (2023). Analysis of PEBP genes in saffron identifies a flowering locus T homologue involved in flowering regulation. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(4), 2486-2505. https://doi.org/10.1007/s00344-022-10721-2
27. Khan, F., Siddique, A. B., Shabala, S., Zhou, M., & Zhao, C. (2023). Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. *Plants*, 12(15), 2861. https://doi.org/10.3390/plants12152861
28. Khorramdel, S. & Mirzaeian, A. (2025). Impact of Climate Change on Saffron Production in Iran: Issues, Challenges, and Opportunities. *Journal of Saffron Research*, 13(1), 173-197 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22077/jsr.2025.9147.1269
29. Khorramdel, S., Eskandari Nasrabadi, S., & Mahmoodi, G. (2015). Evaluation of mother corm weights and foliar fertilizer levels on saffron (*Crocus sativus* L.) growth and yield components. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(1), 9-14. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.01.002
30. Khorramdel, S., Moallem Banhangi, F., & Davarpanah, S. J. (2020a). Effect of intercropping patterns with mallow on replacement corms and flower yield, and qualitative criteria of saffron in the third year. *Saffron Agronomy and Technology*, 8(4), 479-495 [in Persian with English abstract].https://doi.org/10.22048/jsat.2020.210799.1371
31. Khorramdel, S., Mokhtari, M., & Latifi, H. (2022). The impact of various soil fertilizers on yield and growth criteria of saffron: a meta-analysis of field studies. *Saffron Agronomy & Technology*, 10(2), 129-147 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22048/jsat.2022.323216.1449

32. Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Hooshmand, M., & Mostafavi, M. J. (2020b). Optimization of N and P fertilizer rates on yield and quality indices of wheat using a Response-Surface Methodology. *Journal of Crop Production*, 13(3), 119-140 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22069/EJCP.2021.17978.2328
33. Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Moallem Banhangi, F., & Ibrahimi, J. (2023). Optimization of manure and potassium fertilizers in saffron cultivation by using surface-response methodology. *Journal of Saffron Research*, 11(1), 1-18 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22077/jsr.2022.3678.1166
34. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., & Amin Ghafori, A. (2018a). Economic evaluation of agroecosystem services of saffron in Khorasan Razavi province. *Saffron Agronomy and Technology*, 6(1), 73-89 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22048/jsat.2017.59190.1183
35. Khorramdel, S., Rezvani, M. P., Moallem, B. F., & Shabahng, J. (2018b). Optimization of cow manure levels and corm weight in saffron (*Crocus sativus* L.) by central composite design. *Journal of Saffron Research*, 6(2), 233-249 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22077/jsr.2018.1392.1054
36. Koocheki, A. R., 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(1), 173-182 [in Persian with English abstract].
37. Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2015). Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by mother corm size and fertilization. *Industrial Crops and Products*, 71, 128–137. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.085
38. Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2020). Saffron "seed", the corm. In: A. Koocheki & M. Khajeh-Hosseini (Eds.), *Saffron: Science, Technology and Health*. Elsevier Inc., p. 93-118.
39. Koocheki, A., Khorramdel, S., & Shabahang, J. (2021). Evaluation of Corm and Flower Yield and Quality of Saffron in Simulated on-Farm Trials. *Journal of Saffron Research*, 9(1), 95-114 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22077/jsr.2020.3679.1138
40. Koocheki, A., Rezvani, M. P., Mollafilabi, A., & Seyyedi, S. M. (2013). The effects of high corm density and manure on agronomic characteristics and corm behavior of Saffron (*Crocus sativus* L.) in the second year. *Journal of Saffron Research*, 1(2), 144-155 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22077/jsr.2013.441
41. Kothari, D., Thakur, R., & Kumar, R. (2021). Saffron (*Crocus sativus* L.): Gold of the spices-A comprehensive review. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 62(5), 661-677. https://doi.org/10.1007/s13580-021-00349-8
42. Kumar, K., Atal, H., & Meena, M. (2021). *Oil and nutrient management in flower crops. In Research trends in food technology and nutrition* (pp. 1–22). AkiNik Publications. https://doi.org/10.22271/ed.book.928
43. Li, J. T., Zhong, X. L., Wang, F., & Zhao, Q. G. (2011). Effect of poultry litter and livestock manure on soil physical and biological indicators in a rice-wheat rotation system. *Plant Soil Environ*, 57(8), 351-356. https://doi.org/10.17221/233/2010-PSE
44. Lopez-Corcoles, H.; Brasa-Ramos, A.; Montero-García, F.; Romero-Valverde, M.; & Montero-Riquelme, F. (2015). Phenological growth stages of saffron plant (Crocus sativus L.) according to the BBCH scale. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(3), Article e09SC0. http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2015133-7340
45. Ma, D., Yin, L., Ju, W., Li, X., Liu, X., Deng, X., & Wang, S. (2021). Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research*, 266, Article 108146. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108146
46. Maffia, A., Oliva, M., Marra, F., Mallamaci, C., Nardi, S., & Muscolo, A. (2025). Humic substances: Bridging ecology and agriculture for a greener future. *Agronomy*, 15(2), Article 410.https://doi.org/10.3390/agronomy15020410
47. Malal, H., Garcia, J. A., Marrs, A., Ait-Hamza, M., Emerson, C., Nocco, M., Lakhtar, H., & Lazcano, C. (2025). Organic and inorganic fertilizers modulate the response of the soil microbiome to salinity stress. *Frontiers in Microbiology*, 16, Article 1551586.https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1551586
48. Mohtashami, T. (2018). Factors affecting excessive nitrogen fertilizer use in saffron cultivation: Torbat Heydarieh area case study. *Journal of Saffron Research*, 6(1), 127-140 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22077/jsr.2018.921.1040
49. Mollafilabi, A., & Khorramdel, S. (2016). Effects of cow manure and foliar spraying on agronomic criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in a six-year-old farm. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, 3(4), 237-249 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22048/jsat.2016.11897
50. Monemizadeh, Z., Ghasemi, M., & Sadrabadi Haghighi, R. (2020). Effect of foliar application, fertilizer type, and time on Saffron (*Crocus sativus* L.) Torbat-e-Heydarie landrace corm growth and production. *Iranian*

Journal of Seed Sciences and Research, 6(4), 513-525 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22124/JMS.2020.3929

51. Moradi, M., Rezvani Moghaddam, P., & Khorassani, R. (2022). The effect of simultaneous application of organic fertilizers and potassium sulfate on yield and characteristics of saffron flowers and stigmas (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20(3), 319-333 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74419.1133
52. Nabi, F., Sarfaraz, A., Kama, R., Kanwal, R., & Li, H. (2025). Structure-Based Function of Humic Acid in Abiotic Stress Alleviation in Plants: A Review. *Plants*, 14(13), 1916. https://doi.org/10.3390/plants14131916
53. Narayan, O. P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M., & Johri, A. K. (2023). Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1), 2030082. https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082
54. Omidi, H. E. S. H. M. A. T., Badi, H. N., Golzad, A., Torabi, H., & Footoukian, M. H. (2009). The effect of chemical and bio-fertilizer sources of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (Crocus sativus L.). *Journal of Medicinal Plants*, 8(2), 98-109 [in Persian]. http://jmp.ir/article-1-370-fa.html
55. Ouni, Y., Ghnaya, T., Montemurro, F., Abdelly, C., & Lakhdar, A. (2014). The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improving plant productivity. *International Journal of Plant Production*, 8(3), 353-374. https://doi.org/10.22069/ijpp.2014.1614
56. Polara, N. D., Gajipara, N. N., & Barad, A. V. (2015). Effect of nitrogen and phosphorus nutrition on growth, flowering, flower yield, and chlorophyll content of different varieties of African marigold (*Tagetes erecta* L.). *Journal of Applied Horticulture*, 17(1), 44-47.https://doi.org/10.37855/jah.2015.v17i01.09
57. Qasim, S., Gul, S., Buriro, A. H., Shafiq, F., & Ismail, T. (2024). Biochar-based organic fertilizers: Influence on yield and concentration of antioxidants in the stigma of saffron and rhizosphere bacterial diversity of slightly saline and non-saline soils. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 31(3), 103922.https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103922
58. Ragel, P., Raddatz, N., Leidi, E. O., Quintero, F. J., & Pardo, J. M. (2019). Regulation of K+ nutrition in plants. *Frontiers in Plant Science*, 10, 281. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00281
59. Ramezani, M., Dourandish, A., Jamali Jaghdani, T., & Aminizadeh, M. (2022). The influence of dense planting systems on the technical efficiency of saffron production and land use sustainability: Empirical evidence from Gonabad County, Iran. *Agriculture*, 12(1), 92. https://doi.org/10.3390/agriculture12010092
60. Rashed-Mohassel, M. H. (2020). Evolution and botany of saffron (*Crocus sativus* L.) and allied species. In: *Saffron: Science, Technology and Health*. Woodhead Publishing, pp. 37-57. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818638-1.00004-6
61. Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., & Mollafilabi, A. (2015). Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 3(2), 188-203 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22077/jsr.2015.294
62. Scherer, H. W. (2001). Sulphur in crop production. *European Journal of Agronomy*, 14(2), 81-111. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00082-4
63. Tabatabaeian, J., Hassanian, S., & Kadkhodaie, A. (2020). Effect of micronutrient foliar application on quantitative and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 8(2), 147-163 [in Persian with English abstract]. https://doi.org/10.22048/jsat.2019.179188.1342
64. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7370-7390. https://doi.org/10.3390/ijms14047370
65. Wu, L., Jiang, Y., Zhao, F., He, X., Lie, H., & Yu, K. (2020). Increased organic fertilizer application and reduced chemical fertilizer application affect the soil properties and bacterial communities of grape rhizosphere soil. *Scientific Reports*, 10, 9568. https://doi.org/10.1038/s41598-020-66648-9
66. Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., Zhu, Z., Ge, S., & Jiang, Y. (2020). Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 11,904. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00904
67. Zabihi, H. R., & Pishbin, M. (2018). Management of basic nutrients and organic matter in the nutrition of saffron fields. *Extensional Journal of Saffron*, 1(2), 1-9 [in Persian].
68. Zabihi, H., & Feizi, H. (2014). Saffron Response to the Rate of Two Kinds of Potassium Fertilizers. *Saffron Agronomy & Technology*, 2(3), 191-198 [in Persian]. https://doi.org/10.22048/jsat.2014.7809
69. Zhang, L., Yan, C., Guo, Q., Zhang, J. & Ruiz-Menjivar, J. (2018). The impact of agricultural chemical inputs on the environment: global evidence from informetrics analysis and visualization. *Int. J. Low Carbon Technol*, 13, 338–352. https://doi.org/10.1093/ijlct/cty039

70. Zhang, L., Zhao, Z., Jiang, B., Baoyin, B., Cui, Z., Wang, H., Li, Q., & Cui, Jinhu. (2024). Effects of Long-Term Application of Nitrogen Fertilizer on Soil Acidification and Biological Properties in China: A Meta-Analysis. *Microorganisms*, 12(8), 1683. https://doi.org/10.3390/microorganisms12081683

پذیرفته شده نهایی قبل از انتشار