Saffron Agronomy & Technology
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir
Vol. 13, No. 1, Spring 2025, p. 21-42

Evaluating the Effect of Bio-fertilizers Containing Element-fixing Bacteria on Saffron Production under Drought Stress Conditions

Mahdi Ebrahimi[1*], Mohsen Pouyan[2], Mohammad Ali Behdani[3], Sareh Hosseini[4], Tayebeh Shahi[5], Hossein Ragh Ara[6] and Hossein Sahabi[7,8]

Article type:
Research Article
Article history:
Submitted: 9 September 2024
Revised: 22 February 2025
Accepted: 2 June 2025
Available Online: 5 June 2025

How to cite this article:
Ebrahimi, M., Pouyan, M., Behdani, M.A., Hosseini, S., Shahi, T., Ragh Ara, H., Sahabi, H. 1404. Evaluating the Effect of Bio-fertilizers Containing Element-fixing Bacteria on Saffron Production under Drought Stress Conditions. Saffron Agronomy & Technology, 13(1), 21-42.

DOI: 10.22048/jsat.2025.477694.1541

Abstract

To evaluate the effect of bio-fertilizers containing element-fixing bacteria on saffron production under drought stress conditions, an experiment was carried out in split plots and a basic RCBD design in two consecutive years (2020-2021 and 2021-2022) at ACECR's research complex for medicinal plants. Experimental treatments included two levels of drought stress (50 and 100% of saffron water requirement) and six levels of fertilizer (control, 100%NPK, 50%NPK, 50%NPK+three biofertilizers, 50%NPK+four biofertilizers, three biofertilizers). Based on the results, the dry weight of the flower, the dry weight of the corolla and stamen, the number of flowers, and the weight of the daughter corms decreased in both years with increasing drought intensity. Also, drought stress in the second year had a more significant effect on reducing these traits. In both years, the use of biofertilizers containing bacteria, along with half of the recommended amount of chemical fertilizers containing nitrogen, phosphorus, and potash, led to the achievement of the highest dry weight of stigma, dry weight of flower, dry weight of corolla + stamen, and number of flowers per unit area. However, the complete removal of chemical fertilizers had an adverse effect on saffron yield. The increase in drought stress severity did not significantly impact the number of corms or the average weight of each corm; however, it did lead to a notable reduction in corm weight. The treatment combining biological and chemical fertilizers resulted in the highest corm weight per unit area, achieving a value nearly three times greater than that of the control treatment. These findings suggest that the concurrent application of biological and chemical fertilizers is advisable for fulfilling the nutritional requirements of saffron plants, promoting corm production while minimizing the reliance on chemical fertilizers. In summary, the results of this study indicate that biological fertilizers can effectively substitute a portion of the chemical fertilizers traditionally used in saffron cultivation, regardless of the presence or absence of drought stress.

Keywords: Correlation, Daughter corm, Evaporation pan, Field capacity, Stigma.

1-Assistant Professor, Department of Optimization of Production and Processing of South Khorasan's Indigenous Medicinal Plants, ACECR of Southern Khorasan Province, Birjand, Iran
2- MSc. of plant biology, Medicinal Plants Research Complex, ACECR of Southern Khorasan Province, Birjand, Iran.
3- Professor,Saffron Research Group, University of Birjand, Iran.
4- Ph.D. candidate of food industry, Department of Optimization of Production and Processing of South Khorasan's Indigenous Medicinal Plants, ACECR of Southern Khorasan Province, Birjand, Iran.
5- Ph.D. of food industry, Department of Optimization of Production and Processing of South Khorasan's Indigenous Medicinal Plants, ACECR of Southern Khorasan Province, Birjand, Iran.
6 - MSc. of agronomy, Department of Optimization of Production and Processing of South Khorasan's Indigenous Medicinal Plants, ACECR of Southern 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 email: ebrahimi@acecr.ac.ir

© 2022, University of Torbat Heydarieh. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License (CC BY NC 4.0)
(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴ ص. ۴۲-۲۱
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر کودهای زیستی حاوی باکتری های تثبیت کننده عناصر بر تولید زعفران در شرایط تنش خشکی

مهدی ابراهیمی[1*]، محسن پویان[2]، محمدعلی بهدانی[3]، ساره حسینی[4]، طیبه شاهی[5]، حسین راغ آرا[6] و حسین صحابی[7,8]

تاریخ دریافت: ۱۹ شهریور ۱۴۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴ اسفند ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش:۱۲ خرداد ۱۴۰۴

ابراهیمی، م.، پویان، م.، بهدانی، م.ع.، حسینی، س.، شاهی، ط.، راغ آرا، ح.، صحابی، ح. ۱۴۰۴. ارزیابی اثر کودهای زیستی حاوی باکتری های تثبیت کننده عناصر بر تولید زعفران در شرایط تنش خشکی، زراعت و فناوری زعفران، ۱۳(۱): ۴۲-۲۱.

چکیده

به منظور ارزیابی اثر کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت کننده عناصر بر تولید زعفران در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال متوالی (سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰) در مجتمع تحقیقات گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی واحد خراسان جنوبی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح تنش خشکی (۵۰ و ۱۰۰٪ نیاز آبی زعفران) و شش سطح کودی (شاهد، ۱۰۰٪ NPK ، ۵۰٪ NPK + ۳ کود زیستی، ۵۰٪ NPK + ۴ کود زیستی، ۳ کود زیستی) بود. بر اساس نتایج وزن خشک گل، وزن خشک جام گل+پرچم، تعداد گل و وزن بنه دختری در هر دو سال با افزایش شدت خشکی کاهش یافت. همچنین تنش خشکی در سال دوم نسبت به سال اول تأثیر بیشتری بر کاهش این صفات داشت. استفاده از تیمار سه کود زیستی حاوی باکتری به همراه نصف میزان توصیه شده از کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن، فسفر و پتاس (تیمار ۵۰٪ NPK + ۳ کود زیستی) در هر دو سال انجام آزمایش منجر به دستیابی به بالاترین میزان وزن خشک کلاله، وزن خشک گل، وزن خشک جام گل+ پرچم و تعداد گل شد. بااین‌وجود حذف کامل کودهای شیمیایی و اعمال کودهای زیستی به‌تنهایی (تیمار ۳ کود زیستی بدون استفاده از کودهای شیمیایی) تأثیر معنی داری بر بهبود عملکرد زعفران نداشت. افزایش شدت تنش خشکی تأثیر معنی داری بر تعداد بنه و میانگین وزن یک بنه نداشت، اما سبب کاهش معنی‌دار وزن بنه شد. بالاترین وزن بنه در واحد سطح در تیمار استفاده هم‌زمان از چهار کود زیستی به همراه نصف میزان توصیه شده از کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن، فسفر و پتاس (تیمار ۵۰٪ NPK + ۴ کود زیستی) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد تقریباً سه برابر بیشتر بود. این نتایج نشان می دهد که استفاده همزمان از کودهای زیستی و شیمیایی در تأمین نیازهای گیاه زعفران برای تولید تعداد بنه بیشتر و کاهش مصرف کودهای شیمیایی قابل توصیه است. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که جایگزینی کودهای زیستی بجای بخشی از کود شیمیایی مورداستفاده در مزارع زعفران هم در حضور یا عدم حضور تنش خشکی امکان‌پذیر است.

کلمات کلیدی: بنه دختری، تشتک تبخیر، ظرفیت زراعی، کلاله، همبستگی.

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.
(*–نویسندهٔ مسئول: ebrahimi@acecr.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2025.477694.1541

مقدمه

ایران با سطح کشت حدود ۱۱۱۶۵۴ هکتار و تولید ۳۰۱ تن زعفران در سال به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تولیدکنندگان زعفران در دنیا به‌حساب می‌آید. بااین‌وجود، میزان عملکرد زعفران با ۳ کیلوگرم در هکتار (کشت آبی) در ایران در مقایسه با سایر کشورهای تولیدکننده آن بسیار پایین است (Agricultural Statistics, 2024). به‌طورکلی، منابع غذایی بنه‌های مادری تعیین‌کننده رشد زعفران، بخصوص در مراحل ابتدایی رشد هستند، اما تحقیقات نشان داده است که علاوه بر وزن بنه مادری، تعادل در فراهمی مواد مغذی نیز یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد اقتصادی و رشد بنه‌های دختری در طی دوره رشد زعفران است (Koocheki et al., 2014). از طرفی نیز مشکلات موجود بر سر راه اصلاح زعفران (Kafi et al., 2002) باعث شده است تا عمده تلاش‌های صورت گرفته جهت تولید بنه‌های مرغوب در زعفران به انجام عملیات به زراعی صحیح محدود شود. لذا تغذیه مناسب گیاه زعفران به‌منظور دستیابی به عملکرد بالاتر و بنه‌های درشت و دارای ذخیره غذایی بیشتر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Hassanzadeh Aval et al., 2014). علیرغم تأثیر کودهای شیمیایی در تأمین نیازهای غذایی زعفران، به دلیل اثرات مخرب زیست‌محیطی که مصرف این دسته از کودها دارند، کودهای زیستی به‌عنوان جایگزینی مناسب برای آن‌ها مطرح شده‌اند. سطح مواد آلی خاک‌های زراعی کشور عمدتاً کمتر از یک درصد است که این امر عمدتاً به علت مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، بخصوص کودهای نیتروژن دار و عدم استفاده از کودهای آلی بوده است (Malakuti, 1996). این موضوع علاوه بر کاهش عملکرد محصولات کشاورزی منجر به بحران آلودگی‌های زیست‌محیطی و به‌ویژه منابع آب‌وخاک شده است که طی زنجیره غذایی به منابع غذایی انسان راه یافته و تهدیدی برای جامعه بشری به‌حساب می‌آید (Omidi et al., 2009). استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی پایدار به دلیل افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود رشد گیاهان و عدم ایجاد مشکلات زیست‌محیطی بسیار مورد استقبال قرار گرفته است (Sabzevari et al., 2010). کودهای زیستی در بردارنده ریزموجوداتی از قبیل باکتری ها، قارچ‌ها، اکتینومایست‌ها یا متابولیت‌های حاصل از فعالیت آنها بوده و با ایجاد کلونی‌هایی در بخش های داخلی گیاه و یا محیط پیرامون ریشه باعث تحریک رشد گیاه می‌شوند. لذا استفاده از کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت کننده عناصر غذایی از جمله روش های کاهش وابستگی خاک-های کشاورزی به کودهای شیمیایی است و در بررسی‌های صورت گرفته مشخص شده است که کاربرد این کودها در بسیاری از موارد منجر به افزایش عملکرد زعفران شده است (Kheiry et al., 2018).

کمبود آب بزرگ‌ترین چالش در تولید محصولات زراعی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Munns, 2002). حدود ۳۵٪ از سطح کره زمین متأثر از تنش خشکی است و ازآنجاکه کشور ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۵۰ میلی‌متر به‌عنوان منطقه خشک و نیمه‌خشک طبق بندی می‌گردد، وقوع تنش خشکی در دوره رشد محصولات کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است که این موضوع شناسایی گیاهان دارویی دارای ارزش دارویی و اقتصادی را که به تنش خشکی نیز متحمل هستند، حائز اهمیت می‌کند (Hassani & Omid Beighi, 2002). تنش‌های محیطی منجر به بروز طیف وسیعی از واکنش‌های گیاهی می‌شود که می‌تواند از تغییر در بیان ژن و متابولیسم سلولی تا تغییرات سرعت رشد و تولید گیاه متغیر باشد. در بین تنش‌های غیرزنده، خشکی، شوری، دما و تجمع فلزات سنگین ازجمله مهم‌ترین تنش‌های محیطی‌اند که تأثیرات نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان دارند (Maheswari et al., 2012). تنش خشکی درواقع سطح متوسطی از فقدان آبی در

نظر گرفته می‌شود که به بسته شدن روزنه‌ها و محدودیت تبادلات گازی منجر می‌شود. تنش خشکی با کاهش محتوی آب، نقصان پتانسیل و تورژسانس آب برگ، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش طویل شدن و توسعه سلولی مشخص می‌شود. اغلب سناریوهایی که به تغییرات آب‌وهوایی کره زمین پرداخته‌اند، افزایش وسعت مناطق خشک جهان و به دنبال آن وقوع تنش خشکی در کشت گیاهان زراعی را پیش‌بینی کرده‌اند. لذا در مباحث تغییرات آب‌وهوایی، تنش خشکی به‌عنوان مشکلی جدی در نظر گرفته می‌شود که بیشترین تأثیر را در کاهش رشد گیاهان و تولید اکوسیستم‌های خاکی در بسیاری از مناطق جهان، بخصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد (IPCC, 2007). از طرفی با توجه به حرکت جهان به سمت تولید زیست توده به‌عنوان منبع مهم انرژی و دیگر محصولات تجدید پذیر، نیاز به آب به میزان بسیار بیشتری ازآنچه تاکنون بوده است، افزایش خواهد یافت. به‌علاوه استفاده کافی از آب برای پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی جهان نیز بسیار ضروری است. در حال حاضر، خشکی نه‌تنها در مناطق خشک و نیمه‌خشک یک عامل محدودکننده به شمار می‌آید، بلکه به‌طور فزاینده‌ای مناطق معتدله را نیز که هرچند وقت یک‌بار در معرض خشکی شدید قرار می‌گیرد، تحت تأثیر قرار می‌دهد (Battisti & Naylor, 2009). تنش خشکی شدید ممکن است باعث توقف فتوسنتز، برهم خوردن متابولیسم و نهایتاً مرگ گیاه شود (HongBo et al., 2008). تنش خشکی طویل شدن سلولی را بیشتر از تقسیم سلولی محدود می‌کند. در واقع تنش خشکی با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی مانند فتوسنتز، تنفس، انتقال مواد، جذب یون‌ها، متابولیسم مواد مغذی و پیش‌برنده‌های رشد[1]، رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Farooq et al., 2009). واکنش گیاهان به تنش خشکی بر اساس شدت و مدت تنش و نیز گونه و مرحله رشد گیاه متفاوت است (Chaves et al., 2002). از این رو بررسی واکنش زعفران به تنش خشکی و همچنین اثر متقابل آن بر تغذیه گیاه با منابع کودی مختلف می تواند به روشن شدن این اثرات بر عملکرد زعفران کمک شایانی نماید.

لذا امکان جایگزینی کودهای زیستی مورد مطالعه در این پژوهش با کودهای شیمیایی رایج در کشت زعفران و بررسی آن در شرایط محدودیت منابع آبی می‌تواند علاوه بر کمک به حفظ زیست‌بوم‌های کشاورزی، در افزایش تولید محصول زعفران نیز تأثیر بسزایی داشته باشد.

مواد و روش‌ها

این طرح به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) با دو فاکتور تنش خشکی در کرت‌های اصلی و تیمارهای کودی در کرت‌های فرعی و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ و ۱۴۰۱- ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی زعفران، مجتمع تحقیقات گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی واحد خراسان جنوبی (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. فاصله بین دو کرت مجاور در هر تکرار برابر ۱ متر و فاصله بلوک‌ها از هم نیز ۳ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های مجاور به‌منظور جلوگیری از تداخل آب بین کرت‌ها با خاک کاملاً پر شده بود. در این مطالعه از روش آبیاری کرتی استفاده شد و انتقال آب به کرت‌های زعفران با استفاده از لوله‌های انتقال آب انجام گرفت. در محل انشعاب آب متعلق به هر کرت نیز یک شیر آب نصب گردید. با استفاده از این سیستم آبیاری علاوه بر توزیع

1- growth promotors

یکنواخت‌تر آب در سطح کرت، از شستشوی خاک کرت‌ها نیز حتی‌الامکان جلوگیری شد.

اقدامات سال اول

بمنظور اعمال تیمارهای تنش خشکی در زمان اولین آبیاری (۷ آبان ۱۳۹۹)، 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).

جدول ۱- رطوبت مورد نیاز خاک برای هر یک از سطوح تنش خشکی بر مبنای میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی (وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/٤ گرم بر سانتی‌متر مکعب لحاظ شده است).

Table 1- Soil moisture requirements for each level of drought stress based on soil moisture at field capacity (soil bulk density is considered 1.4 g.cm^{-3}).

متغیر Parameter	ظرفیت زراعی Field capacity	۵۰٪ ظرفیت زراعی 50% of field capacity
رطوبت خاک Soil moisture (%)	20	10
میزان آب در هر هکتار Water amount per hectare (m^3)	840	420
میزان آب در هر کرت ۶ متری Water amount per 6-meter plot (L)	500	250

اما در آبیاری‌های بعدی و بمنظور تامین آب مورد نیاز گیاه، میزان تبخیر و تعرق گیاه زعفران بر اساس معادله ۱ محاسبه گردید (Keykhamoghadam et al., 2013).

$$Et_c=Et_0*K_c \quad (۱)$$

در این معادله Et_c تبخیر-تعرق بالقوه گیاه زعفران، Et_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع و K_c نیز ضریب گیاه 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 نیز از معادله ۲ استفاده شد (Azizi-Zohan et al., 2008).

$$Et_0=K_{pan}*E_{pan} \quad (۲)$$

در این معادله Et_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن)، K_{pan} ضریب تشتک (معادل ۰/۷) و E_{pan} نیز میزان تبخیر از تشتک می باشد.

محاسبه میزان آب مورد نیاز زعفران (Et_c) در هر بار آبیاری بر اساس K_c متناظر با مرحله رشد گیاه انجام گرفت. با توجه به اینکه مزرعه زودتر از زمان پیش بینی شده و در فروردین ماه خشک شد، عملاً آخرین آبیاری یا همان زردآب (۲۶ اسفند ۹۹) در پایان زمان پیش‌بینی شده برای مرحله میانی رشد زعفران (روز ۱۴۰) و بر اساس K_c مربوط به این زمان صورت گرفت. با استفاده از معادله ۱ میزان آب مورد نیاز گیاه در زمان هر آبیاری که در فواصل زمانی حدودا ۳۰ روزه انجام گرفت، محاسبه گردید. 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 به کرت‌های آزمایشی داده شد. اطلاعات مربوط به میزان آب مورد استفاده در هر مرحله از آبیاری کرت‌های آزمایشی در جدول ۲ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج آنالیز خاک، میزان نیتروژن کل ۰/۰۱۳ درصد، میزان فسفر قابل جذب ۴/۴ پی‌پی‌ام و میزان پتاسیم قابل جذب نیز ۱۶۸ پی‌پی‌ام بود. برای تامین عناصر نیتروژن، فسفر و پتاس

بر اساس آنالیز خاک از کودهای شیمیایی اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم استفاده شد.

جدول ۲- اطلاعات مربوط به آبیاری تیمارهای آزمایشی در سال اول

Table 2- Information related to irrigation treatments in the first year

سال	نوبت آبیاری	تاریخ آبیاری	تعداد روز بعد از اولین آبیاری	ضریب گیاهی	تبخیر-تعرق گیاه مرجع	تبخیر-تعرق زعفران Etc	آب مصرفی در هر کرت (تیمار ۵۰٪ نیاز آبی)	آب مصرفی در هر کرت (تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی)
Year	Irrigation round	Irrigation date	Days after the first irrigation	Plant coefficient (Kc)	Reference crop evapotranspiration (Et0)	Saffron crop evapotranspiration (Etc)	Water consumption per round (50% Water requirement treatment)	Water consumption per round (100% water requirement treatment)
-	-	-	day	-	mm	mm	L	L
سال دوم Second year	آبیاری اول (خاک آب) First irrigation (soil water)	2020/10/28	0	–	–	–	–	–
	آبیاری دوم Second irrigation	2020/12/18	48	0.49	178.69	87.5581	315.209	630.418
	آبیاری سوم Third irrigation	2021/01/19	80	0.49	74.70	36.603	131.771	263.542
	آبیاری چهارم Fourth irrigation	2021/02/18	110	1.25	119.70	149.625	538.65	1077.3
	آبیاری پنجم Fifth irrigation	20121/03/16	136	1.25	119.49	149.3625	537.705	1075.41

جهت تأمین 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 (F_3، F_4 و F_5) 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 کرت‌ها مقدار مورد نیاز در هر کرت آزمایشی محاسبه گردید (Keshavarz et al., 2019). ترکیبات زیستی حاوی باکتری‌های حل کننده عناصر غذایی نیز بر اساس میزان توصیه شده توسط شرکت فرموله کننده این ترکیبات و بر اساس جدول ۳ انجام گرفت. کودهایی که برای این منظور مورد استفاده قرار گرفت شامل ازتوبارور ۱ حاوی باکتری *Pantoea agglomerans* strain O_4 (تثبیت کننده نیتروژن)، فسفاته بارور ۲ حاوی باکتری *Pseudomonas putida* strain P_{13} و *Pantoea agglomerans* strain P_5 (حل کننده فسفات)، پتابارور ۲ حاوی باکتری *Pseudomonas koreensis* strain S_{14} و *Pseudomonas vancouverensis* strain S_{19} (حل کننده پتاسیم) و فروزینک بارور حاوی باکتری *strain* FZ.29-1 و *Pseudomonas japonica* strain FZ.21-1 (حل کننده روی و تولید کننده سیدروفور) بودند.

کودهای شیمیایی بلافاصله قبل از اولین آبیاری (خاک آب) بر روی سطح خاک پخش و با لایه سطحی خاک مخلوط شدند. پس از این مرحله زمین آبیاری گردید و چند روز بعد به منظور سهولت در سبز شدن زعفران، خاک لایه‌های سطحی زمین در فرآیند سله شکنی توسط چهارشاخ شکسته شد که این فرایند منجر به اختلاط بیشتر کودهای شیمیایی با لایه‌های خاک نیز 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. برای این منظور غلظت مورد نیاز از هر کود زیستی نیز برای هر کرت محاسبه و پس از حل کردن در ۱۰ لیتر آب بوسیله آبپاش در سطح هر کرت توزیع شد. توزیع این میزان آب در سطح هر کرت ۶ متری منجر به پوشش کامل سطح خاک شد.

جدول ۳- اطلاعات مربوط به نحوه اعمال تیمارهای کودی

Table 3- Information related to the application of fertilizer treatments

عنوان اختصاری Abbreviation	معرفی تیمار Treatment description
F_1	شاهد (عدم استفاده از هر نوع ماده مغذی) Control (No use of any nutrient material)
F_2	۱۰۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم) 100% of required NPK (Urea, triple superphosphate, potassium sulfate)
F_3	۵۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم) 50% of required NPK (Urea, triple superphosphate, potassium sulfate)
F_4	۵۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم) باکتری *Pantoea agglomerans* strain O_4 (تثبیت کننده نیتروژن) باکتری *Pseudomonas putida* strain P_{13} و *Pantoea agglomerans* strain P_5 (حل کننده فسفات) باکتری *Pseudomonas koreensis* strain S_{14} و *Pseudomonas vancouverensis* strain S_{19} (حل کننده پتاسیم) 50% of required NPK (Urea, triple superphosphate, potassium sulfate) Bacteria strain O_4 *Pantoea agglomerans* (Nitrogen fixer) Bacteria *Pseudomonas putida* strain P_{13} and *Pantoea agglomerans* strain P_5 (Phosphate solubilizer) Bacteria *Pseudomonas koreensis* strain S_{14} and *Pseudomonas vancouverensis* strain S_{19} (Potassium solubilizer)
F_5	۵۰٪ NPK مورد نیاز (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم) باکتری *Pantoea agglomerans* strain O_4 (تثبیت کننده نیتروژن) باکتری *Pseudomonas putida* strain P_{13} و *Pantoea agglomerans* strain P_5 (حل کننده فسفات) باکتری *Pseudomonas koreensis* strain S_{14} و *Pseudomonas vancouverensis* strain S_{19} (حل کننده پتاسیم) باکتری *Pseudomonas japonica* strain FZ.21-1 و *strain* FZ.29-1 (حل کننده روی و تولید کننده سیدروفور) 50% of required NPK (Urea, triple superphosphate, potassium sulfate) Bacteria strain O_4 *Pantoea agglomerans* (Nitrogen fixer) Bacteria *Pseudomonas putida* strain P_{13} and *Pantoea agglomerans* strain P_5 (Phosphate solubilizer) Bacteria *Pseudomonas koreensis* strain S_{14} and *Pseudomonas vancouverensis* strain S19 (Potassium solubilizer) Bacteria *Pseudomonas japonica* strain FZ.29-1 and strain FZ.21-1 (Iron solubilizer and siderophore producer)
F_6	باکتری *Pantoea agglomerans* strain O_4 (تثبیت کننده نیتروژن) باکتری *Pseudomonas putida* strain P_{13} و *Pantoea agglomerans* strain P_5 (حل کننده فسفات) باکتری *Pseudomonas koreensis* strain S_{14} و *Pseudomonas vancouverensis* strain S_{19} (حل کننده پتاسیم) 50% of required NPK (Urea, triple superphosphate, potassium sulfate) Bacteria strain O_4 *Pantoea agglomerans* (Nitrogen fixer) Bacteria *Pseudomonas putida* strain P_{13} and *Pantoea agglomerans* strain P_5 (Phosphate solubilizer) Bacteria *Pseudomonas koreensis* strain S_{14} and *Pseudomonas vancouverensis* strain S_{19} (Potassium solubilizer)

جمع‌آوری گل‌های 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. گل‌ها به‌صورت روزانه از کرت‌های آزمایشی جمع‌آوری و پس از شمارش، بخش اقتصادی گل‌ها

(کلاله و خامه) از آن جدا و سپس کلاله، خامه و گل ها در محل مناسب و به دور از نور خشک شدند و در ظروف شیشه‌ای در یخچال نگهداری شدند. در پایان فصل گلدهی وزن گل، وزن کلاله و وزن کرولا+پرچم به‌دست‌آمده از هر کرت آزمایشی برحسب گرم در مترمربع و تعداد گل نیز در واحد سطح محاسبه گردید.

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 فن‌دار منتقل و در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد بمدت ۴۸ ساعت کاملاً خشک شدند.

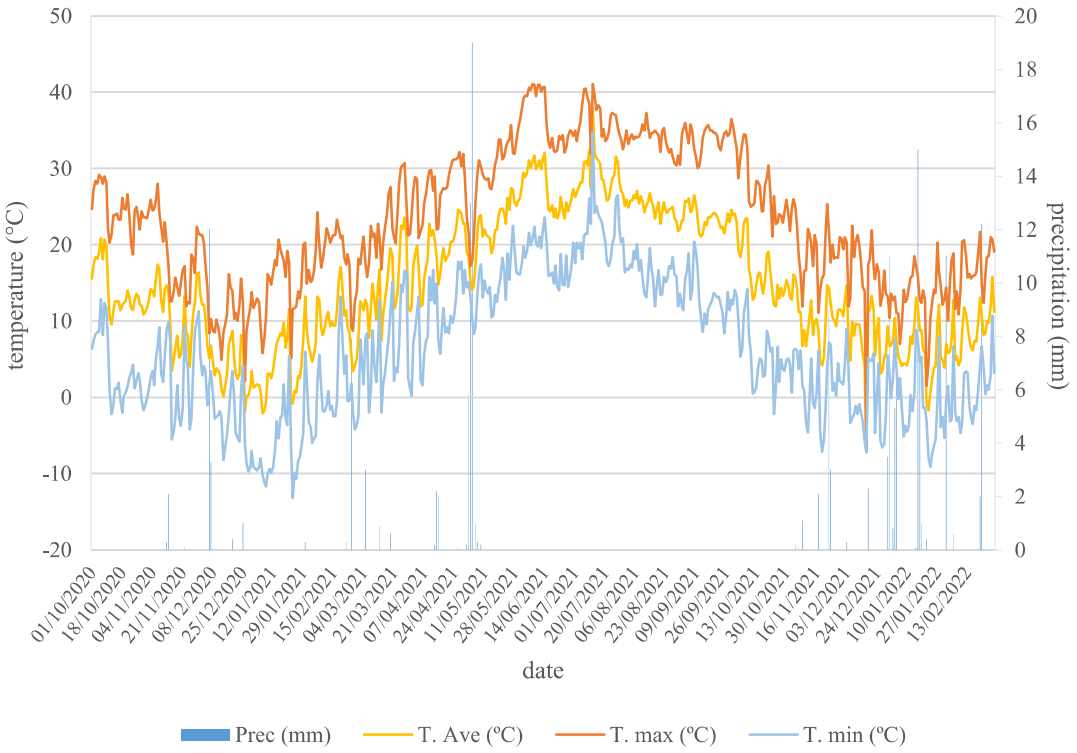
اقدامات سال دوم

با توجه به اینکه هدف از اجرای طرح در سال دوم، تأیید صحت اطلاعات بدست آمده در این مطالعه بوده است، عمده اقدامات صورت گرفته مشابه و منطبق با سال اول بود. در دومین سال اجرای آزمایش نیز به‌منظور اعمال تیمارهای تنش خشکی 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 آبیاری‌های بعدی و بمنظور تامین آب مورد نیاز گیاه، میزان تبخیر و تعرق گیاه زعفران همانند سال اول و بر اساس توضیحات مربوط به معادله ۱ محاسبه گردید.

جدول ٤- اطلاعات مربوط به آبیاری تیمارهای آزمایشی در سال دوم

Table 4- Information related to irrigation treatments in the second year

سال Year	نوبت آبیاری Irrigation round	تاریخ آبیاری Irrigation date	تعداد روز بعد از اولین آبیاری Days after the first irrigation	ضریب گیاهی Plant coefficient (Kc)	تبخیر-تعرق گیاه مرجع Reference crop evapotranspiration (Et0)	تبخیر-تعرق زعفران Etc Saffron crop evapotranspiration (Etc)	آب مصرفی در هر کرت (تیمار ۵۰٪ نیاز آبی) Water consumption per round (50% water requirement treatment)	آب مصرفی در هر کرت (تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی) Water consumption per round (100% water requirement treatment)
-	-	-	day	-	mm	mm	L	L
سال دوم Second year	آبیاری اول (خاک آب) First irrigation (Soil water)	2021/10/29	۰	–	–	–	–	–
	آبیاری دوم Second irrigation	2021/12/19	48	0.49	182.59	89.4691	322.089	644.178
	آبیاری سوم Third irrigation	2022/01/20	80	0.49	71.05	34.8145	125.332	250.664
	آبیاری چهارم Fourth irrigation	2022/02/19	110	1.25	104.98	131.225	472.41	944.82
	آبیاری پنجم Fifth irrigation	2022/03/17	136	1.25	186.88	233.6	840.96	1681.92



شکل ۱- دمای حداکثر روزانه، دمای حداقل روزانه، دمای متوسط روزانه و میزان بارندگی روزانه در طول دوره انجام آزمایش
Figure 1- Daily maximum temperature, daily minimum temperature, daily average temperature, and daily precipitation during the experimental period.

با توجه به اینکه در دومین سال اجرای آزمایش نیز مشابه سال اول، علائم زردی برگ‌ها و اتمام دوره رشد رویشی زعفران زودتر از زمان مورد انتظار اتفاق افتاد، آخرین آبیاری در ۲۶ اسفند ۱۴۰۰ (روز ۱۴۰) و بر اساس K_c مربوط به این زمان صورت گرفت. با استفاده از معادله ۱ میزان آب مورد نیاز گیاه در زمان هر آبیاری که در فواصل زمانی حدودا ۳۰ روزه انجام گرفت، محاسبه گردید. 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 به کرت‌های آزمایشی در هر مرحله از آبیاری کرت‌های آزمایشی در جدول ۴ نشان داده شده است.

اطلاعات مربوط به دمای دمای حداکثر روزلنه، دمای حداقل روزانه، دمای متوسط روزانه و میزان بارندگی روزانه در طول دوره انجام آزمایش در شکل ۱ نمایش داده شده است.

اعمال تیمارهای کودی حاوی سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاس با استفاده از کودهای شیمیایی اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم نیز بر اساس اطلاعات مربوط به آنالیز خاک در زمان شروع آزمایش (سال اول) و به همان میزان سال اول انجام گرفت. ترکیبات زیستی حاوی باکتری های حل کننده عناصر غذایی نیز بر اساس میزان توصیه شده توسط شرکت فرموله کننده این ترکیبات و بر اساس جدول شماره ۳ مورد استفاده قرار گرفتند. بر این اساس میزان کود مورد استفاده در هر کرت آزمایشی در سال دوم دقیقاً مشابه سال اول انجام آزمایش در نظر گرفته شد. همانند سال اول کودهای شیمیایی بلافاصله قبل از اولین آبیاری (خاک آب) بر روی سطح خاک پخش و با لایه سطحی خاک مخلوط شدند. پس از این مرحله زمین آبیاری

گردید و چند روز بعد به منظور سهولت در سبز شدن زعفران، خاک لایه های سطحی زمین در فرآیند سله شکنی توسط چهار شاخ شکسته شد که این فرایند منجر به اختلاط بیشتر کودهای شیمیایی با لایه های خاک نیز گردید (همانند سال اول کود اوره طی دو مرحله و همزمان با آبیاری اول و سوم مورد استفاده قرار گرفت). اعمال تیمارهای مربوط به کودهای زیستی نیز مانند سال اول طی ۳ مرحله و همزمان با آبیاری اول، سوم و پنجم انجام گرفت.

در سال دوم 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 پس از شمارش، بخش اقتصادی گل‌ها (کلاله و خامه) از آن جدا و سپس کلاله و خامه و گل‌ها در محل مناسب و به دور از نور خشک شدند و در ظروف شیشه‌ای در یخچال نگهداری شدند. در پایان فصل گلدهی وزن‌گل، وزن کلاله و وزن کرولا+پرچم به‌دست‌آمده از هر کرت آزمایشی برحسب گرم در مترمربع و تعداد گل نیز در واحد سطح محاسبه گردید.

داده های حاصل از سال اول و دوم آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین صفات مورد آزمایش بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین از نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ برای ترسیم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات وزن خشک کلاله، وزن خشک گل، وزن خشک جام گل (کرولا) + پرچم، تعداد گل، وزن بنه، میانگین وزن بنه و تعداد بنه در جدول ۵ و مقایسه میانگین این صفات در جدول ۶ گزارش شده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس (ANOVA) صفات مورد مطالعه زعفران

Table 5- Analysis of variance of the studied traits of saffron

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)							
		وزن خشک کلاله Stigma dry weight		وزن خشک گل Flower dry weight		وزن خشک جام‌گل+ پرچم Corolla+stamen dry weight		تعداد گل Number of flowers	
		FGS	SGS	FGS	SGS	FGS	SGS	FGS	SGS
بلوک Block	2	0.1352 *	0.3344 ns	10.83 **	29.17 *	8.69 **	23.31 **	6867.82 **	11996.44 **
تنش خشکی Drought stress (S)	1	0.0544 ns	10.6711 **	6.08 *	730.80 **	4.76 *	564.85 **	3767.91 *	290161.77 **
خطای پلات اصلی Main-plot error	2	0.0469	1.4411	0.77	102.09	0.42	79.27	343.52	40711.11
کود Fertilizer (F)	5	0.5784 **	1.0011 **	28.24 **	108.54 **	21.01 **	88.97 **	16244.92 **	45630.57 **
اثر متقابل S*F	5	0.0744 ns	0.0204 ns	1.67 ns	0.62 ns	0.98 ns	0.51 ns	795.59 ns	267.37 ns
خطای پلات فرعی Sub-plot error	20	0.0294	0.1197	1.30	5.09	1.02	3.76	779.38	1931.37
ضریب تغییرات C.V. (%)		13.97	29.80	13.91	21.27	14.35	20.52	14.39	20.51

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

FGS: سال اول رشد، SGS: سال دوم رشد.

In each column, *, ** and ns, indicates significant difference at 5%, 1% and non-significant, respectively.
FGS: first growing season, SGS: second growing season.

جدول ۵ (ادامه)- تجزیه واریانس (ANOVA) صفات مورد مطالعه زعفران

Table 5 (Continued)- Analysis of variance of the studied traits of saffron

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)		
		وزن بنه Corm weight	میانگین وزن یک بنه Average weight of one corm	تعداد بنه Number of corms
بلوک Block	2	463951.5 **	0.3170 ns	78855.11 *
تنش خشکی Drought stress (S)	1	458780.4 *	0.2412 ns	27335.23 ns
خطای پلات اصلی Main-plot error	2	238891.1	0.0581	32732.47
کود Fertilizer (F)	5	1724482.9 **	0.3835	171548.44 **
اثر متقابل S*F	5	20341.5 ns	0.2368	12743.10 ns
خطای پلات فرعی Sub-plot error	20	74714.4	0.2381	19185.77
ضریب تغییرات C.V. (%)		19.27	18.88	25.13

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

FGS: سال اول رشد، SGS: سال دوم رشد.

In each column, *, ** and ns, indicates significant difference at 5%, 1% and non-significant, respectively.
FGS: first growing season, SGS: second growing season.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و تغذیه بر صفات مرتبط با عملکرد زعفران

Table 6- Mean comparisons of the effect of water stress and yield-related traits of saffron

تیمار Treatment	وزن خشک کلاله Stigma dry weight		وزن خشک گل Flower dry weight		وزن خشک جام‌گل+ پرچم Corolla+stamen dry weight		تعداد گل Number of flowers	
	FGS	SGS	FGS	SGS	FGS	SGS	FGS	SGS
	$g.m^{-2}$		$g.m^{-2}$		$g.m^{-2}$		$no.m^{-2}$	
S_1 ۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% of water requirement	1.26	1.70	8.61	15.11	7.33	13.41	204.10	304.00
S_2 ۵۰ درصد نیاز آبی 50% of water requirement	1.18	0.61	7.79	6.17	6.61	5.48	183.64	124.44
LSD at 5% level of significance	0.11	0.24	0.79	1.56	0.69	1.34	19.41	30.55
F_1 شاهد (عدم استفاده از هر نوع ماده مغذی) Control (no use of any nutrient material)	0.80	0.60	5.18	5.16	4.38	4.58	121.55	104.05
F_2 ٪۱۰۰ NPK مورد نیاز 100% of required NPK	1.45	1.60	10.12	14.43	8.55	12.81	237.48	290.67
F_3 ٪۵۰ NPK مورد نیاز 50% of required NPK	1.18	0.95	7.85	9.18	6.65	8.23	185.18	186.56
F_4 ٪۵۰ NPK مورد نیاز و ۳ کود زیستی 50% of required NPK and 3 biofertilizers	1.36	1.28	8.85	11.26	7.46	10.19	207.50	226.64
F_5 ٪۵۰ NPK مورد نیاز و ۴ کود زیستی 50% of required NPK and 4 biofertilizers	1.61	1.61	10.93	16.31	9.35	14.71	259.90	333.27
F_6 کود زیستی Biofertilizers	0.95	0.91	6.41	7.26	5.48	6.35	151.63	144.05
LSD at 5% level of significance	0.20	0.41	1.37	2.71	1.20	2.33	33.62	52.92

جدول ٦ (ادامه)- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و تغذیه بر صفات مرتبط با عملکرد زعفران

Table 6 (Continued)- Mean comparisons of the effect of water stress and yield-related traits of saffron

تیمار Treatment	وزن بنه Corm weight	میانگین وزن یک بنه Average weight of one corm	تعداد بنه Number of corms
	$g.m^{-2}$	g	$no.m^{-2}$
S_1			
۱۰۰ درصد نیاز آبی	1531.02	2.6663	578.67
100% of water requirement			
S_2			
۵۰ درصد نیاز آبی	1305.24	2.5026	523.56
50% of water requirement			
LSD at 5% level of significance	190.06	0.3393	96.31
F_1			
شاهد (عدم استفاده از هر نوع ماده مغذی)	739.7	2.5932	288.12
Control (No use of any nutrient material)			
F_2			
۱۰۰٪ NPK مورد نیاز	1784.3	2.8899	629.38
100% of required NPK			
F_3			
۵۰٪ NPK مورد نیاز	1120.8	2.3751	480.00
50% of required NPK			
F_4			
۵۰٪ NPK مورد نیاز و ۳ کود زیستی	1561.3	2.5391	637.58
50% of required NPK and 3 biofertilizers			
F_5			
۵۰٪ NPK مورد نیاز و ۴ کود زیستی	2210.4	2.8535	778.67
50% of required NPK and 4 biofertilizers			
F_6			
کود زیستی	1092.3	2.2558	493.25
Biofertilizers			
LSD at 5% level of significance	329.19	0.5877	166.82

وزن خشک کلاله، وزن خشک گل، وزن خشک جام گل+پرچم، تعداد گل

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تأثیر تنش خشکی و تغذیه بر صفات مورد نشان داد علیرغم اینکه تیمار تنش خشکی تنها در سال دوم انجام آزمایش تأثیر معنی داری روی وزن خشک کلاله داشت؛ اما وزن خشک گل، وزن خشک جام گل+پرچم و تعداد گل در هر دوسال انجام آزمایش با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۵ و ۶). از طرفی تنش خشکی در سال دوم نسبت به سال اول تأثیر بیشتری بر کاهش این صفات داشت، بطوریکه در سال دوم وزن خشک کلاله در تیمار بدون تنش (۱۰۰٪ نیاز آبی) نسبت به تیمار تنش خشکی (۵۰٪ نیاز آبی) ۲/۷۸ برابر بیشتر بود. این نسبت در صفات وزن خشک گل، وزن خشک جام گل+پرچم و تعداد گل نیز نزدیک به ۲/۵ برابر بود. از طرف دیگر در تیمار بدون تنش و در خصوص هر چهار صفت اندازه‌گیری شده، مقدار بدست آمده در سال دوم بیشتر از سال اول بود. این در حالی است که برعکس شرایط بدون تنش، در تیمار تنش خشکی مقدار بدست آمده برای این صفات در سال دوم کمتر از سال اول بود. این نتایج نشان می‌دهد که تنش خشکی با ایجاد محدودیت‌های رشدی اجازه نداده است تا زعفران از شرایط محیطی برای بهبود عملکرد نسبت به سال گذشته استفاده نماید.

سعیدی ابواسحاقی و همکاران (Saeidi Aboueshaghi et al., 2023) نیز کاهش عملکرد زعفران بر اثر اعمال تنش خشکی (تخلیه ۶۶٪ رطوبت خاک در مقایسه با ظرفیت زراعی)

را گزارش دادند. در مطالعه این محققین کاهش محتوای کلروفیل، کاهش محتوای نسبی رطوبت برگ (RWC) و از طرفی افزایش میزان پرولین و قندهای محلول نیز مشاهده شد.

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه

Table 7- Correlation coefficients of the studied traits

صفات Traits	وزن خشک کلاله Stigma dry weight	وزن خشک گل Flower dry weight	وزن خشک جام گل + پرچم Corolla+stamen dry weight	تعداد گل Number of flowers	وزن بنه Corm weight	میانگین وزن یک بنه Average weight of one corm	تعداد بنه Number of corms
وزن خشک کلاله Stigma dry weight	1						
وزن خشک گل Flower dry weight	0.97**	1					
وزن خشک جام گل + پرچم Corolla+stamen dry weight	0.96**	0.99**	1				
تعداد گل Number of flowers	0.96**	0.99**	0.99**	1			
وزن بنه Corm weight	0.55**	0.63**	0.64**	0.64**	1		
میانگین وزن یک بنه Average weight of one corm	0.25 ns	0.34*	0.65*	0.35*	0.43**	1	
تعداد بنه Number of corms	0.47**	0.51**	0.51**	0.51**	0.86**	-0.05 ns	1

ns، * و ** به ترتیب، غیر معنی دار و معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد.

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

با بررسی روش و تعداد آبیاری در زعفران بر وزن کلاله زعفران طی دو سال متوالی مشخص شد که با افزایش دور آبیاری از هر ۱۲ روز یکبار به شرایط بدون آبیاری، وزن کلاله بطور متوسط (میانگین دو سال) ۸۰٪ کاهش می یابد (Azizi-Zohan et al., 2006). در مطالعه دو ساله‌ای که توسط کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) انجام شد، در سال اول اجرای آزمایش (برداشت اول)، کاهش آبیاری تا سطح ۵۰٪ نیاز آبی زعفران، تأثیر معنی‌داری در کاهش تعداد گل، عملکرد گل تر و عملکرد کلاله خشک نداشت. اما این کاهش آبیاری در سال دوم در مقایسه با شاهد (۱۰۰٪ نیاز آبی) منجر به کاهش معنی دار تعداد گل، عملکرد گل تر و عملکرد کلاله خشک به ترتیب به میزان ۱۹، ۲۸ و ۲۲ درصد شد. با توجه به ارتباط مثبت بین اندازه و یا عملکرد بنه‌های دختری زعفران با تولید گل در این گیاه (Gresta et al., 2008)، این محققین کاهش معنی‌دار شاخص‌های عملکردی در سال دوم را به به اثرات منفی تنش آب بر رشد و عملکرد بنه‌های دختری در پایان سال اول رشد نسبت دادند (Koocheki et al., 2014). با توجه به تأثیر معنی‌دار تنش خشکی در سال اول بر وزن بنه‌های دختری و همچنین همبستگی مثبت و معنی دار بین وزن بنه در واحد سطح و همچنین تعداد بنه در واحد سطح با تمام صفات مرتبط با عملکرد زعفران (وزن خشک کلاله، وزن خشک گل، وزن خشک جام گل + پرچم و تعداد گل)، این نتایج با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت دارد (جدول ۷). به عبارت دیگر تنش خشکی باعث ایجاد محدودیت رشدی برای بنه های دختری

شده است که عملکرد زعفران در سال بعد به میزان رشد این بنه ها وابسته است.

استفاده از تیمار کودهای زیستی حاوی باکتری به همراه ۵۰٪ میزان توصیه شده از کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن، فسفر و پتاس (F_5) در هر دو سال انجام آزمایش منجر به دستیابی به بالاترین میزان وزن خشک کلاله، وزن خشک گل، وزن خشک جام گل+پرچم و تعداد گل شد. از طرفی تیمار شاهد فاقد هر نوع ماده مغذی (F_1) کمترین تأثیر را بر بهبود عملکرد این صفات داشت. وزن خشک کلاله در تیمار F_5 با ۱/۶۱ گرم بر مترمربع نسبت به تیمار شاهد با ۰/۸ گرم بر مترمربع دو برابر بیشتر بود. گرچه کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای زیستی (F_4) توانست به میزان قابل قبولی خلاء کودهای شیمیایی را جبران نماید، اما حذف کامل کودهای شیمیایی و اعمال کودهای زیستی به تنهایی (F_6) باعث شد تا در هر دو سال اجرای آزمایش عملکرد کلاله و صفات مرتبط بر عملکرد زعفران در این تیمار در یک گروه آماری با شاهد قرار گیرند. پس از تیمار F_5، تیمار استفاده تنها از کودهای شیمیایی به میزان توصیه شده (F_2) در رتبه دوم قرار گرفت و در تمام صفات مرتبط با عملکرد زعفران در هر دو سال انجام آزمایش تفاوت معنی‌داری با F_5 نداشت (جدول ۶).

سعیدی ابواسحاقی و همکاران (Saeidi Aboueshaghi et al., 2023) نیز استفاده ترکیبی از کودهای ارگانیک و کودهای شیمیایی برای دستیابی به عملکرد بالاتر در زعفران را در شرایط تنش خشکی و شرایط بدون تنش توصیه نمودند. در مطالعه مشابهی تأثیر استفاده از کودحیوانی، کودهای زیستی (بیوسولفور، بیوفسفات و نیتروکسین) و کودهای شیمیایی (اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم) بر عملکرد زعفران طی سه سال بررسی شد. استفاده همزمان از کود دامی به همراه کود زیستی یا کود دامی به همراه کود شیمیایی در این مطالعه تأثیر قابل توجهی بر افزایش تعداد و وزن خشک گل در هر سه سال داشت. همچنین تفاوت بین استفاده و عدم استفاده از کود از سال اول به سال سوم افزایش یافت، بطوریکه بیشترین میزان آن (۱۲۷٪) در سال سوم آزمایش ثبت شد. بیشترین وزن خشک کلاله در سال اول و دوم (به ترتیب ۰/۲۰ و ۰/۲۳ گرم در متر مربع) از ترکیب کود دامی + کود شیمیایی بدست آمد که به لحاظ آماری تفاوت معنی داری با ترکیب ترکیب کود دامی + نیتروکسین یا کود دامی + بیوسولفات نداشت و در سال سوم نیز اختلافی بین این سه تیمار در وزن خشک کلاله مشاهده نشد. این نتایج نشان دادند که همزمان با استفاده از کود دامی، امکان جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای زیستی مانند نیتروکسین و بیوسولفات وجود دارد (Esmaeilian et al., 2022). در یک نتیجه‌گیری مشابه، ۵۰٪ کودهای شیمیایی توصیه شده در زعفران با کودهای زیستی حاوی باکتری های تثبیت کننده و حل کننده عناصر به همراه ورمی کمپوست بهترین تیمار کودی برای بهبود عملکرد صفات کمی زعفران مانند وزن کلاله، وزن گل و تعداد گل تعیین شد (Rasouli et al., 2013). استفاده تنها از کود زیستی آمینوپالیس نتوانست منجر به عملکرد مطلوب گل تر و خشک، کلاله خشک و همچنین کلاله + خامه خشک در زعفران شود. این در حالی بود که استفاده از کود شیمیایی اختصاصی زعفران با نام تجاری دلفارد[1] بیشترین تأثیر مثبت را بر روی این صفات گذاشت. بنظر می رسد به دلیل عدم تأثیر کود زیستی آمینوپالیس بر عملکرد بنه زعفران در سال اول و ارتباط مستقیم بین اندازه بنه (میزان عناصر ذخیره شده در بنه) بر عملکرد گل زعفران، استفاده از این کود زیستی تأثیری بر عملکرد گل زعفران نداشته است (Rezvani Moghaddam et al., 2013). وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد گل زعفران (وزن

1- Delfard

خشک کلاله، وزن خشک گل، وزن خشک جام گل + پرچم و تعداد گل) با وزن و تعداد بنه زعفران در واحد سطح (جدول ۷) ضمن تأیید نتایج این محققین توضیح می دهد که کارایی مطلوب تیمار F5 (کودهای زیستی حاوی باکتری به همراه ۵۰٪ میزان توصیه شده از کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن، فسفر و پتاس) در بهبود صفات مرتبط با عملکرد گل زعفران به‌دلیل تأثیر بهتر این تیمار در افزایش وزن و تعداد بنه های دختری نسبت به سایر تیمارها بوده است (جدول ۶). لذا دو صفت وزن و تعداد بنه دختری در واحد سطح می‌تواند بعنوان شاخصی برای ارزیابی عملکرد گل زعفران در سال پیش رو مورد استفاده قرار گیرد.

وزن بنه، میانگین وزن یک بنه، تعداد بنه

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، افزایش شدت تنش خشکی گرچه تأثیر معنی‌داری بر تعداد بنه و میانگین وزن یک بنه نداشت، اما سبب کاهش معنی دار وزن بنه (از ۱۵۳۱ به ۱۳۰۵ گرم بر مترمربع) شد. بعبارت دیگر برآیند کاهش غیر معنی‌دار تعداد بنه و میانگین وزن یک بنه در مجموع منجر به کاهش معنی‌دار وزن بنه در واحد سطح شده است (جدول ۶).

بر اساس اطلاعات موجود، فتوسنتز مهمترین منبع کربن برای اندام‌های ذخیره‌ای[1] مختلف در زعفران است و بنه‌های مادری تنها به میزان ۱۰ درصد در تولید زیست توده زعفران در اوایل دوره رشد زعفران مشارکت دارند. زعفران با داشتن نرخ بالای فتوسنتز (۲۶ ماکرومول در متر مربع بر ثانیه) ۹۰ درصد زیست توده گیاه را در طی دوره رشد رویشی خود تولید می نماید. از طرفی بین میزان فتوسنتز زعفران با کاهش پتانسیل آب خاک یک رابطه خطی کاهشی وجود دارد که به‌دلیل عوامل روزنه ای و غیر روزنه ای اتفاق می افتد. با این وجود حتی در پتانسیل های بسیار پایین آب خاک نیز زعفران نرخ فتوسنتز بالایی دارد (بین ۱۰ تا ۱۲ ماکرومول در متر مربع بر ثانیه در پتانسیل ۱۵- کیلوپاسکال). در واقع تامین آب مورد نیاز برگ از بنه ها و ریشه‌های زعفران به این گیاه امکان کاهش اثرات سوء ناشی از شدت‌های بالای تنش خشکی در یک دوره رشد خاص را می‌دهد (Renau-Morata et al., 2012). با این وجود تأثیر منفی تنش خشکی بر فتوسنتز گیاه و در نتیجه کاهش ذخیره مواد حاصل از فتوسنتز در مهمترین اندام ذخیره ای زعفران (وزن خشک بنه‌های دختری در زعفران تقریباً برابر با ۹۰٪ کل وزن خشک گیاه در پایان دوره رشد زعفران است) منجر به کاهش وزن بنه در واحد سطح خواهد شد.

در مطالعه ضیائی و همکاران (Ziaei et al., 2024) افزایش شدت تنش خشکی از ۷۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک وزن بنه های دختری را از ۳/۹۸ گرم در هر بوته به ۲/۳۶ گرم در هر بوته کاهش داد. این محققین کاهش (منفی تر شدن) پتانسل اسمزی خاک در نتیجه تنش خشکی و در نتیجه کاهش توان گیاه برای جذب آب از محلول خاک را دلیل کاهش ۴۰/۸ درصدی وزن بنه های دختری می دانند. در همین رابطه کاهش معنی‌دار وزن بنه‌های دختری با افزایش تنش شوری از ۱/۵ به ۷/۵ دسی زیمنس بر متر به شرایط خشکی ناشی از تنش شوری نسبت داده شد (Ghoreishi et al., 2019). عزیزی زهان و همکاران (Azizi-Zohan et al., 2006) نشان دادند که افزایش دور آبیاری از هر ۱۲ روز یکبار به قطع کامل آبیاری، تأثیر معنی‌داری بر کاهش تعداد بنه‌های تولید شده در واحد سطح ندارد (تعداد بنه ها تنها ۹٪ کاهش می یابد). اما از طرف دیگر وزن کل بنه‌های تولید شده در واحد سطح به طور معنی‌داری و به میزان ۷۴٪ کاهش می یابد (Azizi-Zohan et al., 2006) که با نتایج حاصل از تحقیق ما کاملا مطابق است. این نتایج نشان می‌دهد که بدلیل ضریب همبستگی بالاتر بین وزن خشک کلاله با وزن بنه در واحد سطح (**۰/۵۵) در مقایسه با میانگین

1- Sink

وزن یک بنه (۰/۲۵ ns) و تعداد بنه در واحد سطح (۰/۴۷ **)، در نهایت کاهش وزن بنه در واحد سطح است که منجر به کاهش برداشت کلاله خشک زعفران در شرایط تنش خشکی می‌شود (جدول ۷). همچنین در تأیید نتایج مطالعه ما در خصوص اثر تنش خشکی بر میانگین وزن یک بنه، با مطالعه تأثیر فراهمی آب و مدیریت کود بر تخصیص زیست توده در زعفران مشخص گردید که افزایش تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر کاهش میانگین وزن یک بنه ندارد (Fallahi & Mahmoodi, 2018).

نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داده است که استفاده از تیمارهای کودی مختلف در این آزمایش تأثیر معنی‌داری بر میانگین وزن یک بنه نداشته است (جدول ۵). در خصوص صفت تعداد بنه، تیمار F_5 با ۷۷۸/۶۷ بنه در متر مربع به همراه تیمارهای F_4 و F_2 در یک گروه آماری قرار گرفتند و تیمار شاهد نیز با ۲۲۸/۱۲ بنه در متر مربع کمترین تعداد بنه را تولید کرد. بالاترین وزن بنه با ۲۲۱۰/۴ گرم بر متر مربع به تیمار F_5 تعلق داشت که نسبت به تیمار شاهد با ۷۳۹/۷ گرم در متر مربع تقریباً سه برابر بیشتر بود (جدول ۶).

در مطالعه اسماعیلیان و همکاران (Esmaeilian et al., 2022) بیشترین افزایش وزن و اندازه بنه های دختری در هر سه سال انجام آزمایش در تیمار استفاده از کودهای شیمیایی (به ترتیب ۱۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم) مشاهده شد. با این وجود تفاوتی بین تیمار کودهای شیمیایی و دو تیمار کودهای زیستی (نیتروکسین یا بیوفسفات) وجود نداشت. به‌علاوه استفاده همزمان از کود دامی + کود شیمیایی بیشترین تأثیر را بر افزایش تعداد بنه‌های دختری در واحد سطح داشت که بلحاظ آماری با تیمارهای کود دامی + نیتروکسین یا کود دامی + بیوفسفات در یک گروه آماری قرار گرفتند. در هر سه سال انجام این آزمایش کمترین وزن بنه، اندازه بنه و تعداد بنه دختری در نتیجه تیمار عدم استفاده از کود بدست آمد. بخردیانی نسب و همکاران نشان دادند که استفاده از ۱۰۰ گرم کود زیستی فسفات بارور ۲ تعداد بنه‌های دختری را نسبت به شاهد (عدم استفاده از هر نوع کود) ۱۱ درصد افزایش داد. بعلاوه این کود زیستی میزان فسفر در بنه زعفران را در مقایسه با شاهد و تیمار استفاده از میکوریزا (۸۰ کیلوگرم در هکتار) تقریباً دو برابر افزایش داد (Bekhradiyani Nasab et al., 2019). با مطالعه اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر ویژگی‌های بنه زعفران مشخص گردید که علاوه بر تعداد بنه، وزن‌تر و خشک بنه در سال اول آزمایش تحت تأثیر کوددهی قرار نمی گیرد. بیشترین تعداد بنه در مترمربع در این مطالعه مربوط به کود زیستی نیتروکسین و کمترین مقدار آن مربوط به کود شیمیایی دلفارد بود. تأثیر مثبت کود زیستی نیتروکسین به فراهم آوری ترکیبات غذایی برای رشد زعفران و همچنین تحریک سنتز و ترشح مواد محرک رشد مانند انواع هورمون‌های محرک رشد مانند اکسین و اسیدهای آمینه مختلف نسبت داده شد که منجر به رشد بهتر ریشه و اندام‌های هوایی گیاه و در نتیجه تولید و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام های زیرزمینی زعفران می‌شود. هر چند تغییرات این ترکیبات در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته بود. با وجود اینکه تعداد بنه های دختری در سال سوم آزمایش نسبت به سال اول و دوم افزایش یافت، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کودی مختلف در رابطه با صفت تعداد بنه در متر مربع مشاهده نشد. بر خلاف نتایج حاصل از تحقیق ما که نشاندهنده همبستگی مثبت و معنی دار بین تعداد و وزن بنه در واحد سطح بود (۰/۸۶ **)، در این مطالعه بین تعداد بنه دختری تولید شده در متر مربع در سال دوم با وزن خشک بنه در متر مربع همبستگی منفی و معنی داری مشاهده شد که محققین آنرا به تولید بنه های کوچکتر در نتیجه افزایش تعداد بنه های نسبت دادند (Koocheki et al., 2011). این نتایج نشان می دهد که افزایش تعداد بنه های دختری همیشه با کاهش متوسط وزن یک بنه دختری همراه نیست و ممکن است بین آنها همبستگی معنی داری وجود نداشته باشد.

به همین دلیل در مطالعه ما با افزایش تعداد بنه های دختری در واحد سطح، وزن بنه در واحد سطح نیز افزایش یافته است.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این مطالعه مشخص شد که وزن خشک گل، وزن خشک جام گل+پرچم و تعداد گل در هر دو سال انجام آزمایش با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت. از طرفی تنش خشکی در سال دوم نسبت به سال اول تأثیر بیشتری بر کاهش این صفات داشت. بعلاوه در تیمار بدون تنش یعنی آبیاری در حد ظرفیت زراعی و در خصوص هر چهار صفت اندازه گیری شده، مقدار بدست آمده در سال دوم بیشتر از سال اول بود. این در حالی است که برعکس شرایط بدون تنش، در تیمار تنش خشکی (۵۰٪ ظرفیت زراعی) مقدار بدست آمده برای این صفات در سال دوم کمتر از سال اول بود. این نتایج نشان می‌دهد که تنش خشکی با ایجاد محدودیت های رشدی اجازه نداده است تا زعفران از شرایط محیطی برای بهبود عملکرد نسبت به سال گذشته استفاده نماید. استفاده از تیمار کودهای زیستی حاوی باکتری به همراه نصف میزان توصیه شده از کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن، فسفر و پتاس (تیمار ۵۰٪ NPK + ۴ کود زیستی) در هر دو سال انجام آزمایش منجر به دستیابی به بالاترین میزان وزن خشک کلاله، وزن خشک گل، وزن خشک جام گل+پرچم و تعداد گل شد. گرچه کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای زیستی توانست به میزان قابل قبولی خلاء کودهای شیمیایی را جبران نماید، اما حذف کامل کودهای شیمیایی و اعمال کودهای زیستی به تنهایی باعث شد تا در هر دو سال اجرای آزمایش عملکرد کلاله و صفات مرتبط بر عملکرد زعفران در این تیمار در یک گروه آماری با شاهد قرار گیرند.

افزایش شدت تنش خشکی گرچه تأثیر معنی داری بر تعداد بنه و میانگین وزن یک بنه نداشت، اما سبب کاهش معنی دار وزن بنه شد. بعبارت دیگر برآیند کاهش غیر معنی‌دار تعداد بنه و میانگین وزن یک بنه در مجموع منجر به کاهش معنی‌دار وزن بنه در واحد سطح شده است. استفاده از تیمارهای کودی مختلف در این آزمایش تأثیر معنی داری بر میانگین وزن یک بنه نداشته است اما بالاترین وزن بنه در واحد سطح که در تیمار استفاده همزمان از کودهای زیستی و کودهای شیمیایی (تیمار ۵۰٪ NPK + ۴ کود زیستی) بدست آمد، نسبت به تیمار شاهد تقریباً سه برابر بیشتر بود. این نتایج نشان می دهد که استفاده همزمان از کودهای زیستی و شیمیایی (تیمار ۵۰٪ NPK + ۴ کود زیستی) در تامین نیازهای گیاه زعفران برای تولید تعداد بنه بیشتر و کاهش مصرف کودهای شیمیایی قابل توصیه است؛ هرچند میانگین وزن بنه های تولید شده ممکن است تفاوتی با تیمار شاهد نداشته باشد که می‌تواند در مزارع زعفران با سن بالا بر بهبود گلدهی در سال بعد تأثیری نداشته باشد.

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 می‌دانند 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.

منابع

Agricultural Statistics. (2024). *Report on Garden, Mushroom and Greenhouse Products* (Vol. 3). Tehran: Ministry of Agriculture.

Azizi Zohan, A. A., Kamgar Haghighi, A. A., & Sepaskhah, A. (2006). The effect of irrigation methods and frequency on corm and saffron production (*Crocus sativus* L.). *Journal of Water & Soil Science, 10* (1), 45-54. (In Persian with English Abstract).

Azizi Zohan, A., Al, Kamgar Haghighi, A. A., & Sepaskhah, A. (2008). Crop and pan coefficients for saffron in a semi-arid region of Iran. *Journal of Arid Environments, 72* (3), 270-278.

Battisti, D. S., & Naylor, R. L. (2009). Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science, 323* (240-244). https://doi.org/10.1126/science.1164363.

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. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2019.2767.1112

Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodriques, 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. https://doi.org/10.1093/aob/mcf105.

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

Fallahi, H. R., & Mahmoodi, S. (2018). Impact of water availability and fertilisation management on saffron (*Crocus sativus* L.) biomass allocation. *Journal of Horticulture & Postharvest Research, 1* (2), 131-146. https://doi.org/10.22077/jhpr.2018.1487.1017.

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. https://doi.org/10.1051/agro:2008021.

Ghoreishi, G., Khasheie Seyuki, A., & Bieki, A. (2019). Effect of salinity levels and nitrogen forms on yield of saffron in Birjand climate. *Journal of Saffron Research, 7* (2), 343-353. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2018.138.1005.

Gresta, F., Lombardo, G. M., Siracusa, L., & Ruberto, G. (2008). Effect of mother corm dimension and sowing time on stigma yield, daughter corms and qualitative aspects of saffron (*Crocus sativus* L.) in a Mediterranean environment. *Journal of Food Science & Agriculture, 88*, 1144-1150. https://doi.org/10.1002/jsfa.3177.

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. (In Persian with English Abstract).

Hassanzadeh Aval, F., Rezvani Moghaddam, P.,

Bannayan Aval, M., & Khorasani, R. (2014). Effects of maternal corm weight and foliar application on replacement corm characteristics and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in the first year. *Journal of Saffron Research, 2* (1), 73-84. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2015.331.

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. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002.

Kafi, M., Rashed Mohasel, M. H., Koocheki, A., & Mollafilabi, A. (2002). *Saffron, Production & Processing*. Iran: Zaban va Adab Press.

Keshavarz, P., Zabili, 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 with English Abstract).

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 & Technology, 6* (3), 309-322. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2017.92549.1246.

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 & Soil, 25* (1), 196-206. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.8522.

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. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2014.6182.

Koocheki ,A., Seyyedi, S. M., & Jamshid Eyni, M. (2014). Irrigation levels and dense planting affect flower yield and phosphorus concentration of saffron corms under semi-arid region of Mashhad. Northeast Iran. *Scientia Horticulturae, 180*, 147-155. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.031.

Maheswari, M., Yadav, S. K., Shanker, A. K., Anil Kumar, M., & Venkateswarlu, B. (2012). *Overview of Plant Stresses: Mechanisms, Adaptations and Research Pursuit* (B. Venkateswarlu, A. K. Shanker, C. Shanker & M. Maheswari Eds.): Springer Dordrecht.

Malakuti, M. G. (1996). *Resistant Agriculture and Yield Increase with Optimization Use Fertilizer in Iran*. Tehran: Instruction Agriculture Publication.

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. Plant. *Cell & Environment, 25*, 239-250. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x.

Omidi, H., Naghdi Badi, H., Golzad, A., Torabi, H., & Fotoukiyan, M. (2009). The effect of chemical and bio-fertilizer source of nitrogen on qualitive and quantitative of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Medicinal Plants, 2* (30), 98-109. (In Persian with English Abstract).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. https://doi.org/10.22092/ijsr.2013.126219. (In Persian with English Abstract).

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 & Products, 39*, 40-46. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.009.

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A. R., Molafilabi, A., & Seyyedi, M. (2013). Effect of biological and chemical fertilizers on replacement corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Society of Crops & Plant Breeding Sciences, 15* (3), 234-246. (In Persian with English Abstract).

Sabzevari, S., Khazaie, H. R., & Kafi, M. (2010). Study on the effects of humic acid on germination of four wheat cultivars (*Triticun aestivum* L.). *Journal of Iranian Field Crop Research, 8* (3), 473-480. https://doi.org/10.22067/GSC.V8I3.7765. (In Persian with English Abstract).

Saeidi Aboueshaghi, R., Omidi, H., & Bostani, A. (2023). Assessment of changes in secondary metabolites and growth of saffron under organic fertilizers and drought. *Journal of Plant Nutrition, 46* (3), 386-400. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2068439.

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. https://doi.org/10.22048/jsat.2024.436406.1519. (In Persian with English Abstract).