



Original Article

## Investigating the Effect of Biological and Chemical Fertilizers and Water Availability on the Leaf and Corm Element Concentrations and Stigma Quality in Saffron

Mahdi Ebrahimi<sup>1\*</sup>, Mohsen Pouyan<sup>2</sup>, Mohammad Ali Behdani<sup>3</sup>, Sareh Hosseini<sup>4</sup>,  
Tayebeh Shahi<sup>5</sup>, Hossein Ragh Ara<sup>6</sup>, Hossein Sahabi<sup>7,8</sup>

1- Assistant Professor, Department of Optimization of Production and Processing of South Khorasan's Indigenous Medicinal Plants, ACECR of South Khorasan Province, Birjand, Iran.

2- MSc of plant biology, Medicinal Plants Research Complex, ACECR of South Khorasan Province, Birjand, Iran.

3- Professor, Saffron Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran.

4- PhD candidate of food industry, Department of Optimization of Production and Processing of South Khorasan's Indigenous Medicinal Plants, ACECR of South Khorasan Province, Birjand, Iran.

5- PhD of food industry, Department of Optimization of Production and Processing of South Khorasan's Indigenous Medicinal Plants, ACECR of South Khorasan Province, Birjand, Iran.

6- MSc. of agronomy, Department of Optimization of Production and Processing of South Khorasan's Indigenous Medicinal Plants, ACECR of South Khorasan Province, Birjand, Iran.

7- Researcher of Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

8- Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture. University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

\*Corresponding author: [ebrahimi@acecr.ac.ir](mailto:ebrahimi@acecr.ac.ir)

Received: 18 September 2024, Revised: 18 January, Accepted: 23 April 2025

### Extended Abstract

**Introduction:** Iran is the world's largest producer of saffron. Given the importance of increasing saffron production and improving its quality in the face of drought conditions, it is crucial to explore the impact of replacing some common chemical fertilizers with biological fertilizers in saffron cultivation. This substitution should be studied in the context of its potential to enhance the nutritional status of the plant and the quality of stigma apocarotenoids under drought stress conditions. Such a change could have a notable effect on increasing saffron yield and preserving agricultural ecosystems while maintaining product quality.

**Materials and Methods:** The research was conducted in split plots with a basic RCBD (Randomized Complete Block Design) over two consecutive years (2020-2021 and 2021-2022) at ACECR's research complex for medicinal plants. The experimental treatments consisted of two levels of water availability (50% and 100% of saffron water requirement) and six levels of fertilizer (control, 100% NPK, 50% NPK, 50% NPK with three biofertilizers, 50% NPK with four biofertilizers, and three biofertilizers). The impact of experimental treatments on the levels of nitrogen, phosphorus, potassium, iron, and zinc in leaves and corms, as well as the quantities of three apocarotenoids - crocin, picrocrocin, and safranal - in saffron stigma were studied.

**Results and Discussion:** Due to decreased water availability, the nitrogen levels in saffron leaves and corms rose, with the nitrogen content in saffron leaves averaging

almost 15% higher than in the corms. Despite this, the phosphorus content in the corms remained unchanged under decreased water availability, whereas the phosphorus content in the leaves decreased significantly. These findings suggest that decreased water availability can result in reduced phosphorus levels in saffron leaves. phosphorus content in the saffron corms was almost 61% higher compared to the leaves. Potassium content in saffron leaves remained unchanged under decreased water availability, but significantly increased in corms. Additionally, potassium content in saffron leaves was almost 13% higher than in the corms. While iron content in saffron leaves and corms was not affected by decreased water availability, zinc content in corms and leaves decreased with decreased water availability. In general, saffron leaves accumulated significantly higher amounts of nitrogen, potassium, iron, and zinc compared to the corms, except for phosphorus. Fertilizer treatments significantly affected the levels of nitrogen, phosphorus, and potassium in saffron leaves and stems, while iron and zinc levels remained unaffected. The recommended amount of chemical fertilizer treatment resulted in the highest levels of nitrogen and phosphorus in saffron leaves and stems. Since daughter corms store phosphorus effectively from chemical fertilizers and saffron yield depends on the amount of phosphorus in daughter corms, it is not advisable to completely replace chemical fertilizers with biological fertilizers. The level of potassium in saffron leaves and stems was not affected by the fertilizer treatments, suggesting that the application of fertilizer did not impact potassium absorption. Additionally, the levels of iron and zinc in the saffron leaves and stems were not significantly different from the control across all fertilizer treatments in the experiment. Overall, the most effective fertilizer treatment was using 100% of the required chemical fertilizer for saffron. This was closely followed by applying 50% of the chemical fertilizer combined with four types of biofertilizers, leading to the highest levels of nitrogen, potassium, phosphorus, iron, and zinc in saffron leaves and corms. The levels of crocin, picrocrocin, and safranal in saffron stigma varied between the two years of the experiment. Specifically, the levels of crocin and picrocrocin were higher in the second year, while the level of safranal was higher in the first year. Additionally, it was observed that drought stress did not significantly impact the levels of any of the apocarotenoids examined in this study. The levels of crocin and safranal were not impacted by the use of fertilizers. However, in cases where the availability of nutrients increased (due to the application of chemical fertilizers at the recommended level, or a combination of chemical and biological fertilizers), the levels of picrocrocin decreased.

**Conclusion:** The overall conclusion is that it is possible to enhance the quality of saffron and make up for nutrient deficiencies through the concurrent application of biological and chemical fertilizers in saffron farms even under decreased water availability. However further research is necessary to clarify the unknown aspects of this area.

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

**Acknowledgements:** This research has been financially supported by the Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh. The grant number was 142878.

**Key words:** Apocarotenoid, Crocin, Phosphorus, Safranal, Water requirement.



نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)

جلد سیزدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۴

شماره صفحه: ۸۸-۱۱۰

doi 10.22077/jsr.2025.8156.1240

## مقاله پژوهشی

# بررسی تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط مختلف میزان فراهمی آب بر میزان عناصر برگ و بنه و کیفیت کلالة در زعفران

مهدی ابراهیمی<sup>۱\*</sup>، محسن پویان<sup>۲</sup>، محمدعلی بهدانی<sup>۳</sup>، ساره حسینی<sup>۴</sup>، طیبه شاهی<sup>۵</sup>، حسین راغ آرا<sup>۶</sup>، حسین صحابی<sup>۷،۸</sup>

۱- استادیار، گروه پژوهشی بهینه سازی تولید و فراوری گیاهان دارویی بومی خراسان جنوبی، جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.

۲- کارشناس ارشد بیولوژی گیاهی، مجتمع تحقیقات گیاهان دارویی، جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.

۳- استاد، گروه پژوهشی زعفران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۴- دانشجوی دکتری صنایع غذایی، گروه پژوهشی بهینه سازی تولید و فراوری گیاهان دارویی بومی خراسان جنوبی، جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.

۵- دکتری صنایع غذایی، گروه پژوهشی بهینه سازی تولید و فراوری گیاهان دارویی بومی خراسان جنوبی، جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.

۶- کارشناس ارشد زراعت، گروه پژوهشی بهینه سازی تولید و فراوری گیاهان دارویی بومی خراسان جنوبی، جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران.

۷- پژوهشگر، پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

۸- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

\*نویسنده مسئول: ebrahimi@acecr.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳

## چکیده

این طرح با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی و فراهمی آب بر عناصر برگ و بنه و کیفیت کلالة به صورت کرت‌های خرد شده در دو سال متوالی رویش زعفران (۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱) در مجتمع تحقیقات گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح میزان فراهمی آب (۵۰٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی زعفران) و شش سطح کودی (شاهد، ۱۰۰٪ NPK، ۵۰٪ NPK، ۵۰٪ NPK + ۳ کود زیستی، ۵۰٪ NPK + ۴ کود زیستی و ۳ کود زیستی) بود. با کاهش فراهمی آب میزان ازت در برگ و بنه افزایش و میزان فسفر برگ کاهش یافت اما میزان آهن تحت تأثیر قرار نگرفت. همچنین میزان روی در هر دو اندام گیاه افزایش و میزان پتاسیم بنه کاهش یافت. تیمارهای کودی تأثیر معنی داری بر میزان ازت، فسفر و پتاسیم داشت اما بر میزان آهن و روی تأثیری نداشت. بالاترین میزان ازت و فسفر در برگ و بنه در تیمار استفاده از کود شیمیایی به میزان توصیه شده بدست آمد. میزان کروسین و پیکروکروسین در سال دوم و میزان سافرانال در سال اول رویش زعفران بیشتر بود و فراهمی آب تأثیری بر میزان هیچیک از آپوکاروتنوئیدهای مورد بررسی نداشت. در مجموع بهترین تیمار کودی در این آزمایش کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی مورد نیاز زعفران و پس از آن کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی به همراه ۴ نوع کود زیستی بود که منجر به بیشترین میزان تجمع عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، آهن و روی در برگ و بنه زعفران شد.

واژه‌های کلیدی: آپوکاروتنوئید، سافرانال، فسفر، کروسین، نیاز آبی.

## مقدمه

گیاه کمک می‌کنند؛ بنابراین، به‌کارگیری کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده عناصر غذایی می‌تواند یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش وابستگی خاک‌های کشاورزی به کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد و کیفیت زعفران باشد (Kheiry et al., 2018; Parsa et al., 2017; Ebrahimi et al., 2021). باوجود تأثیر مثبت استفاده از انواع بهبوددهنده‌های رشد در افزایش عملکرد زعفران، واکنش متابولیت‌های ثانویه کلالة زعفران به استفاده از کودها دقیقاً مشخص نیست و کیفیت زعفران ممکن است با بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه افزایش (Saeidi Aboueshaghi et al., 2023; Esmaeilian et al., 2022; Askari et al., 2024) و یا حتی کاهش یابد (Rezaie et al., 2019).

ایران با میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر به عنوان منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک در جهان شناخته می‌شود و بروز تنش خشکی در دوره رشد محصولات کشاورزی در این کشور غیرقابل اجتناب است (Hassani & Omid Beighi, 2002). تنش خشکی عمدتاً روند طویل شدن سلولی را بیشتر از تقسیم سلولی محدود می‌کند و از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی از جمله فتوسنتز، تنفس، انتقال مواد، جذب یون‌ها و متابولیسم مواد مغذی، در نهایت رشد گیاه را محدود می‌نماید (Farooq et al., 2009). تنش شدید خشکی می‌تواند منجر به توقف فتوسنتز، اختلال در متابولیسم و سرانجام مرگ گیاه شود (HongBo et al., 2008). با وجود اینکه اغلب قریب به اتفاق گزارشات از تأثیر منفی تنش خشکی بر عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با رشد زعفران تاکید می‌کند (Renau-Morata et al., 2012; Sabet Teimouri et al., 2010; Ziaei et al., 2024)، تنش خشکی می‌تواند تجمع میزان متابولیت‌های ثانویه تأثیر گذار بر کیفیت زعفران (کروسین، پیکروکروسین و سافرانال) را افزایش دهد (Saeidi Aboueshaghi et al., 2023).

باتوجه‌به اینکه پاسخ گیاهان به میزان فراهمی آب، بسته به نوع مدیریت تغذیه‌ای گیاه می‌تواند متفاوت باشد، در مطالعه ما علاوه بر ایجاد دو سطح از فراهمی آب در کل دوره رشد گیاه، تأثیر متقابل سطوح فراهمی آب با استفاده از منابع کودی مختلف شامل کودهای شیمیایی و زیستی نیز مورد بررسی قرار گرفت تا اطلاعات کاملی از تأثیر این شرایط بر میزان عناصر برگ و بنه و همچنین کیفیت محصول تولیدی در اختیار ما قرار گیرد.

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. از نظر گیاه‌شناسی یک‌ساله و از نظر زراعی گیاهی چند ساله از خانواده زنبق (Iridaceae) است (Mir Heidar, 2012; Behdani & Fallahi, 2015). زعفران که به‌عنوان گران‌ترین ادویه جهان نیز شناخته می‌شود، گیاهی تک‌لپه و تریپلوئید است که تکثیر آن از طریق کورم یا همان بنه که یک نوع ساقه زیر زمینی است انجام می‌گیرد. بخش اقتصادی زعفران کلالة سه‌شاخه و قرمز رنگ این گیاه است (Behdani & Fallahi, 2015). قدمت استفاده از زعفران در طب سنتی به دوران باستان باز می‌گردد و امروزه برخی از مصارف دارویی سنتی این گیاه نیز با انجام مطالعات علمی تأیید شده است. زعفران دارای خواص بیولوژیکی مختلفی است که این خصوصیات مربوط به وجود چندین کاروتنوئید و فرآورده‌های آپوکاروتنوئیدی آنها در کلالة زعفران می‌باشد. این گیاه با خواص دارویی و طعمی فوق‌العاده، نه‌تنها در صنایع غذایی، بلکه در صنایع داروسازی و آرایشی نیز اهمیت ویژه‌ای دارد (Baba & Ashraf, 2018). کشور ایران به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده زعفران در جهان، سهم عمده‌ای در تأمین این محصول دارد (Agricultural Statistics, 2020).

باوجوداینکه کودهای شیمیایی در تأمین نیازهای غذایی زعفران نقش بسزایی دارند (Koocheki et al., 2011; Ebrahimi et al., 2018)، اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از کاربرد این نوع کودها، ضرورت استفاده از کودهای زیستی به‌عنوان جایگزینی مناسب را بیشتر کرده است. در سال‌های گذشته مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، به‌ویژه کودهای حاوی ازت و عدم استفاده از بهبوددهنده‌های رشد آلی در ایران (Malakuti, 1996) نه‌تنها کاهش عملکرد محصولات زراعی را به دنبال داشته است، بلکه به بروز بحران زیست‌محیطی به‌ویژه در منابع آب‌وخاک نیز منتهی شده است؛ آلودگی‌هایی که از طریق زنجیره غذایی به منابع غذایی انسان نفوذ کرده و تهدیدی جدی برای سلامت انسان محسوب می‌شود (Omidi et al., 2009). استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی پایدار، به دلیل افزایش باروری خاک و بهبود رشد گیاهان و عدم ایجاد مشکلات زیست‌محیطی، به طور فزاینده‌ای موردتوجه قرار گرفته است (Sabzevari et al., 2010). این کودها شامل ریز موجوداتی نظیر باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومایست‌ها و متابولیت‌های حاصل از فعالیت آنها هستند که با تشکیل کلنی‌هایی در نواحی داخلی گیاه یا محیط اطراف ریشه، به تحریک رشد

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) با دو فاکتور میزان فراهمی آب در کرت‌های اصلی و تیمارهای کودی در کرت‌های فرعی، در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه زعفران سه ساله مجتمع تحقیقات گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی (واقع در شهرستان بیرجند با ۵۹ درجه و ۲۶ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض جغرافیایی) اجرا گردید. کرت‌های مورد استفاده با ابعاد ۲ در ۳ متر (۶ مترمربع) و به تعداد ۳۶ عدد انتخاب شدند. وزن بنه های مورد استفاده در زمان احداث مزرعه (سال زراعی ۹۶-۹۷) بین ۴ تا ۱۲ گرم بود که در عمق ۲۵ سانتی متری خاک و با فاصله بین ردیف ۲۰ و روی ردیف ۵ سانتی متر به روش دانه تسبیحی و با تراکم ۱۰۰ بنه در متر مربع کاشته شد. در مجموع در هر کرت ۱۰ خط کاشت ۳ متری قرار داشت مجموعاً ۶۰۰ بنه در هر کرت کاشت شد. به منظور یکنواختی در استفاده از بنه های با وزن های مختلف، بنه ها بصورت تصادفی در کرت ها توزیع شدند.

فاکتور میزان فراهمی آب در دو سطح آبیاری در حد ۵۰٪ ظرفیت زراعی (فراهمی آب کم) و آبیاری در حد ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی (فراهمی آب مناسب) بر اساس اطلاعات جدول ۱ اعمال شد. اعمال فاکتور تیمارهای کودی در شش سطح و به این شرح انجام گرفت: شاهد (عدم استفاده از هر نوع ماده مغذی) (F1)؛ ۱۰۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم) (F2)؛ ۵۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم) (F3)؛ ۵۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم) به همراه باکتری *Pantoea agglomerans* strain O4 (تثبیت کننده ازت)، باکتری *Pseudomonas putida* strain P13 و باکتری *Pantoea agglomerans* strain P5 (حل کننده فسفات) و باکتری *Pseudomonas koreensis* strain S14 و *Pseudomonas vancouverensis* strain S19 (حل کننده پتاسیم) (F4)؛ ۵۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم) به همراه *Pantoea agglomerans* strain O4 (تثبیت کننده ازت)، باکتری *Pseudomonas putida* strain P13 و *Pantoea*

*agglomerans* strain P5 (حل کننده فسفات)، باکتری *Pseudomonas koreensis* strain S14 و *Pseudomonas vancouverensis* strain S19 (حل کننده پتاسیم) و باکتری strain FZ.21- و strain FZ.29-1 (حل کننده روی و تولید کننده سیدروفور) (F5)؛ باکتری *Pantoea agglomerans* (تثبیت کننده ازت) و باکتری *Pseudomonas putida* strain P13 و *Pantoea agglomerans* strain P5 (حل کننده فسفات) و باکتری *Pseudomonas koreensis* strain S14 و *Pseudomonas vancouverensis* strain S19 (حل کننده پتاسیم) (F6).

## اقدامات سال اول رویش زعفران

از اطلاعات جدول ۱ برای محاسبه میزان آب مورد نیاز در زمان اولین آبیاری (خاک آب) در ۷ آبان ۱۳۹۹ استفاده شد. پس از اعمال اولین آبیاری پس از کاشت، میزان تبخیر و تعرق (نیاز آبی) گیاه زعفران بر اساس فرمول ۱ محاسبه گردید.

$$Et_c = Et_0 * K_c \quad \text{فرمول (۱)}$$

در این فرمول  $Et_c$  تبخیر - تعرق بالقوه گیاه زعفران،  $Et_0$  تبخیر - تعرق گیاه مرجع و  $K_c$  نیز ضریب گیاهی زعفران است. مقدار  $K_c$  بر اساس مطالعه کیخا مقدم و همکاران (Keykhamoghadam et al., 2013) در سه مرحله رشد زعفران شامل روز اول (اولین آبیاری) تا پایان روز ۸۵ (مرحله اولیه رشد) برابر با ۰/۴۹، روز ۸۶ تا پایان روز ۱۴۰ (مرحله میانی رشد) برابر با ۱/۲۵ و روز ۱۴۱ تا پایان روز ۲۱۵ (مرحله پایانی رشد) برابر با ۰/۳۵ در نظر گرفته شد. همچنین برای محاسبه  $Et_0$  از فرمول ۲ استفاده شد.

$$Et_0 = K_{pan} * E_{pan} \quad \text{فرمول (۲)}$$

در این فرمول  $Et_0$  تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن)،  $K_{pan}$  ضریب تشنگ (معادل ۰/۷) و  $E_{pan}$  نیز میزان تبخیر از تشنگ می باشد. میزان تبخیر با استفاده از تشنگ تبخیر کلاس A که در محل انجام آزمایش نصب شده بود اندازه گیری شد.

جدول ۱. میزان آب آبیاری مورد نیاز خاک برای هر یک از سطوح فراهمی آب بر مبنای میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۴ گرم بر سانتی مترمکعب لحاظ شده است)

**Table 1. Soil moisture requirements for each level of water availability based on soil moisture at field capacity (soil bulk density of 1.4 g cm<sup>-3</sup> is considered)**

|                                            | ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی | ۵۰٪ ظرفیت زراعی       |
|--------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
|                                            | Field Capacity       | 50% of Field Capacity |
| رطوبت وزنی خاک                             | 20%                  | 10%                   |
| Gravimetric Water Content                  |                      |                       |
| میزان آب مصرف شده در هر هکتار (مترمکعب)    | 840                  | 420                   |
| Water amount per hectare (m <sup>3</sup> ) |                      |                       |
| میزان آب مصرف شده در هر کرت ۶ متری (لیتر)  | 500                  | 250                   |
| Water amount per 6-meter plot (liters)     |                      |                       |

این سه عنصر در تیمار ۱۰۰٪ NPK مورد نیاز (F2) مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم مورد نیاز بود که با توجه به ابعاد هر کرت (۶ متر مربع) میزان دقیق آن محاسبه شد. در تیمارهایی که قرار بود ۵۰٪ NPK مورد نیاز گیاه در آنها استفاده شود (F3، F4 و F5) نیز به ترتیب مقدار ۵۰، ۷۵ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار از کودهای اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم مورد نیاز بود که بر اساس ابعاد کرت ها مقدار مورد نیاز در هر کرت آزمایشی محاسبه گردید (Keshavarz et al., 2019).

اعمال تیمارهای کودی تنها در سال اول رویش زعفران در این مطالعه (سال ۱۳۹۹) و بر اساس جدول شماره ۳ انجام گرفت. کودهای شیمیایی دقیقاً قبل از اولین آبیاری (خاک آب) بر روی سطح خاک پخش شدند و سپس زمین آبیاری گردید (کود اوره طی دو مرحله و همزمان با آبیاری اول و سوم مورد استفاده قرار گرفت). اعمال تیمارهای مربوط به کودهای زیستی نیز طی ۳ مرحله و همزمان با آبیاری اول (خاک آب)، آبیاری سوم و آبیاری پنجم انجام گرفت.

جمع آوری گل های زعفران در سال اول پس از خروج اولین گل از خاک (۱۸ آبان ۱۳۹۹) آغاز شد و تا پایان دوره گلدهی (۱۶ آذر ۱۳۹۹) ادامه یافت. گل ها به صورت روزانه از کرت های آزمایشی جمع آوری و سپس بخش اقتصادی گل ها (کلاله و خامه) از آن جدا شدند و در محل مناسب و به دور از نور خشک و سپس در ظروف شیشه ای در یخچال نگهداری شدند. لازم به ذکر است کلاله های جمع آوری شده در سال اول تنها تحت تاثیر تیمارهای کودی اعمال شده قبل از اولین آبیاری قرار گرفته است.

محاسبه میزان آب مورد نیاز زعفران (EtC) در هر بار آبیاری بر اساس KC متناظر با مرحله رشد گیاه انجام گرفت و سعی شد پس از پایان گلدهی (روز ۴۸ ام بعد از اولین آبیاری) با فواصل زمانی حدوداً ۳۰ روزه آبیاری انجام شود و درعین حال با مراحل مشخص شده در تحقیق کیخامقدم و همکاران (Keykhamoghadam et al., 2013) نیز منطبق باشد. با این وجود به دلیل شرایط لازم جهت مهیا نمودن آب لازم جهت آبیاری و سایر محدودیت ها، آبیاری ها با چند روز اختلاف انجام گرفت که در جدول ۱ نیز زمان دقیق انجام هر آبیاری ذکر شده است. اما در خصوص آبیاری در روزهای ۱۴۱ تا ۲۱۵ با توجه به اینکه به دلیل شرایط اقلیمی خاص در سال ۱۳۹۹ در استان خراسان جنوبی، مزرعه زودتر از زمان پیش بینی شده و در فروردین ماه خشک شد (قاعدتاً باید تا اردیبهشت ماه هنوز برگ های زعفران در مرحله زرد شدن می بودند) که باعث شد عملاً آخرین آبیاری یا همان زرد آب در پایان زمان پیش بینی شده برای مرحله میانی رشد زعفران (روز ۱۴۰ و برابر با ۲۶ اسفند ۱۳۹۹) بر اساس KC مربوط به این زمان صورت گرفت.

میزان آب مورد نیاز گیاه در دو تیمار بدون تنش (۱۰۰٪ آب مورد نیاز گیاه در زمان آبیاری) و تنش (۵۰٪ آب مورد نیاز گیاه در زمان آبیاری) و با احتساب ۲۰٪ تلفات آبیاری و مطابق جدول ۱ به کرت های آزمایشی داده شد.

بر اساس نتایج آنالیز خاک، میزان ازت کل ۰/۱۳ درصد، میزان فسفر قابل جذب ۴/۴ پی پی ام و میزان پتاسیم قابل جذب نیز ۱۶۸ پی پی ام بود. برای تامین عناصر ازت، فسفر و پتاس بر اساس آنالیز خاک از کودهای شیمیایی اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم استفاده شد. جهت تامین

از کلاله‌های به‌دست‌آمده از کرت‌های آزمایشی و بر اساس استاندارد ملی ایران (استاندارد شماره ۲-۲۵۹، زعفران-روش های آزمون) برای اندازه‌گیری میزان سه آپوکاروتنوئید کروسین، پیکروکروسین و سافرانال استفاده شد. برای این منظور ۵۰۰ میلی‌گرم از کلاله پودر شده زعفران با استفاده از آب مقطر در یک بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری به حجم یک لیتر رسانده شد.

جدول ۲. اطلاعات مربوط به آبیاری تیمارهای آزمایشی  
Table 2. Information related to irrigation treatments

| نوبت آبیاری                                                                            | تاریخ آبیاری    | تعداد روز<br>بعد از اولین<br>آبیاری   | ضریب<br>گیاهی                | تبخیر -<br>تعرق گیاه<br>مرجع                          | تبخیر -<br>تعرق زعفران<br>Etc                       | آب مصرفی<br>در هر کرت<br>(تیمار ۵۰٪<br>نیاز آبی)                                     | آب مصرفی<br>در هر کرت<br>(تیمار ۱۰۰٪<br>نیاز آبی)                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Irrigation round                                                                       | Irrigation date | Days after<br>the First<br>Irrigation | Plant<br>Coefficient<br>(Kc) | Reference<br>Crop<br>Evapotrans-<br>piration<br>(Et0) | Saffron<br>Crop<br>Evapotrans-<br>piration<br>(Etc) | Water<br>Consumption<br>per<br>Round<br>(50% Water<br>Requirement<br>t<br>(Treatment | Water<br>Consumption<br>per<br>Round<br>(100%<br>Water<br>Requirement<br>t<br>(Treatment |
| -                                                                                      | -               | Day                                   | -                            | mm                                                    | mm                                                  | L                                                                                    | L                                                                                        |
| آبیاری اول (خاک‌آب: قبل از<br>گلدهی)<br>First irrigation (pre<br>(flowering irrigation | 2020/10/28      | 0                                     | -                            | -                                                     | -                                                   | 250<br>accordin-<br>g to table<br>1                                                  | 500<br>accordin-<br>g to table<br>1                                                      |
| آبیاری دوم<br>Second Irrigation                                                        | 2020/12/18      | 48                                    | 0.49                         | 178.69                                                | 87.5581                                             | 315.209                                                                              | 630.418                                                                                  |
| آبیاری سوم<br>Third Irrigation                                                         | 2021/01/19      | 80                                    | 0.49                         | 74.70                                                 | 36.603                                              | 131.771                                                                              | 263.542                                                                                  |
| آبیاری چهارم<br>Fourth Irrigation                                                      | 2021/02/18      | 110                                   | 1.25                         | 119.70                                                | 149.625                                             | 538.65                                                                               | 1077.3                                                                                   |
| آبیاری پنجم<br>Fifth Irrigation                                                        | 2021/03/16      | 136                                   | 1.25                         | 119.49                                                | 149.3625                                            | 537.705                                                                              | 1075.41                                                                                  |
| مجموع آبیاری فصل رشد<br>Total irrigation of the<br>growing season                      |                 | -                                     | -                            | -                                                     | -                                                   | 1773.335                                                                             | 3546.67                                                                                  |

جدول ۳. اطلاعات مربوط به نحوه اعمال تیمارهای کودی

Table 3. Information related to the application of fertilizer treatments

| عنوان اختصاری<br>Abbreviation | معرفی تیمار<br>Treatment description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F1                            | شاهد (عدم استفاده از هر نوع ماده مغذی)<br>Control (no use of any nutrient material)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| F2                            | ۱۰۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم)<br>100% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| F3                            | ۵۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم)<br>50% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| F4                            | ۵۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم)<br>باکتری <i>Pantoea agglomerans</i> strain O4 (تثبیت کننده ازت)<br>باکتری <i>Pseudomonas putida</i> strain P13 و <i>Pantoea agglomerans</i> strain P5 (حل کننده فسفات)<br>باکتری <i>Pseudomonas koreensis</i> strain S14 و <i>Pseudomonas vancouverensis</i> strain S19 (حل کننده پتاسیم)<br>50% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate)<br>Bacteria strain O4 <i>Pantoea agglomerans</i> (nitrogen fixer)<br>Bacteria <i>Pseudomonas putida</i> strain P13 and <i>Pantoea agglomerans</i> strain P5 (phosphate solubilizer)<br>Bacteria <i>Pseudomonas koreensis</i> strain S14 and <i>Pseudomonas vancouverensis</i> strain S19 (potassium solubilizer)                                                                                                                                                                                                                                                               |
| F5                            | ۵۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم)<br>باکتری <i>Pantoea agglomerans</i> strain O4 (تثبیت کننده ازت)<br>باکتری <i>Pseudomonas putida</i> strain P13 و <i>Pantoea agglomerans</i> strain P5 (حل کننده فسفات)<br>باکتری <i>Pseudomonas koreensis</i> strain S14 و <i>Pseudomonas vancouverensis</i> strain S19 (حل کننده پتاسیم)<br>باکتری <i>Pseudomonas japonica</i> strain FZ.21-1 و <i>Pseudomonas japonica</i> strain FZ.29-1 (حل کننده روی و تولید کننده سیدروفور)<br>50% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate)<br>Bacteria strain O4 <i>Pantoea agglomerans</i> (nitrogen fixer)<br>Bacteria <i>Pseudomonas putida</i> strain P13 and <i>Pantoea agglomerans</i> strain P5 (phosphate solubilizer)<br>Bacteria <i>Pseudomonas koreensis</i> strain S14 and <i>Pseudomonas vancouverensis</i> strain S19 (potassium solubilizer)<br>Bacteria <i>Pseudomonas japonica</i> strain FZ.29-1 and strain FZ.21-1 (iron solubilizer and siderophore producer) |
| F6                            | باکتری <i>Pantoea agglomerans</i> strain O4 (تثبیت کننده ازت)<br>باکتری <i>Pseudomonas putida</i> strain P13 و <i>Pantoea agglomerans</i> strain P5 (حل کننده فسفات)<br>باکتری <i>Pseudomonas koreensis</i> strain S14 و <i>Pseudomonas vancouverensis</i> strain S19 (حل کننده پتاسیم)<br>50% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate)<br>Bacteria strain O4 <i>Pantoea agglomerans</i> (nitrogen fixer)<br>Bacteria <i>Pseudomonas putida</i> strain P13 and <i>Pantoea agglomerans</i> strain P5 (phosphate solubilizer)<br>Bacteria <i>Pseudomonas koreensis</i> strain S14 and <i>Pseudomonas vancouverensis</i> strain S19 (potassium solubilizer)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

فرمول ۳ برای تعیین میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال نمونه های زعفران استفاده شد:

$$A = \frac{D \cdot 10000}{m \cdot (100 - WMV)} \quad \text{فرمول (۳)}$$

در فرمول فوق A میزان هر یک از سه آپوکروتونوئید کروسین، پیکروکروسین و سافرانال، D میزان جذب قرائت شده توسط دستگاه برای هر یک از سه آپوکروتونوئید، M جرم نمونه مورد سنجش بر حسب گرم و  $W_{MV}$  میزان رطوبت نمونه بر حسب

سپس این ترکیب به مدت یک ساعت توسط استیرر و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه در تاریکی هم زده شد. پس از این مرحله ۲۰ میلی لیتر از محلول با استفاده از پیپت و در بالن حجمی ۲۰۰ میلی لیتری به حجم رسانده شد. محلول بدست آمده در این مرحله با استفاده از صافی و بدور از نور صاف شد. سپس بلافاصله با استفاده از دستگاه طیف سنج نوری فرابنفش-مرئی میزان جذب محلول حاصل در سه طول موج ۴۴۰ نانومتر برای کروسین، ۲۵۷ نانومتر برای پیکروکروسین و ۳۳۰ نانومتر برای سافرانال قرائت شد. از

تعیین میزان آهن و روی بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۹۲۶۶ انجام گرفت. در این روش ابتدا نمونه گیاهی خشک و پودر شده با افزایش تدریجی دما و نهایتاً در محدوده دمایی  $50 \pm 50$  درجه سانتیگراد خاکستر شد. سپس محلول اسید کلریدریک ۶ مولار اضافه و تا حد خشک شدن تبخیر گردید. باقیمانده در محلول اسید نیتریک ۰/۱ مولار حل شد و سپس تعیین مقدار این دو عنصر به روش بیناب سنجی توسط دستگاه جذب اتمی با استفاده از شعله و کوره گرافیتی انجام گردید (INSO, 2007).

همچنین به منظور اندازه‌گیری میزان عناصر Fe, K, P, N و Zn در بنه‌ها و به همان روشی که در مورد نمونه‌های برگ‌ها توضیح داده شد، پس از خاتمه رشد زعفران و زمانی که بنه‌ها در خواب بودند (تیرماه ۱۴۰۰)، با استفاده از پلات فلزی با ابعاد  $25 \times 25$  سانتیمتری از هر کرت یک نمونه بدست آمد. برای نمونه‌گیری پلات فلزی روی یکی از خطوط کاشت و در محلی که در زمان رشد بوته‌های زعفران بطور تصادفی مشخص گردیده بود، قرار گرفت و با فرو بردن پلات در خاک کلیه بنه‌هایی که داخل آن قرار گرفته بودند جمع‌آوری گردید.

#### اقدامات سال دوم رویش زعفران

در دومین سال رویش زعفران در این مطالعه (پاییز ۱۴۰۰) کاشت مجدد زمین انجام نگرفت و از همان کرت‌های سال گذشته برای ادامه کار استفاده شد. بمنظور اعمال تیمارهای فراهمی آب در زمان اولین آبیاری (۷ آبان ۱۴۰۰)، حجم آب مورد نیاز برای هر پلات اصلی بر اساس ۱۰۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی محاسبه شد و آبیاری تا زمان رسیدن به حجم مورد نظر ادامه یافت (جدول ۱). در سال دوم رویش زعفران در این مطالعه نیز گل‌ها از زمان خروج اولین گل (۲۵ آبان ۱۴۰۰) تا پایان گلدهی (۱۲ آذر ۱۴۰۰) جمع‌آوری شدند. گل‌ها به‌صورت روزانه از کرت‌های آزمایشی جمع‌آوری و سپس کلاله و خامه گل‌ها در محل مناسب و به دور از نور خشک شدند و در ظروف شیشه‌ای در یخچال نگهداری شدند.

همانند سال اول رویش زعفران در این مطالعه از کلاله‌های به‌دست‌آمده در سال دوم رویش زعفران و بر اساس استاندارد ملی ایران برای تعیین میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال استفاده شد (INSO, 2013).

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS ویرایش ۹/۴ آنالیز شدند و مقایسه میانگین صفات مورد

درصد است (INSO, 2013). میانگین میزان رطوبت نمونه‌ها هفت درصد در نظر گرفته شد.

در اسفندماه و حدود ۱۰ روز پس از چهارمین آبیاری (۹ اسفند ۱۳۹۹)، از هر یک از کرت‌های آزمایشی یک نمونه برگ‌ی تصادفی به وزن تقریبی ۱۰۰ گرم (وزن تر) گرفته شد. سپس نمونه‌ها در پاکت‌های مقوایی به آون فن دار منتقل و در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد بمدت ۴۸ ساعت کاملاً خشک شدند. از نمونه‌های برگ‌ی خشک شده برای تعیین میزان عناصر N, P, K, Fe و Zn در برگ زعفران استفاده شد.

اندازه‌گیری میزان نیتروژن کل بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۳۴۸۳ انجام شد. در این روش نمونه گیاهی پودر شده با سولفوریک اسید غلیظ در حضور کاتالیزور و به منظور تبدیل نیتروژن آلی به آمونیوم سولفات هضم شد. در ادامه برای آزادسازی آمونیاک، سدیم هیدروکسید مازاد به ماده هضم شده سرد اضافه گردید. آمونیاک آزاد شده در حضور محلول بوریک اسید مازاد تقطیر و سپس با محلول استاندارد سولفوریک اسید تیترو شد. مقدار نیتروژن موجود در نمونه از مقدار آمونیاک تولید شده محاسبه گردید (INSO, 2010).

اندازه‌گیری میزان فسفر در نمونه‌های برگ‌ی به روش چاپمن و پرات و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. برای این منظور خاکستر حاصل از نمونه‌های برگ‌ی زعفران با اسیدکلریدریک ۲ نرمال مخلوط و بعد از ۱۵ تا ۲۰ دقیقه با استفاده از آب دیونیزه به حجم رسانده شد و پس از گذشت ۳۰ دقیقه با کاغذ صافی صاف گردید. جهت سنجش غلظت فسفر نمونه‌ها محلول هضم شده با معرف بارتن (آمونیوم مولیبدات، آمونیوم وانادات، اسید نیتریک، آب مقطر) در بالن ژوژه ریخته و به‌خوبی مخلوط شد تا به رنگ زرد درآید. سپس با استفاده از آب مقطر بالن به حجم رسانده شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه جذب نمونه در طول موج ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (ساخت شرکت بلور آزما) قرائت گردید. سپس عدد قرائت شده توسط منحنی استاندارد فسفر به میکروگرم بر گرم تبدیل و در نهایت مقدار فسفر گیاه محاسبه شد (Chapman & Pratt, 1961).

میزان پتاسیم در نمونه‌های برگ‌ی با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر انجام گرفت. در ابتدا به نمونه آسیاب شده برگ زعفران اسید گلیسیال ۰/۱ نرمال اضافه شد و پس از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در بن ماری قرار گرفتند و سپس صاف شدند. در ادامه قرائت نمونه‌ها توسط دستگاه فلیم فتومتر انجام گرفت (Hamada & El-enany, 1994).

مرتبط با آپوکاروتنوئیدهای زعفران نیز در جدول شماره ۸ ارائه شده است. مقایسه بین میزان عناصر برگ و بنه در شکل شماره ۱ و نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر میزان عناصر برگ و بنه زعفران در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است.

در شکل ۱ میزان تجمع عناصر مختلف در برگ و بنه زعفران نمایش داده شده است. در این شکل هر ستون میانگینی از مقادیر مربوط به یک عنصر در ۳۶ کرت آزمایشی است که نشان می دهد به طور میانگین چه میزان از هر عنصر در برگ یا بنه زعفران تجمع پیدا کرده است.

آزمایش بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح آلفای پنج درصد انجام گرفت. همچنین از نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ برای ترسیم شکل ها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس میزان عناصر موجود در برگ و بنه زعفران در جدول ۴ و مقایسه میانگین این صفات در جدول ۵ گزارش شده است. بر اساس نتایج آزمون بارتلت و با توجه به یکنواخت بودن واریانس خطای سال های انجام آزمایش (جدول ۶)، تجزیه مرکب روی داده های مربوط به میزان کروسین، پیکرو کروسین و سافرانال انجام گرفت (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر سال، فراهمی آب و تغذیه بر صفات

جدول ۴. تجزیه واریانس (ANOVA) محتوای برخی عناصر غذایی در برگ و بنه زعفران

Table 4. Analysis of variance of the content of some nutrients in leaves and corms of saffron

| منابع تغییر<br>S.O.V                          | درجه<br>آزادی<br>df | میانگین مربعات<br>(MS)        |             |                                  |             |                                   |             |                           |             |                           |             |
|-----------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
|                                               |                     | میزان ازت<br>Nitrogen content |             | میزان فسفر<br>Phosphorus content |             | میزان پتاسیم<br>Potassium content |             | میزان آهن<br>Iron content |             | میزان روی<br>Zinc content |             |
|                                               |                     | برگ<br>Leaf                   | بنه<br>Corm | برگ<br>Leaf                      | بنه<br>Corm | برگ<br>Leaf                       | بنه<br>Corm | برگ<br>Leaf               | بنه<br>Corm | برگ<br>Leaf               | بنه<br>Corm |
| بلوک<br>Block                                 | 2                   | 0.0172 ns                     | 0.3258 ns   | 0.0033 **                        | 0.0050 ns   | 0.0555 **                         | 0.043 ns    | 10742.3 ns                | 3338.6 ns   | 51.73 ns                  | 122.87 ns   |
| فراهمی آب<br>decreased water availability (S) | 1                   | 0.0636 ns                     | 0.1103 *    | 0.0018 **                        | 0.0037 ns   | 0.0002 ns                         | 0.094 ns    | 23261.8 ns                | 2209.8 ns   | 500.97 *                  | 184.37 *    |
| خطای پلات اصلی<br>Main-Plot Error             | 2                   | 0.0035                        | 0.1008      | 0.0041                           | 0.0003      | 0.0126                            | 0.021       | 7643.2                    | 4920.2      | 157.24                    | 18.54       |
| کود<br>Fertilizer (F)                         | 5                   | 0.5608 **                     | 2.4224 **   | 0.0012 **                        | 0.0125 **   | 0.0348 **                         | 0.032 *     | 6219.0 ns                 | 1852.9 ns   | 27.83 ns                  | 39.68 ns    |
| اثر متقابل<br>S*F                             | 5                   | 0.0402 ns                     | 0.2726 ns   | 0.0003 ns                        | 0.0016 ns   | 0.0058 ns                         | 0.01 *      | 6436.4 ns                 | 1688.4 ns   | 44.75 ns                  | 41.00 ns    |
| خطای پلات فرعی<br>Sub-Plot Error              | 20                  | 0.0271                        | 0.1775      | 0.0001                           | 0.0021      | 0.0040                            | 0.014       | 5802.3                    | 2423.4      | 93.80                     | 42.14       |
| ضرب<br>تغییرات (%)<br>CV (%)                  |                     | 5.9106                        | 17.31       | 5.1230                           | 12.7250     | 5.1056                            | 10.916      | 22.35                     | 43.23       | 26.31                     | 21.31       |

ns, \* و \*\* به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

In each column, \*, \*\* and ns, indicates significant difference at 5%, 1% and non-significant, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر میزان فراهمی آب و تغذیه بر میزان برخی عناصر غذایی در برگ و بنه زعفران.

Table 5. Mean comparisons of the effect of water availability and fertilizers on the content of some nutrients in leaves and corms of saffron

| تیمار<br>treatment                                                                              | میزان ازت<br>Nitrogen content |               | میزان فسفر<br>Phosphorus content |               | میزان پتاسیم<br>Potassium content |              | میزان آهن<br>Iron content |              | میزان روی<br>Zinc content |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|-------------|
|                                                                                                 | برگ<br>Leaf                   | بنه<br>Corm   | برگ<br>Leaf                      | بنه<br>Corm   | برگ<br>Leaf                       | بنه<br>Corm  | برگ<br>Leaf               | بنه<br>Corm  | برگ<br>Leaf               | بنه<br>Corm |
|                                                                                                 | %                             |               | %                                |               | %                                 |              | Ppm                       |              | ppm                       |             |
| S1<br>۱۰۰ درصد نیاز آبی<br>100% of water requirement                                            | 2.7448                        | 2.2576        | 0.2344                           | 0.3573        | 1.2377                            | 1.046        | 366.18                    | 106.02       | 40.54                     | 32.72       |
| S2<br>۵۰ درصد نیاز آبی<br>50% of water requirement                                              | 2.8288                        | 2.6088        | 0.2201                           | 0.3777        | 1.2429                            | 1.149        | 315.34                    | 121.69       | 33.08                     | 28.20       |
| <b>LSD</b>                                                                                      | <b>0.1145</b>                 | <b>0.2930</b> | <b>0.0081</b>                    | <b>0.0325</b> | <b>0.0440</b>                     | <b>0.083</b> | <b>52.96</b>              | <b>34.22</b> | <b>6.73</b>               | <b>4.51</b> |
| F1<br>شاهد (عدم استفاده از<br>هر نوع ماده مغذی)<br>Control (no use of any<br>nutrient material) | 2.4330                        | 1.8450        | 0.2127                           | 0.3377        | 1.3418                            | 1.067        | 318.95                    | 113.62       | 35.79                     | 30.10       |
| F2<br>۱۰۰٪ NPK موردنیاز<br>100% of required NPK                                                 | 3.1963                        | 3.6053        | 0.2477                           | 0.4381        | 1.2188                            | 1.176        | 305.04                    | 120.37       | 34.42                     | 34.16       |
| F3<br>۵۰٪ NPK موردنیاز<br>50% of required NPK                                                   | 2.9174                        | 2.3985        | 0.2339                           | 0.3837        | 1.2241                            | 1.130        | 316.77                    | 96.40        | 37.94                     | 30.08       |
| F4<br>۵۰٪ NPK موردنیاز و ۳<br>کود زیستی<br>50% of required NPK<br>and 3 biofertilizers          | 2.8108                        | 2.3007        | 0.2288                           | 0.3317        | 1.1849                            | 1.009        | 379.84                    | 145.30       | 40.47                     | 28.16       |
| F5<br>۵۰٪ NPK موردنیاز و ۴<br>کود زیستی<br>50% of required NPK<br>and 4 biofertilizers          | 2.9412                        | 2.5358        | 0.2323                           | 0.3946        | 1.1497                            | 1.175        | 347.35                    | 102.49       | 35.49                     | 32.73       |
| F6<br>۳ کود زیستی<br>3 biofertilizers                                                           | 2.4222                        | 1.8450        | 0.2082                           | 0.3193        | 1.3225                            | 1.028        | 376.60                    | 104.97       | 36.73                     | 27.52       |
| <b>LSD</b>                                                                                      | <b>0.1984</b>                 | <b>0.5075</b> | <b>0.0140</b>                    | <b>0.0563</b> | <b>0.0763</b>                     | <b>0.144</b> | <b>91.73</b>              | <b>59.28</b> | <b>11.66</b>              | <b>7.81</b> |

F1: Control (no use of any nutrient material)

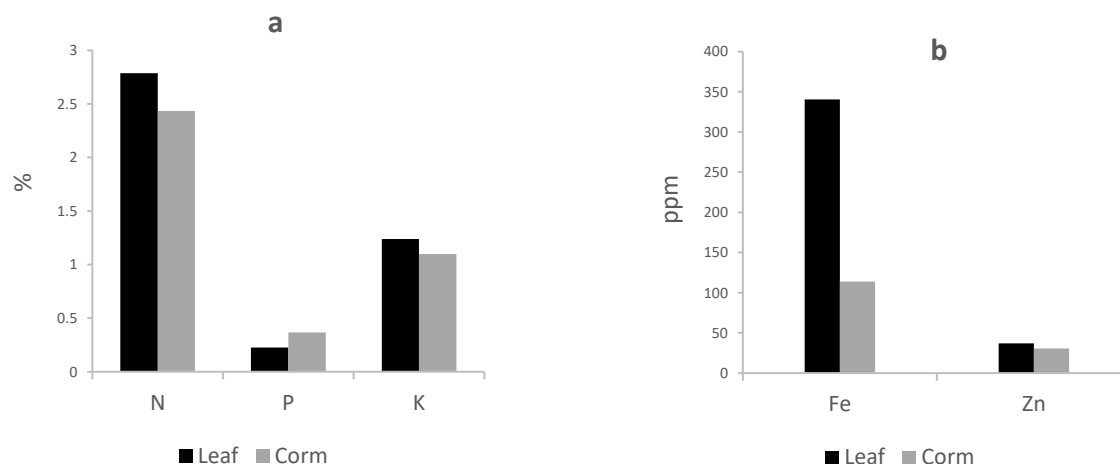
F2: 100% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate)

F3: 50% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate)

F4: 50% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate), Bacteria strain O4 *Pantoea agglomerans* (nitrogen fixer), Bacteria *Pseudomonas putida* strain P13 and *Pantoea agglomerans* strain P5 (phosphate solubilizer), Bacteria *Pseudomonas koreensis* strain S14 and *Pseudomonas vancouverensis* strain S19 (potassium solubilizer)

F5: 50% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate), Bacteria strain O4 *Pantoea agglomerans* (nitrogen fixer), Bacteria *Pseudomonas putida* strain P13 and *Pantoea agglomerans* strain P5 (phosphate solubilizer), Bacteria *Pseudomonas koreensis* strain S14 and *Pseudomonas vancouverensis* strain S19 (potassium solubilizer), Bacteria *Pseudomonas japonica* strain FZ.29-1 and strain FZ.21-1 (iron solubilizer and siderophore producer)

F6: 50% of required NPK (urea, triple superphosphate, potassium sulfate) Bacteria strain O4 *Pantoea agglomerans* (nitrogen fixer) Bacteria *Pseudomonas putida* strain P13 and *Pantoea agglomerans* strain P5 (phosphate solubilizer) Bacteria *Pseudomonas koreensis* strain S14 and *Pseudomonas vancouverensis* strain S19 (potassium solubilizer)



شکل ۱. میزان ازت، فسفر و پتاس (a)، آهن و روی (b) در برگ و بنه زعفران.

Fig 1. Comparison of Nitrogen, Phosphorous and Potash (a), Iron and Zinc (b) in leaf and corm of saffron.

جدول ۶. نتایج آزمون یکنواختی واریانس خطای آزمایشی (آزمون بارتلت)

Table 6. Results of the homogeneity of variances test (Bartlett's test)

| صفت             | منبع  | درجه آزادی | کای مربع   |
|-----------------|-------|------------|------------|
| اندازه گیری شده | تغییر | df         | Chi-Square |
| Measured traits | S.O.V |            |            |
| کروسین          | سال   | 1          | 0.3521 ns  |
| Crocin          | year  |            |            |
| پیکروکروسین     | سال   | 1          | 0.1182 ns  |
| Picrocrocin     | year  |            |            |
| سافرانال        | سال   | 1          | 1.0678 ns  |
| Safranal        | year  |            |            |

آبی میزان فسفر بطور معنی داری تغییر نکرد اما میزان فسفر برگ از ۰/۲۳۴۴ درصد به ۰/۲۲۰۱ درصد کاهش یافت (جدول ۵). این نتایج نشان می دهد که کاهش فراهمی آب می تواند منجر به کاهش میزان فسفر در برگ های زعفران شود. میزان فسفر در بنه زعفران در مقایسه با برگ ها تقریباً ۶۱ درصد بالاتر بود (شکل ۱). میزان پتاسیم برگ زعفران با کاهش فراهمی آب تغییری نداشت اما میزان پتاسیم بنه بطور معنی داری از ۱/۰۴۶ درصد به ۱/۱۴۹ درصد افزایش یافت (جدول ۵). میزان پتاسیم در برگ های زعفران تقریباً ۱۳ درصد نسبت به بنه ها بیشتر بود (شکل ۱).

علی رغم اینکه میزان آهن در برگ و بنه زعفران تحت تاثیر میزان فراهمی آب قرار نگرفت، میزان روی در هر دو اندام گیاه زعفران با کاهش میزان فراهمی آب کاهش یافت. میزان

میزان عناصر برگ و بنه زعفران (ازت، فسفر، پتاس، آهن، روی)

نتایج تجزیه واریانس اثر میزان فراهمی آب بر مقدار عنصر ازت در برگ و بنه زعفران نشان دهنده تاثیر معنی دار میزان فراهمی آب بر مقدار ازت بنه زعفران بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر میزان فراهمی آب بر مقدار ازت بنه نیز مشخص نمود که با کاهش فراهمی آب از ۱۰۰ درصد نیاز آبی (S1) به ۵۰ درصد نیاز آبی (S2)، میزان ازت بنه زعفران از ۲/۲۵۷۶ درصد به ۲/۶۰۸۸ درصد افزایش یافت (جدول ۵). همچنین بطور میانگین میزان ازت در برگ های زعفران نسبت به بنه ها تقریباً ۱۵ درصد بیشتر بود (شکل ۱). با کاهش فراهمی آب از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۵۰ درصد نیاز

به بنه‌ها در مراحل پایانی رشد زعفران در تیمار کمبود فراهمی آب بیشتر بوده است. به عبارت دیگر احتمالاً توانایی زعفران در حفظ نرخ فتوسنتز خود در شرایط تنش خشکی (Renau-Morata & Molina, 2012) باعث شده است تا میزان انتقال نیتروژن از بنه به اندام‌های هوایی تا مراحل انتهایی رشد رویشی زعفران کاهش معنی‌داری نداشته باشد. اما پس از این مرحله میزان انتقال بیشتر نیتروژن از برگ‌ها به بنه‌ها در تیمار تنش خشکی بیشتر بوده است. با توجه به اینکه رشد ریشه و جذب مواد معدنی از خاک در زعفران در اواخر زمستان (همزمان با مرحله نمونه برداری از برگ‌ها در مطالعه ما) به شدت کاهش می‌یابد (Behdani et al., 2016)، احتمالاً بالاتر بودن میزان نیتروژن و پتاسیم بنه‌ها در تیمار تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش، به تفاوت در جذب این عناصر در این مرحله از رشد گیاه مربوط نمی‌باشد.

روی در برگ‌های زعفران با کاهش فراهمی آب از سطح S1 (۱۰۰ درصد نیاز آبی) به S2 (۵۰ درصد نیاز آبی) از ۴۰/۵۴ پی پی ام به ۳۳/۰۸ پی پی ام و در بنه‌ها از ۳۲/۷۲ به ۲۸/۲۰ پی پی ام کاهش یافت. (جدول ۵). شرایط تنش خشکی به‌طور کلی فراهمی عناصر غذایی در خاک، جابه‌جایی عناصر در ریشه و در نهایت میزان یون‌ها در اندام‌های مختلف گیاه را کاهش می‌دهد (Kheradmand et al., 2014). با وجود اینکه افزایش تنش خشکی و در نتیجه کاهش نرخ فتوسنتز در گیاهان تحت تنش می‌تواند سبب محدودیت مخزن شده و با کاهش انتقال نیتروژن به اندام‌های هوایی گیاه زعفران منجر به تجمع بیشتر نیتروژن در بنه‌های تحت فراهمی کم آب نسبت به بنه‌هایی شود که در شرایط مطلوب رطوبتی رشد نموده‌اند، اما عدم اختلاف معنی‌دار بین میزان ازت در برگ‌های زعفران در دو تیمار میزان فراهمی آب (۵۰ درصد نیاز آبی) و عدم تنش (۱۰۰ درصد نیاز آبی) نشان می‌دهد که احتمالاً میزان انتقال نیتروژن از اندام‌های

جدول ۷. تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی زعفران.

Table 7. Combined analysis of variance of quality traits of saffron.

| منابع تغییر<br>S.O.V                                            | میانگین مربعات<br>(MS) |                   |                             |                      |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|
|                                                                 | درجه آزادی<br>df       | کروسین<br>Crocinn | پیکروکروسین<br>Picrocrocinn | سافرانال<br>Safranal |
| سال<br>year                                                     | 1                      | 882.00**          | 249.3 **                    | 93.38 **             |
| تکرار در سال<br>r(year)                                         | 4                      | 7.44              | 7.44                        | 2.36                 |
| فراهمی آب<br>water availability (S)                             | 1                      | 1.38 ns           | 2.72 ns                     | 1.38 ns              |
| سال * فراهمی آب<br>year* water availability                     | 1                      | 29.38 ns          | 5.55 ns                     | 1.38 ns              |
| خطای نوع a<br>type a error                                      | 4                      | 15.30             | 5.64                        | 2.22                 |
| کود<br>fertilizer                                               | 5                      | 24.65 ns          | 9.32 *                      | 0.93 ns              |
| سال * کود<br>year * fertilizer                                  | 5                      | 6.83 ns           | 1.52 ns                     | 0.48 ns              |
| فراهمی آب * کود<br>water availability * fertilizer              | 5                      | 51.62 ns          | 7.85 ns                     | 1.02 ns              |
| سال * فراهمی آب * کود<br>year * water availability * fertilizer | 5                      | 28.28 ns          | 7.35 ns                     | 1.68 ns              |
| خطای نوع b<br>type b error                                      | 40                     | 32.01             | 3.49                        | 1.01                 |
| ضریب تغییرات (%)<br>CV (%)                                      | -                      | 2.51              | 2.19                        | 4.00                 |

ns، \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

In each column, \*, \*\* and ns, indicates significant difference at 5%, 1% and non-significant, respectively.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر سال، فراهمی آب و تغذیه بر صفات مرتبط با عملکرد زعفران

Table 8. Mean comparisons of the effect of year, water stress and yield-related traits of saffron

| تیمار<br>treatment                                                                         | کروسین<br>Crocine                                                                                                                               | پیکروکروسین<br>Picrocrocine                                                                                                                     | سافرانا<br>Safranal                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                            | حداکثر جذب محلول آبی یک درصد<br>در طول موج ۴۴۰ نانومتر<br>Maximum absorption of one<br>percent aqueous solution at<br>440 nanometers wavelength | حداکثر جذب محلول آبی یک درصد<br>در طول موج ۲۵۷ نانومتر<br>Maximum absorption of one<br>percent aqueous solution at<br>257 nanometers wavelength | حداکثر جذب محلول آبی یک درصد<br>در طول موج ۳۳۰ نانومتر<br>Maximum absorption of one<br>percent aqueous solution at<br>330 nanometers wavelength |
| Y1                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| سال اول رویش زعفران<br>First year of saffron growing                                       | 221.61                                                                                                                                          | 83.30                                                                                                                                           | 26.22                                                                                                                                           |
| Y2                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| سال دوم رویش زعفران<br>Second year of saffron growing                                      | 228.61                                                                                                                                          | 87.02                                                                                                                                           | 23.94                                                                                                                                           |
| <b>LSD</b>                                                                                 | <b>2.44</b>                                                                                                                                     | <b>1.78</b>                                                                                                                                     | <b>1.00</b>                                                                                                                                     |
| S1                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| ۱۰۰ درصد نیاز آبی<br>100% of water requirement                                             | 224.97                                                                                                                                          | 84.97                                                                                                                                           | 24.94                                                                                                                                           |
| S2                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| ۵۰ درصد نیاز آبی<br>50% of water requirement                                               | 225.25                                                                                                                                          | 85.36                                                                                                                                           | 25.22                                                                                                                                           |
| <b>LSD</b>                                                                                 | <b>2.56</b>                                                                                                                                     | <b>1.55</b>                                                                                                                                     | <b>0.97</b>                                                                                                                                     |
| F1                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| شاهد (عدم استفاده از هر نوع<br>ماده مغذی)<br>Control (no use of any nutrient<br>(material) | 225.41                                                                                                                                          | 85.66                                                                                                                                           | 24.91                                                                                                                                           |
| F2                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| ۱۰۰٪ NPK مورد نیاز<br>100% of required NPK                                                 | 223.34                                                                                                                                          | 83.83                                                                                                                                           | 25.08                                                                                                                                           |
| F3                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| ۵۰٪ NPK مورد نیاز<br>50% of required NPK                                                   | 227.66                                                                                                                                          | 86.25                                                                                                                                           | 25.58                                                                                                                                           |
| F4                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| ۵۰٪ NPK مورد نیاز و ۳ کود<br>زیستی<br>50% of required NPK and 3<br>biofertilizers          | 224.91                                                                                                                                          | 84.75                                                                                                                                           | 24.75                                                                                                                                           |
| F5                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| ۵۰٪ NPK مورد نیاز و ۴ کود<br>زیستی<br>50% of required NPK and 4<br>biofertilizers          | 224.50                                                                                                                                          | 84.75                                                                                                                                           | 25.08                                                                                                                                           |
| F6                                                                                         |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                 |
| ۳ کود زیستی<br>3 biofertilizers                                                            | 224.83                                                                                                                                          | 85.75                                                                                                                                           | 25.08                                                                                                                                           |
| <b>LSD</b>                                                                                 | <b>4.66</b>                                                                                                                                     | <b>1.54</b>                                                                                                                                     | <b>0.82</b>                                                                                                                                     |

تنش خشکی در طی چرخه رشد چند ساله زعفران باشد (Koochaki et al., 2016). گرچه افزایش غیر معنی دار میزان فسفر در بنه های زعفران با کاهش میزان فراهمی آب در مطالعه ما می تواند نتایج این محققین را تایید نماید، اما میزان فسفر در اندام هوایی زعفران با کاهش فراهمی آب از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش یافت که نشان می دهد پاسخ گیاه زعفران به تنش خشکی همیشه افزایش غلظت عناصر در همه اندام های گیاه نخواهد بود. در واقع همانطور که پیش تر نیز گفته شد، در شرایط کمبود آب در خاک این احتمال وجود دارد که عناصری مانند فسفر که نقش تعیین کننده ای بر عملکرد سال آینده زعفران دارد از اندام های هوایی به بنه ها منتقل شود. همچنین بطور کلی می توان نتیجه گرفت که با ایجاد شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش، غلظت عناصر پر مصرف مانند ازت، فسفر و پتاس در بنه های زعفران افزایش می یابد.

درحالی که عناصر ماکرو اجزای ساختاری گیاهان را تشکیل می دهند و کمبود آنها باعث ایجاد علائمی در گیاه می شود که به راحتی قابل رویت هستند (۱۱۳)، عناصر میکرو (ریز مغذی ها) با تنظیم فعالیت های آنزیمی، تنظیم انتقال پیام و همچنین تجمع املاح سازگار، بر میزان حساسیت گیاه در شرایط تنش تأثیر می گذارند (Hajiboland, 2012). بر اساس مطالعات قبلی، کاربرد عنصر روی در شرایط غیر تنش علاوه بر افزایش غلظت این عنصر در برگ ها، جذب برخی دیگر از عناصر مانند آهن و منگنز را در آفتابگردان (*Helianthus annuus*) افزایش داد (Babaeian et al., 2011). همچنین در مطالعه دیگری با اعمال تنش خشکی از طریق افزایش فواصل آبیاری در لوبیا، با افزایش تنش خشکی میزان عناصر ماکرو در برگ لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) کاهش یافت. اما نتایج اثرات متقابل بین تنش خشکی و محلول پاشی آهن به همراه سولفات روی نشان داد که با محلول پاشی این عناصر هم در شرایط عدم تنش خشکی و هم اعمال تنش خشکی، میزان سه عنصر NPK تحت تأثیر محلول پاشی دو عنصر آهن و روی افزایش می یابد. به بیان دیگر استفاده از عناصر آهن و روی می تواند منجر به کاهش اثرات منفی تنش خشکی روی جذب سایر عناصر ماکرو شود (Ibrahim et al., 2017). در بررسی اثر تنش خشکی و محلول پاشی آهن و روی بر صفات بیوشیمیایی گیاه دارویی زیره سبز، محلول پاشی این دو عنصر منجر به کاهش چشم گیر اثرات منفی تنش خشکی شد. کاهش آثار مخرب تنش خشکی و حفاظت از گیاه در برابر رادیکال های فعال اکسیژن

با این وجود چاجی و همکاران (Chaji et al., 2013) معتقدند که بر خلاف بسیاری از مطالعات قبلی، بنه های دختری زعفران در این مرحله علی رغم تحلیل بنه های مادری و به تبع آن ریشه های جاذب که از قاعده بنه های مادری تولید می شوند، باز هم قادر هستند عناصر غذایی را توسط ریشه های کوتاهی که توسط بنه های دختری تولید می شوند از خاک جذب نمایند. این محققین میزان جذب نیترژن توسط ریشه های کوتاه بنه های دختری را معادل ۳۳ درصد کل نیترژن موجود در این بنه ها تخمین زدند (Chaji et al., 2013). ریشه های کوتاه بنه های دختری در زعفران که اغلب قابل رویت نیز نیستند وظیفه جذب آب و مواد معدنی مورد نیاز بنه های دختری از خاک را بر عهده دارند (Kafi et al., 2002). در ارتباط با عنصر پتاسیم، کاهش جذب این عنصر از خاک در شرایط تنش خشکی به کاهش قابلیت جابه جایی، کاهش نرخ تعرق و عملکرد ضعیف ناقلین غشای ریشه نیز مربوط می شود (Yunca & Schmidhalter, 2005).

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) در مطالعه اثر میزان آبیاری و کشت متراکم زعفران بر جذب فسفر در زعفران نتیجه گرفتند که با افزایش شدت تنش خشکی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، غلظت فسفر در بنه های دختری با وزن بیش از ۸ گرم و نیز مجموع بنه های دختری (نمونه تفکیک نشده شامل تمام اندازه های بنه های دختری) افزایش می یابد. افزایش تجمع فسفر در بنه های زعفران می تواند نوعی سازگاری برای حفظ اندام قابل تکثیر گیاه (بنه های زعفران) باشد که در طی فصل رشد و با هدف افزایش احتمال بقای گیاه صورت می گیرد. در مطالعه دیگری نیز افزایش سطح تنش خشکی منجر به افزایش غلظت فسفر در بنه های دختری با وزن های مختلف شد؛ بطوریکه غلظت فسفر در بنه های با وزن بیش از ۱۰ گرم از ۲/۶۵ گرم بر کیلوگرم در تیمار ۴ مرحله آبیاری (اگوست، اکتبر، نوامبر و آوریل) به ۳/۱۴ گرم بر کیلوگرم در تیمار بدون آبیاری افزایش یافت. البته در این مطالعه علاوه بر غلظت فسفر در بنه، غلظت فسفر در اندام هوایی زعفران نیز با افزایش شدت تنش خشکی افزایش پیدا کرد. با توجه به اینکه افزایش تجمع مواد معدنی و متابولیت ها به همراه کاهش توسعه حجم سلول ها (Chaves et al., 2002) و همچنین در خصوص زعفران نیز افزایش میزان پروتئین ها در بنه، برگ و ریشه از مکانیزم های مقابله با تنش خشکی هستند، افزایش غلظت فسفر از طریق کاهش رشد می تواند تمهیدی برای مقابله با اثرات

با افزایش محتوای اسیدآمین پرتین، پروتئین ها و قندهای محلول و همچنین افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان منجر به افزایش تحمل زیره سبز به تنش خشکی می شود (Amirinejad et al., 2015). فاتح و همکاران ضمن تایید تاثیر مثبت عنصر روی بر کاهش اثرات مضر ناشی از تنش خشکی مشاهده کردند که با افزایش شدت تنش خشکی، میزان عنصر روی در دانه سویای (*Glycine max* L.) رقم ویلیامز به طور معنی داری کاهش می یابد (Fateh et al., 2012) که با نتایج مطالعه ما مطابقت دارد. در واقع علیرغم اینکه حضور عنصر روی در شرایط تنش خشکی می تواند منجر به بهبود وضعیت رشد و تولید گیاه شود، اما کاهش آب در دسترس گیاه سبب کاهش غلظت این عنصر در گیاه نیز خواهد شد که نشاندهنده ضرورت استفاده از کودهای حاوی روی در شرایط تنش خشکی است. در مطالعه اراکی و همکاران (Araki et al., 2022)، تنش خشکی منجر به افزایش تقریباً دو برابری تجمع عنصر آهن در بذور سورگوم (*Sorghum bicolor*) و کاهش ۰/۶ برابری در برگ ها شد. اما در مطالعه سودایی زاده و منصوری (Sodaeizadeh and Mansouri, 2014) روی گیاه مریم گلی لوله ای (*Salvia macrosiphon*)، با افزایش شدت تنش خشکی از ۱۰۰ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، میزان کلیه عناصر میکروی مورد آزمایش و از جمله دو عنصر آهن و روی بطور پیوسته افزایش یافت، بطوریکه میزان روی از ۱۷/۸۳ به ۸۲/۵۴ میلیگرم در کیلوگرم و میزان آهن نیز از ۹۲/۰ به ۲۵۴/۴ میلی گرم در کیلوگرم رسید. در مطالعه دیگری روی گیاه ماش (*Vigna radiata*) مشخص شد که اعمال تنش خشکی با قطع آبیاری در دو مرحله رشد رویشی (ساقه دهی) و رشد زایشی گیاه تاثیری بر میزان عنصر روی در دانه ماش ندارد (Jafar Dokht et al., 2015). در مجموع می توان این طور نتیجه گرفت که واکنش گیاهان مختلف و همچنین اندام های مختلف یک گیاه در خصوص تجمع دو عنصر آهن و روی متفاوت است و کاهش فراهمی آب می تواند سبب افزایش یا کاهش این عناصر در گیاه شود.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اعمال تیمارهای کودی تاثیر معنی داری بر میزان ازت، فسفر و پتاسیم در برگ و بنه زعفران داشت؛ اما میزان آهن و روی در برگ و بنه زعفران تحت تاثیر تیمارهای کودی قرار نگرفت (جدول ۴). بالاترین میزان ازت در برگ و بنه زعفران متعلق به تیمار F2 بود و کمترین میزان آن در برگ و بنه به دو تیمار F1 (شاهد) و F6 تعلق داشت. استفاده همزمان از کودهای شیمیایی و

کودهای زیستی (تیمار F5) نیز پس از تیمار F2 در جایگاه دوم بالاترین میزان ازت در برگ و بنه قرار گرفت. بالاترین میزان فسفر برگ و بنه زعفران در نتیجه اعمال تیمار F2 حاصل شد و تیمارهای فاقد کود شیمیایی (شاهد و F6) از نظر میزان فسفر در پایین ترین گروه آماری قرار گرفتند. اما بر خلاف ازت و فسفر، میزان پتاسیم برگ در دو تیمار فاقد کودهای شیمیایی (شاهد و F6) بیشتر از سایر تیمارها بود. با این وجود بالاترین میزان پتاسیم در بنه زعفران به تیمار F5 تعلق داشت که بلحاظ آماری تفاوت معنی داری با شاهد فاقد هر گونه ماده مغذی نداشت. قرار گرفتن تیمار شاهد در بالاترین گروه آماری میزان پتاسیم در برگ و بنه زعفران می تواند نشان دهنده عدم تاثیر پذیری جذب پتاسیم از اعمال تیمارهای کودی مورد استفاده در این آزمایش باشد. همچنین میزان آهن و روی برگ و بنه زعفران در هیچک از تیمارهای کودی اعمال شده در این آزمایش با شاهد تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۵ و شکل ۲).

در آزمایش مشابهی رسولی و همکاران (Rasouli et al., 2013) واکنش برخی ویژگی های رشدی زعفران در پاسخ به منابع کودی مختلف شامل کودهای شیمیایی پایه (NPK)، ورمی کمپوست، کودهای زیستی حاوی باکتری های سودوموناس و باسیلوس و همچنین ترکیب ورمی کمپوست و کودهای زیستی را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج کاربرد کودهای حاوی باکتری بیشترین تاثیر را بر خصوصیات مورفولوژیک داشتند و کاربرد همزمان باکتری و کود شیمیایی بر میزان رنگ دانه های فتوسنتزی تاثیرگذار بود. همچنین کاربرد همزمان باکتری، ورمی کمپوست و بالاترین سطح کود شیمیایی (بر اساس آنالیز خاک) بیشترین تاثیر را بر عناصر برگ داشتند. گرچه در این تحقیق هیچ یک از تیمارهای کودی (شیمیایی و غیرشیمیایی) تاثیری بر میزان نیتروژن برگ زعفران نداشت، اما استفاده از تیمار کودهای شیمیایی سبب افزایش معنی دار میزان آهن، منگنز و مس شد و کودهای غیرشیمیایی نیز میزان فسفر، آهن، منگنز، روی و مس را در برگ زعفران افزایش داد. این محققین موفق ترین نوع کود برای افزایش رشد زعفران را کاربرد باکتری های محرک رشد معرفی نمودند و اظهار داشتند که پس از کودهای زیستی، مخلوط ۵۰٪ از کود شیمیایی توصیه شده بر اساس آنالیز خاک به همراه کودهای غیر شیمیایی زیستی حاوی باکتری همراه با ورمی کمپوست بهترین ترکیب کودی برای تحریک رشد زعفران خواهد بود. در مطالعه خیری و همکاران بیشترین میزان نیتروژن برگ و کلروفیل

در خصوص تأثیر عوامل مختلف مانند سن مزرعه، تنش خشکی و کوددهی نتایج متفاوت و گاهی متناقضی در مطالعات مختلف گزارش شده است. به عنوان نمونه در مطالعه تأثیر رژیم‌های کودی مختلف بر میزان ترکیبات فرار زعفران، تفاوتی در سه سال انجام آزمایش مشاهده نشد (Ghanbari et al., 2019). اما اسماعیلیان و همکاران گزارش دادند که با افزایش سن مزرعه زعفران، میزان هر سه آپوکاروتنوئید افزایش خواهد یافت که این نتایج با نتایج حاصل از مطالعه ما در خصوص افزایش کروسین و پیکروکروسین مطابق و با کاهش میزان سافرانال در مطالعه ما مغایرت داشت (Esmaeilian et al., 2022). سعیدی ابواسحاقی و همکاران نیز گزارش کردند که افزایش تنش خشکی منجر به افزایش محدودی در میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال خواهد شد (Saeidi Aboueshaghi et al., 2023).

در حالی که میزان کروسین تحت تأثیر اعمال تیمارهای کودی قرار نگرفت، در تیمارهایی که به دلیل اعمال کود شیمیایی در حد توصیه شده (F2) و یا ترکیب کودهای شیمیایی و زیستی (F4 و F5) فراهمی عناصر غذایی در آنها بالا رفته است، نسبت به تیمارهایی که به دلیل عدم استفاده از کود (شاهد)، استفاده از نصف میزان کود توصیه شده (F3) و یا اعمال کودهای زیستی به تنهایی (F6) فراهمی عناصر غذایی در آنها کمتر بوده، میزان پیکروکروسین کاهش یافته است. بالاترین و پایین‌ترین میزان سافرانال نیز به ترتیب با ۲۵/۵۸ و ۲۴/۷۵ حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر به تیمارهای F3 و F4 تعلق داشت و سایر تیمارهای مورد استفاده تفاوت معنی‌داری با هیچ‌یک از این دو تیمار نداشتند (جدول ۸). بررسی همبستگی بین میزان عناصر برگ و بنه زعفران با میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی بین این صفات بود. تنها بین میزان سافرانال کلالة با مقدار فسفر برگ (\*\*۴۵/۰) و میزان سافرانال کلالة با مقدار روی در بنه (\*) (۳۵/۰) همبستگی وجود داشت (جدول ۹).

تاکنون بررسی دقیقی در خصوص تأثیر استفاده از منابع کودی بر میزان آپوکاروتنوئیدهای زعفران انجام نگرفته است. در حالی که برخی محققین موافق تأثیر مثبت استفاده از کودهای شیمیایی و زیستی بر میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال در زعفران هستند (Saeidi Aboueshaghi et al., 2023)، برخی دیگر استفاده از کودها را عامل کاهش میزان متابولیت‌های ثانویه زعفران می‌دانند (Rezaie et al., 2019).

در تیمار استفاده از کودهای زیستی (ازتوباکتر) + نیتروژن بدست آمد. این محققین افزایش میزان نیتروژن خاک در اثر فعالیت باکتری‌ها و همچنین توسعه سطح ریشه برای جذب نیتروژن از خاک را عوامل اصلی افزایش نیتروژن در برگ‌های زعفران در اثر استفاده از این تیمار کودی بیان کردند (Kheiry et al., 2018). در مطالعه دیگری استفاده از کود زیستی فسفات بارور ۲ سبب افزایش معنی‌دار میزان فسفر در بنه های زعفران شد؛ بطوریکه میزان فسفر در بنه های زعفران در تیمار کود زیستی فسفات بارور ۲ نسبت به تیمار شاهد و تیمار میکوریزا به ترتیب ۲/۲ و ۲/۰ برابر بیشتر بود (Bekhradyani Nasab et al., 2020). کود زیستی فسفات بارور ۲ (حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفر) با کمک به جذب بیشتر ترکیبات آلی و معدنی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد زعفران می‌شود (Amini et al., 2014). بر اساس نتایج مطالعه کوچکی و همکاران، میزان فسفر بنه در زعفران یکی از عوامل کلیدی در افزایش گلدهی در زعفران است. این محققین افزایش ذخیره فسفر در بنه های زعفران را در کنار اندازه بنه، یکی از عوامل اصلی عملکرد بالاتر گل در سال بعد ذکر نموده‌اند و بیان داشتند که استفاده از کودهای آلی (کود دامی، ورمی کمپوست و کمپوست) تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان فسفر در بنه های زعفران دارد (Koocheki et al., 2014). در تایید این نتایج، بیشترین عملکرد گل در سال دوم رویش زعفران در مطالعه ما نیز متعلق به دو تیمار کودی بود که سبب بیشترین میزان ذخیره فسفر در بنه شدند (تیمار ۱۰۰٪ کود شیمیایی مورد نیاز و تیمار ۵۰٪ NPK مورد نیاز + ۴ نوع کود زیستی). بنابراین می‌توان این طور نتیجه گرفت که استفاده از کودهای حاوی فسفر برای ذخیره مقدار کافی از این عنصر در بنه زعفران برای بهبود عملکرد گل زعفران ضروری خواهد بود.

### میزان آپوکاروتنوئیدهای زعفران

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی زعفران، میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال در دو سال انجام آزمایش با هم متفاوت بود (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان کروسین و پیکروکروسین در سال دوم رویش زعفران و میزان سافرانال در سال اول انجام آزمایش بیشتر بوده است. همچنین مشخص شد که کاهش فراهمی آب تأثیر معنی‌داری بر میزان هیچ‌یک از آپوکاروتنوئیدهای مورد بررسی در این مطالعه نداشته است (جدول ۷ و ۸).

جدول ۹. همبستگی بین میزان عناصر برگ، میزان عناصر بنه و میزان آپوکاروتنوئیدهای کلالة زعفران  
 Table 9. Correlation between leaf elements, corm elements, and stigma apocarotenoids content of saffron

| صفات<br>traits                             | کروسین<br>Crocine   | پیکروکروسین<br>Picrocrocin | سافرانال<br>Safranal | میزان ازن برگ<br>Leaf nitrogen content | میزان فسفر برگ<br>Leaf phosphorus content | میزان پتاسیم برگ<br>Leaf potassium content | میزان آهن برگ<br>Leaf iron content | میزان روی برگ<br>Leaf zinc content | میزان ازن بنه<br>Corm nitrogen content | میزان فسفر بنه<br>Corm phosphorus content | میزان پتاسیم بنه<br>Corm potassium content | میزان آهن بنه<br>Corm iron content | میزان روی بنه<br>Corm zinc content |
|--------------------------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| کروسین<br>Crocine                          | 1                   |                            |                      |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |
| پیکروکروسین<br>Picrocrocin                 | 0.75**              | 1                          |                      |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |
| سافرانال<br>Safranal                       | 0.34*               | 0.67**                     | 1                    |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |
| میزان ازن برگ<br>Leaf nitrogen content     | -0.07 <sup>ns</sup> | -0.17 <sup>ns</sup>        | 0.18 <sup>ns</sup>   | 1                                      |                                           |                                            |                                    |                                    |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |
| میزان فسفر برگ<br>Leaf phosphorus content  | -0.09 <sup>ns</sup> | 0.21 <sup>ns</sup>         | 0.45**               | 0.63**                                 | 1                                         |                                            |                                    |                                    |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |
| میزان پتاسیم برگ<br>Leaf potassium content | -0.06 <sup>ns</sup> | 0.29 <sup>ns</sup>         | 0.25 <sup>ns</sup>   | -0.42*                                 | 0.04 <sup>ns</sup>                        | 1                                          |                                    |                                    |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |
| میزان آهن برگ<br>Leaf iron content         | -0.00 <sup>ns</sup> | -0.22 <sup>ns</sup>        | -0.22 <sup>ns</sup>  | -0.10 <sup>ns</sup>                    | -0.33*                                    | -0.15 <sup>ns</sup>                        | 1                                  |                                    |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |
| میزان روی برگ<br>Leaf zinc content         | -0.18 <sup>ns</sup> | 0.01 <sup>ns</sup>         | 0.00 <sup>ns</sup>   | -0.14 <sup>ns</sup>                    | 0.07 <sup>ns</sup>                        | 0.17 <sup>ns</sup>                         | 0.18 <sup>ns</sup>                 | 1                                  |                                        |                                           |                                            |                                    |                                    |
| میزان ازن بنه<br>Corm nitrogen content     | 0.07 <sup>ns</sup>  | -0.06 <sup>ns</sup>        | 0.25 <sup>ns</sup>   | 0.70**                                 | 0.37*                                     | -0.27 <sup>ns</sup>                        | -0.16 <sup>ns</sup>                | -0.29 <sup>ns</sup>                | 1                                      |                                           |                                            |                                    |                                    |
| میزان فسفر بنه<br>Corm phosphorus content  | 0.15 <sup>ns</sup>  | -0.16 <sup>ns</sup>        | 0.05 <sup>ns</sup>   | 0.64**                                 | 0.23 <sup>ns</sup>                        | -0.34*                                     | -0.08 <sup>ns</sup>                | -0.41*                             | 0.78**                                 | 1                                         |                                            |                                    |                                    |
| میزان پتاسیم بنه<br>Corm potassium content | 0.15 <sup>ns</sup>  | 0.01 <sup>ns</sup>         | 0.14 <sup>ns</sup>   | 0.36*                                  | 0.15 <sup>ns</sup>                        | -0.20 <sup>ns</sup>                        | -0.00 <sup>ns</sup>                | -0.21 <sup>ns</sup>                | 0.67**                                 | 0.65**                                    | 1                                          |                                    |                                    |
| میزان آهن بنه<br>Corm iron content         | 0.04 <sup>ns</sup>  | 0.03 <sup>ns</sup>         | -0.00 <sup>ns</sup>  | 0.08 <sup>ns</sup>                     | 0.01 <sup>ns</sup>                        | -0.00 <sup>ns</sup>                        | -0.00 <sup>ns</sup>                | -0.24 <sup>ns</sup>                | 0.23 <sup>ns</sup>                     | 0.02 <sup>ns</sup>                        | 0.16 <sup>ns</sup>                         | 1                                  |                                    |
| میزان روی بنه<br>Corm zinc content         | 0.08 <sup>ns</sup>  | 0.26 <sup>ns</sup>         | 0.35*                | 0.32 <sup>ns</sup>                     | 0.46**                                    | 0.04 <sup>ns</sup>                         | -0.23 <sup>ns</sup>                | -0.13 <sup>ns</sup>                | 0.53**                                 | 0.41*                                     | 0.57**                                     | 0.45**                             | 1                                  |

ns، \* و \*\* به ترتیب، غیرمعنی دار و معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد

\*, \*\* and ns, indicates significant difference at 5%, 1% and non-significant, respectively

فسفر برگ زعفران و میزان سافرانال کلاله (۰/۴۵\*\*) در مطالعه ما نیز مشاهده گردید (جدول ۹).

### نتیجه گیری

با کاهش فراهمی آب در خاک، میزان ازت در برگ و بنه زعفران افزایش یافت. همچنین به طور میانگین میزان ازت در برگ‌های زعفران نسبت به بنه‌ها تقریباً ۱۵ درصد بیشتر بود. اما در حالیکه میزان فسفر برگ با کاهش فراهمی آب تغییری نشان نداد، میزان فسفر برگ بطور معنی داری کاهش یافت. این نتایج نشان می دهد که افزایش تنش خشکی می تواند منجر به کاهش میزان فسفر در برگ‌های زعفران شود. میزان فسفر در بنه زعفران در مقایسه با برگ ها تقریباً ۶۱ درصد بالاتر بود.

میزان پتاسیم برگ زعفران با کاهش فراهمی آب تغییری نشان نداد اما میزان پتاسیم بنه بطور معنی داری افزایش یافت. میزان پتاسیم در برگ‌های زعفران تقریباً ۱۳ درصد نسبت به بنه ها بیشتر بود. در حالیکه میزان آهن در برگ و بنه زعفران تحت تاثیر فراهمی آب قرار نگرفت، میزان روی در هر دو اندام گیاه زعفران با کاهش فراهمی آب کاهش یافت. در مجموع غیر از عنصر فسفر، میزان تجمع ازت، پتاس، آهن و روی در برگ زعفران نسبت به بنه ها به میزان قابل توجهی بیشتر بود. اعمال تیمارهای کودی تاثیر معنی داری بر میزان ازت، فسفر و پتاسیم در برگ و بنه زعفران داشت اما میزان آهن و روی در برگ و بنه زعفران تحت تاثیر تیمارهای کودی قرار نگرفت. بالاترین میزان ازت و فسفر در برگ و بنه زعفران در تیمار استفاده از کود شیمیایی به میزان توصیه شده بدست آمد.

با توجه به تاثیر پذیری ذخیره فسفر در بنه های دختري از کودهای شیمیایی و همچنین وابستگی عملکرد زعفران به میزان فسفر بنه های دختري، حذف کامل کودهای شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای زیستی توصیه نمی شود. اما بر خلاف ازت و فسفر، میزان پتاسیم در برگ و بنه زعفران تحت تاثیر تیمارهای کودی قرار نگرفت که می تواند نشان دهنده عدم تاثیر پذیری جذب پتاسیم از اعمال تیمارهای کودی مورد استفاده در این آزمایش باشد. همچنین میزان آهن و روی برگ و بنه زعفران در هیچک از تیمارهای کودی اعمال شده در این آزمایش با شاهد تفاوت معنی داری نداشت.

میزان کروسین، پیکرو کروسین و سافرانال کلاله زعفران در دو سال انجام آزمایش با هم متفاوت بود؛ به طوری که میزان

در مطالعه اسماعیلیان و همکاران ( Esmaeilian et al., 2022) استفاده از کودهای شیمیایی یا زیستی (نیتروکسین و بیوفسفات) منجر به افزایش معنی دار میزان سه آپوکروتونوئید کروسین، پیکروکروسین و سافرانال شد. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2019) نشان دادند که استفاده از کودهای شیمیایی در مقایسه با کود مرعی تاثیر بهتری بر افزایش میزان مواد مؤثره کلاله زعفران دارد. فعلی و همکاران (Feli et al., 2018) در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار نسبت به استفاده از ورمی کمپوست و کود زیستی تاثیر بیشتری بر میزان سافرانال کلاله زعفران دارد.

عالی زاده و همکاران (Alizadeh et al., 2019) با استفاده هم زمان از کود دامی و کودهای زیستی (ازتوباکتر، سودوموناس آیروژینوس و باسیلوس سوبتیلیس) افزایش ۷۳، ۷۷ و ۸۳ درصدی میزان پیکروکروسین، سافرانال و کروسین در زعفران را ثبت نمودند. در مطالعه عسکری و همکاران، افزایش سن مزرعه باعث افزایش معنی دار میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال شد. در این مطالعه بیشترین میزان این ترکیبات در مزرعه سه ساله زعفران (در مقایسه با مزرعه یک ساله و دوساله) حاصل شد. بعلاوه استفاده از کودهای ارگانیک و همچنین کودهای شیمیایی در مقایسه با شاهد تاثیر قابل توجهی بر افزایش میزان آپوکروتونوئیدهای زعفران داشت. از طرفی کاربرد بالاترین میزان کود دامی توصیه شده در این آزمایش نسبت به سایر تیمارهای کودی (مصرف میزان متوسط و کم کود دامی و همچنین استفاده از کود شیمیایی) بیشترین تاثیر را بر افزایش متابولیت های ثانویه زعفران به همراه داشت (Askari et al., 2024).

حسنعلی نقدی بادی و همکاران ( Naghdi Badi et al., 2011) نیز استفاده از کودهای شیمیایی فسفره (فسفات آمونیوم) و همچنین تلفیق این کود با کود زیستی فسفره را در افزایش میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال مفید ارزیابی کردند. این محققین استفاده از کودهای زیستی فسفره مانند بارور ۱۲ را راهکاری برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی حاوی فسفر در راستای کشاورزی پایدار و کاهش آلودگی های زیستی معرفی نمودند.

همچنین مشخص شد که میزان کروسین و سافرانال کلاله زعفران همبستگی بالایی با میزان فسفر برگ زعفران دارد. در تایید این نتایج همبستگی مثبت و معنی داری بین میزان

پیکروکروسین و سافرانال همبستگی معنی داری وجود نداشت.

### قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد ۱۴۲۸۷۸ از محل اعتبارات پژوهشکده زعفران دانشگاه تربت حیدریه می باشد. نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند از همکاری و مساعدت جناب آقای دکتر سیدمحمدحسین سیدکاشی، جناب آقای مهندس جلال الدین صادقی، جناب آقای دکتر عباس خاشعی، جناب آقای دکتر روح الله مرادی، جناب آقای دکتر حسن فیضی، جناب آقای دکتر یاسر اسماعیلیان، جناب آقای دکتر مرتضی یعقوبی، جناب آقای رضا قلی زاده، سرکارخانم مهندس وحیده شریف و جناب آقای دکتر حسام آریان پور قدردانی نمایند.

کروسین و پیکروکروسین در سال دوم رویش زعفران در این مطالعه و میزان سافرانال در سال اول انجام آزمایش بیشتر بود. همچنین مشخص شد که کاهش فراهمی آب تأثیر معنی داری بر میزان هیچ یک از آپوکاروتنوئیدهای مورد بررسی در این مطالعه نداشته است.

در حالی که میزان کروسین و سافرانال تحت تأثیر اعمال تیمارهای کودی قرار نگرفت، در تیمارهایی که به دلیل اعمال کود شیمیایی در حد توصیه شده و یا ترکیب کودهای شیمیایی و زیستی فراهمی عناصر غذایی در آنها بالا رفته است، نسبت به تیمارهایی که به دلیل عدم استفاده از کود، استفاده از نصف میزان کود توصیه شده و یا اعمال کودهای زیستی به تنهایی فراهمی عناصر غذایی در آنها کمتر بود، میزان پیکروکروسین کاهش یافت. با این وجود در مجموع بین میزان عناصر برگ و بنه زعفران با میزان کروسین،

### منابع

- Alizadeh, M. B., Makarian, H., Ebadi Khazine Ghadim, A., Izadi-Darbandi, E., & Gholami, A. (2019). The effect of organic and biological fertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) at the climate of Ardabil region. *Saffron Agronomy and Technology*, 7(2), 227-244. doi: 10.22048/jsat.2018.109405.1274. [in Persian].
- Amini, S., Maleki Farahani, S., Sharghi, Y., & Zahedi, H. (2014). Influence of vermicompost and bacterium of *Bacillus* and *Pseudomonas* on growth, yield and morphological traits of saffron. *Journal of Applied Science and Agriculture*, 9(3), 933-941.
- Amirinejad, M., Akbari, G., Baghizadeh, A., Allahdadi, I., Shahbazi, M., & Naimi, M. (2015). Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. *Journal of Crops Improvement*, 17(4), 855-866. doi: 10.22059/jci.2015.55136. [in Persian].
- Araki, R., Takano, Y., Miyazaki, H., Ii, H., & An, P. (2022). Drought stress alters iron accumulation in *Sorghum bicolor* seeds. *Environmental and Experimental Botany*, 204, 105093. doi: https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105093.
- Askari, M., Behdani, M. A., Mollaei, H., Fallahi, H. R., Azarmi-Atajan, F., & Mokhtari Macinaei, H. (2024). Bioactive compounds and apoptotic effects of saffron (*Crocus sativus* L.) in different fertilizer conditions. *Biochemical Systematics and Ecology*, 114, 104806.
- Baba, S. A., & Ashraf, N. (2018). Apocarotenoids of *Crocus sativus* L.: From biosynthesis to pharmacology (M. Ebrahimi, Trans.). Mashhad: Marandiz Publication, in collaboration with ACECR of sothern Khorasan Province.
- Babaeian, M., Piri, I., Tavassoli, A., Esmaeilian, Y., & Gholami, H. (2011). Effect of water stress and micronutrients (Fe, Zn and Mn) on chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll content and sunflower nutrient uptake in Sistan region. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 3526-3531.
- Behdani, M. A., & Fallahi, H. R. (2015). Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches. Birjand: University of Birjand Press.
- Behdani, M. A., Jami Al-Ahmadi, M., & Fallahi, H. R. (2016). Biomass partitioning during the life cycle of saffron (*Crocus sativus* L.) using regression models. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 19(1), 71-76.

- Bekhradiyani Nasab, A., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M., & Sorooshzadeh, A. (2020). Effect of benzyl aminopurine, phosphate solubilizing bio-fertilizers and maternal corm weight on the qualitative indices of saffron (*Crocus sativus* L.) flowers and cormlets in Yasouj region. *Journal of Saffron Research*, 8(1), 99-113. doi: 10.22077/jsr.2019.2767.1112. [in Persian with English summary].
- Chaji, N., Khorassani, R., Astarai, A., & Lakzian, A. (2013). Effect of phosphorous and nitrogen on vegetative growth and production of daughter corms of saffron. *Journal of Saffron Research*, 1(1), 1-12. doi: 10.22077/jsr.2013.352. [in Persian with English summary].
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). *Methods of Analysis for Soils, Plants, and Waters*. California, USA: University of California, Division of Agricultural Sciences.
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osorio, M. L., & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field photosynthesis and growth? . *Annals of Botany*, 89, 907-916. doi: 10.1093/aob/mcf105.
- Ebrahimi, M., Pouyan, M., & Mahdi Nezhad, M. (2018). Effect of organic fertilizers and mother-corm size on flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus*) in the first year. *Journal of Saffron Research*, 7(1), 13-28. [in Persian].
- Ebrahimi, M., Pouyan, M., Kohansal Vajargah, S., Raghara, H., & Hoseini, S. (2017). *Trend analysis of three strategic products of saffron, barberry and jujube in Southern Khorasan using pearson correlation coefficient*. Paper presented at the Eighth National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamadan.
- Ebrahimi, M., Pouyan, M., Shahi, T., Fallahi, H.-R., Hoseini, S., Ragh Ara, H., & Branca, F. (2021). Effects of organic fertilisers and mother corm weight on yield, apocarotenoid concentration and accumulation of metal contaminants in saffron (*Crocus sativus* L.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 1-21. doi: 10.1080/01448765.2021.1987987.
- Esmaeilian, Y., Amiri, M. B., Tavassoli, A., Caballero-Calvo, A., & Rodrigo-Comino, J. (2022). Replacing chemical fertilizers with organic and biological ones in transition to organic farming systems in saffron (*Crocus sativus*) cultivation. *Chemosphere*, 307(1), 135537. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.135537.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185-212. doi: 10.1051/agro:2008021.
- Fateh, H., Karimpour, M., Weisany, W., Sohrabi, Y., Farahmandi, H., & Rahimzadeh, S. (2012). Effect of drought stress and application of zinc fertilizer on seed yield and some physiological characteristics of Williams soybean (*Glycine max* L.). *Plant and Ecosystem*, 8(2), 77-90.
- Feli, A., Maleki Farahani, S., & Besharati, H. (2018). The effect of urea fertilizer and different organic and bio-fertilizers on quantitative and qualitative yield and some soil properties in Saffron cultivation. *Journal of Crops Improvement*, 20(2), 345-356. doi: 10.22059/jci.2017.60472. [in Persian].
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., M. van Ruth, S., & Aghighi, S. (2019). The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different nutritional regimes. *Industrial Crops and Products*, 135, 301-310. doi: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.064 .
- Hajiboland, R. (2012). Effect of Micronutrient Deficiencies on Plants Stress Responses. In P. Ahmad & M. N. V. Prasad (Eds.), *Abiotic Stress Responses in Plants* (1 ed., pp. 283-329). New York, NY, USA: Springer.
- Hamada, A. M., & EL-enany, A. E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36, 75-81.
- Hassani, A., & Omid Beighi, R. (2002). Effects of water stress on some morphological, physiological and metabolically characteristics of basil (*Ocimum basilicum*). *Journal Of Agricultural Science*, 12(3), 47-59.
- HongBo, S., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stressinduced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 215-225. doi: 10.1016/j.crv.2008.01.002.
- Ibrahim, S. A., Desoky, E., & Elrys, A. s. (2017). Influencing of Water Stress and Micronutrients on Physio-Chemical Attributes, Yield and Anatomical Features of Common Bean Plants ( *Phaseolus vulgaris* L.). *Egyptian Journal of Agronomy*, 39(3), 251-265. doi: 10.21608/agro.2017.1214.1066.
- INSO. (2007). *Foods-Determination of Lead, Cadmium, Copper, Iron, and Zinc-Atomic absorption spectrophotometry*. Tehran. Iran: INSO press.
- INSO. (2010). *Food and feed products-Determination of nitrogen by the kejeldahl*

- method-General guidelines. Tehran. Iran: INSO press.
- INSO. (2013). *Saffron- Test Methods*. Tehran. Iran: INSO press.
- Jafar Dokht, R., Mosavi Nik, S. M., Mehraban, A., & Basiri, M. (2015). Effect Of Water Stress And Foliar Micronutrient Application On Physiological Cahracteristics And Nutrient Uptake In Mung Bean. *Electronic Journal Of Crop Production*, 8(1), 121-141. [in Persian with English summary].
- Kafi, M., Rashed Mohasel, M. H., Koocheki, A., & Mollafilabi, A. (2002). *Saffron, Production and Processing*. Iran: Zaban va Adab Press. [in Persian].
- Keshavarz, P., Zabali, H. R., & Esmi, R. (2019). *Guide to using fertilizer in saffron*. Iran: Agricultural Education Publication.
- Keykhamoghadam, P., Kamgar Haghighi, A., Sepaskhah, A., & Zand Parsa, S. (2013). Determination of Single and Dual Crop Coefficients and Potential Evapotranspiration of Developed Saffron. *Journal of Agricultural Meteorology*, 1(1), 1-13. [in Persian]. Kheiry, A., Parsa, H., Sani Khani, M., & Razavi, F. (2018). Effect of bio-fertilizers and nitrogen on quantitative and qualitative characteristics of tepals in saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, 6(3), 309-322. doi: 10.22048/jsat.2017.92549.1246. [in Persian].
- Kheradmand, M. A., Fahraji, S. S., Fatahi, E., & Raoofi, M. M. (2014). Effect of water stress on oil yield and some characteristics of Brassica napus. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 8(9), 1447-1453.
- Koochaki, A. R., Ebrahimian, E., & Seyyedi, S. M. (2016). How irrigation rounds and mother corm size control saffron yield, quality, daughter corms behavior and phosphorus uptake. *Scientia Horticulturae*, 213, 132-143.
- 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 Water and Soil*, 25(1), 196-206. doi: 10.22067/jsw.v0i0.8522. [in Persian with English summary].
- Koocheki, A., Seyyedi, S. M., Azizi, H., & Shahriyari, R. (2014). The effects of mother corm size, organic fertilizers and micronutrient foliar application on corm yield and phosphorus uptake of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 2(1), 3-16. doi:10.22048/jsat.2014.6182. [in Persian].
- Malakuti, M. G. (1996). *Resistant agriculture and yield increase with optimization use fertilizer in Iran*. Tehran: Instruction Agriculture Publication. [in Persian].
- Mir Heidari, S. H. (2012). *Herbalism: The use of plants in the prevention and treatment of diseases* (Vol. 6). Tehran: Islamic Culture Publishing Office.
- Naghdi Badi, H., Omidi, H., Golzad, A., Torabi, H., & Fotookian, M. H. (2011). Change in Crocin, Safranin and Picrocrocin Content and Agronomical Characters of Saffron (*Crocus sativus* L.) under Biological and Chemical of Phosphorous Fertilizers. *Journal of Medicinal Plants*, 10(40), 58-68. [in Persian].
- Omidi, H., Naghdi Badi, H., Golzad, A., Torabi, H., & Fotoukiyan, M. (2009). The effect of chemical and bio-fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 2(30), 98-109. [in Persian].
- Parsa, H., Azizollah Kheiry, A., Mohsen Sani Khani, M., & Farhang Razavi, F. (2017). The effect of nitrogen-fixing biofertilizers and urea on quantitative and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 6(1), 141-153. [in Persian].
- Rasouli, Z., Maleki Farahani, S., & Besharati, H. (2013). Some vegetative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by various fertilizers. *Iranian Journal of Soil Research*, 27(1), 35-46. [in Persian].
- Renau-Morata, B., Nebauer, S. G., Sánchez, M., & Molina, R. V. (2012). Effect of corm size: water stress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Industrial Crops and Products*, 39, 40-46. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.02.009.
- Rezaie, A., Feizi, R., & Moradi, H. (2019). Response of quantitative and qualitative characteristics of Saffron flower to the last irrigation cut-off time and various fertilizer resources. *Saffron Agronomy and Technology*, 7(1), 3-25. [in Persian].
- Sabet Teimouri, M., Kafi, M., Oorsaji, Z., & Orooji, K. (2010). Effect of drought stress, corm size and corm tunic on morphoecophysiological characteristics of saffron (*Crocus sativus* l.) in greenhouse conditions. *Agroecology*, 2(2), 323-334. [in Persian].
- Sabzevari, S., Khazaie, H. R., & Kafi, M. (2010). Study on the effects of humic acid on germination of four wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Iranian Field Crop Research*, 8(3), 473-480. doi: 10.22067/GSC.V8I3.7765. [in Persian].

- Saeidi Aboueshaghi, R., Omid, H., & Bostani, A. (2023). Assessment of changes in secondary metabolites and growth of saffron under organic fertilizers and drought. *Journal of Plant Nutrition*, 46(3), 386-400. doi: 10.1080/01904167.2022.2068439.
- Sodaeizadeh, H., & Mansouri, F. (2014). Effects of drought stress on dry matter accumulation, nutrient concentration and soluble carbohydrate of *Salvia macrosiphon* as a medicinal plant. *Journal of Arid Biome*, 4(1), 1-9. [in Persian with English summary].
- Statistics, A. (2020). The statistics of the Horticultural products (Vol. 2). Tehran: Ministry of Agriculture
- Yunca, H., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 541-549.
- Ziaei, S. M., Feizi, H., Khashei Siuki, A., & Sahabi, H. (2024). Effect of Mother Corm Priming on Physiological Characteristics and daughter Corms of Saffron (*Crocus sativus* L.) under Drought Stress Conditions. *Saffron Agronomy & Technology*, 12(1), 27-40. doi: 10.22048/jsat.2024.436406.1519. [in Persian].