



Original Article

**Impact of Various Biofertilizers and Their Combinations
on the Quantitative and Qualitative Characteristics of Saffron Flowers
under Different Irrigation Regimes**

Mohammad Azimi Gandomani^{1*}, Mostafa Alinaghizadeh²

1&2- Assistant Professor of Agriculture Department, Faculty of Technical and Engineering,
Payame Noor University, Tehran, Iran.

*Corresponding author Email: *Mohammad.Azimi@pnu.ac.ir*

Received 22 July 2024; Accepted 6 September 2024

Extended Abstract

Introduction: Proper nutrient management is becoming a key component in enhancing crop yield under variable environmental conditions, as it supports plant growth and tolerance to severe constraints such as drought stress and soil impoverishment. Biofertilizers, in addition to regulating nutrient uptake, serve as an effective alternative to chemical fertilizers, ensuring sustainable, safe, and stable agricultural production and biomass. Given the benefits of biofertilizers, formulating an appropriate fertilizer combination that prevents excessive yield reduction under limited water resources is crucial.

Materials and Methods: To study the quantitative and qualitative characteristics of saffron flowers under the influence of various biofertilizers and irrigation regimes, an experiment was conducted over two agricultural years (2021-2022 and 2022-2023) in the agricultural lands of Ziar city. This experiment was implemented as split plots in a randomized complete block design with three replications. In this experiment, deficit irrigation at three levels (50%, 75%, and 100%) was considered as the main factor, and free-living nitrogen-fixing bacteria (B-N), potassium-solubilizing bacteria (B-K), phosphate-solubilizing bacteria (B-P), their combinations, and a control without fertilizer at eight levels were the sub-factors. The water requirement for saffron was estimated at 3,280 cubic meters per hectare using the Cropwat software, based on long-term meteorological data from 1994 to 2018. Irrigation was conducted using a meter and in basin irrigation method. In the first year, the first irrigation was done immediately after planting. Overall, four irrigation sessions were carried out each year (before flowering, after flowering, mid-March, and late April). The irrigation amounts

for the 50%, 75%, and 100% treatments were 1,640, 2,460, and 3,280 cubic meters, respectively. Due to the intense competition of weeds with the crop and the prevention of growth, and because the experiment was focused on the effect of biofertilizer on the plant, the use of herbicides was not feasible. Therefore, weed control was manually done twice in February and April in both experimental years.

Results and Discussion: The results indicated that the highest number of flowers (79.9 m⁻²), fresh flower weight (31.4 g. m⁻²), dry stigma weight (0.492 g. m⁻²), dry style weight (0.122 g. m⁻²), and dry flower weight without stigma and style (5.09 g. m⁻²) were obtained in the 100% water requirement treatment combined with NPK biofertilizer. On the other hand, the qualitative characteristics of saffron showed that the highest amounts of crocin (253 mg. g⁻¹), picrocrocin (35 mg. g⁻¹), and safranal (121 mg. g⁻¹) were achieved in the 75% water requirement treatment combined with NPK biofertilizer.

Conclusion: Overall, the results of this experiment demonstrated that with increasing stress intensity from 100% to 50% water requirement, the characteristics such as fresh flower weight, number of flowers, dry stigma weight, dry style weight, and dry flower weight without stigma and style decreased. On the other hand, at all three levels of water requirement, the application of various biofertilizers (nitrogen-fixing bacteria, phosphate-solubilizing bacteria, and potassium-solubilizing bacteria) either singly, in pairs, or in triplets mitigated the negative effects of stress, although the dual and triple combinations had more positive effects. Additionally, the qualitative traits results showed that in all fertilizer treatments, applying the irrigation regime from 100% to 75% increased the amounts of crocin, picrocrocin, and safranal, but with the increase in stress intensity to 50%, the amounts of these traits decreased, although different biofertilizers reduced the negative effects of stress. Ultimately, to achieve optimal performance, the best treatment was 100% water requirement irrigation combined with NPK biofertilizer, while in terms of quality, 75% water requirement irrigation combined with NPK biofertilizer was the best treatment.

Conflict of Interest: The authors declare no potential conflict of interest related to the work.


Keywords: Phosphate-solubilizing bacteria, Potassium-solubilizing bacteria, Picrocrocin, Safranal, Crocin.



نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)

جلد دوازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۳

شماره صفحه: ۹۵ - ۱۱۱

 <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.22077/jsr.2024.7948.1236>

مقاله پژوهشی

تأثیر کودهای مختلف زیستی و ترکیب آن‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی گل زعفران در رژیم‌های مختلف آبیاری

محمد عظیمی‌گندمانی^{۱*} و مصطفی علی‌نقی‌زاده^۲

۱- استادیار، گروه کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: Mohammad.azimi@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۶

چکیده

به منظور مطالعه خصوصیات کمی و کیفی گل زعفران تحت تاثیر کودهای مختلف زیستی و رژیم‌های آبیاری، آزمایشی طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲ در اراضی کشاورزی شهر زیار اجراء شد. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش کم‌آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) به‌عنوان عامل اصلی و باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن (B-N)، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (B-K)، باکتری‌های حل‌کننده فسفات (B-P)، ترکیب آن‌ها و شاهد بدون کود در هشت سطح به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد بیشترین تعداد گل (۷۹/۹ عدد در متر مربع)، وزن تر گل (۳۱/۴ گرم در متر مربع)، وزن خشک کلاله (۰/۴۹۲ گرم در متر مربع)، وزن خشک خامه (۰/۱۲۲ گرم در متر مربع) و وزن خشک گل بدون کلاله و خامه (۵/۰۹ گرم در متر مربع) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کود زیستی NPK بدست آمد. از سوی دیگر نتایج خصوصیات کیفی زعفران نشان داد بیشترین میزان کروسین (۲۵۳ میلی‌گرم در گرم)، پیکروکروسین (۳۵ میلی‌گرم در گرم) و سافرانال (۱۲۱ میلی‌گرم در گرم) در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و کود زیستی NPK بدست آمد. در نهایت، برای داشتن عملکرد مطلوب، بهترین تیمار، آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کود زیستی ترکیبی NPK بود. در حالی که از نظر کیفی، آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی به‌همراه کود زیستی ترکیبی NPK دارای بهترین تیمار بود.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های حل‌کننده فسفات، باکتری‌های حل‌کننده پتاس، پیکروکروسین، سافرانال، کروسین.

مقدمه

از سوی دیگر، استفاده بی‌رویه و نامناسب از کودهای شیمیایی منجر به مشکلات زیست محیطی شده است، بنابراین روش‌های بیولوژیکی یک رویکرد دوستدار محیط زیست تلقی می‌شود. استفاده از کودهای شیمیایی در ابتدای فصل کاشت ممکن است از طریق تثبیت، تبدیل به اشکال دیگر یا شسته شدن، دسترسی گیاه به عناصر غذایی را کاهش دهد که منجر به زیان‌های اقتصادی و آلودگی محیطی می‌شود. بنابراین، الگوی مصرف کود باید به گونه‌ای تغییر یابد که مواد مغذی مورد نیاز گیاه در طولانی مدت بدون تلفات تامین شود تا کارایی مصرف عناصر غذایی افزایش یابد. استراتژی‌های مدیریتی که به گیاهان اجازه می‌دهد در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی مقاومت کنند، برای بهبود تولید کشاورزی، کاهش استفاده از کودهای شیمیایی، و حفاظت از محصولات و کیفیت خاک ضروری هستند (Meddich et al., 2019; Shen et al., 2013).

استفاده از کودهای زیستی با قابلیت تثبیت نیتروژن و انحلال فسفر و پتاسیم می‌تواند روش مناسبی برای عملیات کشاورزی باشد. کودهای زیستی با افزایش پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و جذب عناصر معدنی مانند پتاسیم و فسفر، اثرات تنش آبی را تعدیل می‌کنند و عملکرد محصول را بهبود می‌بخشند (Batool et al., 2020). استفاده از کودهای زیستی مانند میکروارگانیزم‌های مفید خاک به عنوان یک راه حل بالقوه برای ارتقای سازگاری، عملکرد و تحمل گیاه به محدودیت‌های محیطی ظاهر شده است (Ben-Laouane et al., 2019).

مدیریت مناسب تغذیه، رشد و تحمل گیاه به محدودیت‌های شدید مانند تنش خشکی و فقر خاک در حال تبدیل شدن به یک مؤلفه کلیدی در افزایش عملکرد محصول تحت شرایط متغیر محیطی است (Meddich et al., 2018). کودهای زیستی علاوه بر تنظیم دریافت مواد مغذی، جایگزین مؤثری برای کودهای شیمیایی برای تضمین تولید پایدار، ایمن و پایدار کشاورزی و زیست توده هستند (Abdel Latef et al., 2020). با توجه به مزایای کودهای زیستی، ترکیب کود مناسب که از کاهش بیش از حد تولید محصول در منابع آبی محدود جلوگیری کند، از اهمیت

زعفران (*Crocus sativus* L.) یک محصول عالی و بسیار ارزشمند است که به دلیل کلاله‌های زرشکی درخشانش که کاربرد چندوجهی در غذا شناسی، درمان و آداب و رسوم فرهنگی دارد، مشهور است (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020). با این وجود، رشد و باروری گیاهان زعفران عمیقاً تحت تأثیر عوامل تنش‌زای محیطی مختلف قرار می‌گیرد، به طوری که تنش خشکی به‌عنوان یک مصیبت بسیار دشوار مطرح می‌شود (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020). تنش خشکی محدودیت‌های طاقت فرسایی را بر تکثیر گیاهان و بازده کشاورزی تحمیل می‌کند (MacCracken, 2008)، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که در آن کمبود آب با فرکانس هشداردهنده غالب است (Sharifi et al., 2020). در ایران، یکی از تولیدکنندگان برتر زعفران، کمبود منابع آبی و غلبه شرایط خشک و نیمه خشک، موانع بزرگی را برای کشت زعفران ایجاد می‌کند. در نتیجه، کشف پیچیدگی‌های واکنش گیاهان زعفران به تنش خشکی اهمیت بالایی در ابداع استراتژی‌هایی برای تقویت انعطاف‌پذیری و افزایش بهره‌وری آن‌ها در مواجهه با شرایط نامطلوب محیطی دارد (Kiem & Austin, 2013).

خشکی به عنوان یکی از پیامدهای تغییر اقلیم، به یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی تبدیل شده است که منجر به زیان‌های قابل توجهی در بهره‌وری گیاه می‌شود (Sarwat & Tuteja, 2017). در دسترس بودن آب یکی از عوامل محیطی حیاتی است که توزیع گونه‌ها را در سراسر جهان تعیین می‌کند (Fischer et al., 2019). تنش آبی زمانی رخ می‌دهد که تعرق آب توسط محصول از جذب آن از خاک بیشتر شود (Filipović, 2020). تنش آبی طولانی مدت بر فرآیندهای متابولیک گیاه تأثیر می‌گذارد و اغلب تولید گیاه را کاهش می‌دهد (Bijalwan et al., 2022). اثرات تنش آبی در درجه اول در کاهش سطح برگ، تبادل گاز، سرعت فتوسنتز، سرعت رشد محصول و اجزای عملکرد منعکس می‌شود که منجر به تلفات قابل توجهی در عملکرد می‌شود (Fahad et al., 2017; Qayyum et al., 2021).

بلندمدت ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸ برای این منظور استفاده شده است. آبیاری با استفاده از کنتور و به صورت کرتی انجام گرفت. در سال اول، نخستین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام شد. به طور کلی در هر سال ۴ نوبت آبیاری (قبل از گلدهی، بعد از گلدهی، اواسط اسفند و اواخر فروردین) صورت گرفت. میزان آبیاری تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۶۴۰، ۲۴۶۰ و ۳۲۸۰ متر مکعب بود. با توجه به رقابت شدید علف‌های هرز با گیاه زراعی و ممانعت از رشد و به دلیل اینکه طرح اثر تغذیه زیستی روی گیاه بود امکان استفاده از علف‌کش مقدور نبود لذا در هر دو سال آزمایش کنترل علف‌های هرز از طریق وجین دستی در دو نوبت بهمن‌ماه و فروردین‌ماه انجام شد.

مشخصات کودهای زیستی در جدول ۲ ارائه شده است. کودهای زیستی باکتریایی مطابق دستورالعمل (هرکدام به میزان پنج لیتر در هکتار) طی دوره خواب یا استراحت (اواخر مرداد ماه) مزرعه زعفران اعمال شدند. کودها از شرکت دانش‌بنیان خوشه‌پروان زیست فناوری تهیه شد.

گلدهی به مدت یک ماه به طول انجامید و در طول این یک ماه هر روز چیدن گل‌ها انجام شد. جهت تعیین عملکرد در ابتدای هر کرت کوادراتی به ابعاد ۵۰ × ۴۰ سانتی‌متر مربع به صورت تصادفی سیستماتیک مستقر شد و عملکرد گل در این کوادرات‌ها تعیین شد. گل‌ها جمع‌آوری و شمارش گردیدند و سپس وزن تر گل، تعداد گل در واحد سطح، وزن خشک کلاله و خامه خشک (دمای اتاق ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت) و وزن خشک گل بدون کلاله و خامه تعیین شد. همچنین، با توجه به اینکه تیمارهای مورد مطالعه در سال اول برای صفات گل نمی‌تواند تاثیرگذار باشد، لذا در این بخش به مطالعه صفات گل در سال دوم پرداخته شده است.

جهت اندازه‌گیری متابولیت‌های ثانویه اصلی کروسین (عامل رنگ) با حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر، پیکروکروسین (عامل طعم) با حداکثر جذب در طول موج ۲۵۷ نانومتر و سافرانال (عامل عطر) با حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر به روش اسپکتروفوتومتری طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۵۹ اندازه‌گیری شد (ISIRI).

بالایی برخوردار است. اثرات مثبت هر نوع کود زیستی به طور جداگانه بر رشد و عملکرد زعفران در محیط‌های کنترل شده و مزرعه تحت شرایط تنش‌زا مشاهده شده است (Dogra et al., 2019; Khaitov & Abdiev, 2018). اما مطالعه جامعی در مورد کاربرد همزمان سه نوع کود زیستی فسفر، پتاسیم و نیتروژن در شرایط تنش آبی در گیاه زعفران انجام نشده است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات کودهای زیستی بر عملکرد و خصوصیات کیفی گیاه زعفران تحت رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش

این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲ در اراضی کشاورزی شهر زیار، واقع در شهرستان اصفهان، به ترتیب با طول و عرض جغرافیایی ۳۲،۵۱۲۲۴۰۵ درجه شمالی و ۵۱،۹۳۹۴۹۹۴ درجه شرقی و ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریا اجراء شد. از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک مزرعه جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان عناصر غذایی قبل از شروع آزمایش به طور تصادفی نمونه‌گیری شد و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش کم‌آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) به‌عنوان عامل اصلی و باکتری‌های آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن (B-N)، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (B-K)، باکتری‌های حل‌کننده فسفات (B-P)، ترکیب آن‌ها و شاهد بدون کود به‌عنوان عامل فرعی بودند.

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین در شهریورماه ۱۴۰۰ انجام گردید. کشت بنه‌های زعفران در شهریورماه ۱۴۰۰ در کرت‌هایی به طول ۳ متر و عرض ۱ متر که شامل ۱۵ خط کشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و فاصله کاشت روی خط کاشت ۵ سانتی‌متر صورت پذیرفت. بین هر تکرار یک متر فاصله به عنوان راهرو جهت سهولت در ثبت اطلاعات در نظر گرفته شد، بنه‌های مورد نیاز با میانگین وزنی ۱۰ تا ۱۵ گرم انتخاب و سپس با حذف فلس‌های خارجی کشت با دست در عمق ۲۰ سانتی‌متری انجام شد.

نیاز آبی زعفران با استفاده از نرم افزار Cropwat ۳۲۸۰ مترمکعب در هکتار برآورد شد. از داده‌های هواشناسی

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil chemical and physical characteristics of the experimental site

Soil texture	Available nitrogen (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	pH	EC (dS m ⁻¹)	OC (%)
لوم سیلتی (Silt loam)	0.065	13.2	186	7.66	1.79	0.616

جدول ۲. مشخصات کودهای زیستی

Table 2- Characteristics of biological fertilizers

نوع کود Types of biofertilizer	باکتری‌های استفاده شده The bacteria used	تعداد باکتری در واحد حجم (سلول در میلی‌لیتر مایه تلقیح) Colony-forming unit (CFU)	توصیه محلول پاشی در خاک Dose of recommended biofertilizer
نیتروباکتر دایان Free-living N-fixing bacteria	<i>Azotobacter</i> sp. <i>Azospirillum</i> sp. <i>Bacillus</i> sp.	10 ⁷	۵ لیتر در هکتار 5 L. ha ⁻¹
فسفوپاورباکتر دایان Phosphate solubilizing bacteria	<i>Bacillus</i> sp. <i>Pseudomonas</i> sp.	10 ⁷	۵ لیتر در هکتار 5 L. ha ⁻¹
پتاپاورباکتر دایان Potassium solubilizing bacteria	<i>Bacillus</i> sp. <i>Pseudomonas</i> sp.	10 ⁷	۵ لیتر در هکتار 5 L. ha ⁻¹

خشکی، کودهای زیستی اثرات منفی تنش را تعدیل بخشیدند. نتایج نشان داد در هر سه سطح تنش بیشترین و کمترین تعداد گل به ترتیب در تیمار ترکیبی NPK و شاهد بدون کود بود. تفاوت بیشترین و کمترین تعداد گل در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۷۶، ۱۰۱ و ۱۳۰ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر میزان تعداد گل افزوده شد ولی در شرایط آبیاری کامل اثرات مثبت کودهای زیستی بیشتر بود (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی، گیاهان دچار کاهش رشد و توسعه می‌شوند و میزان فتوسنتز، انتقال مواد مغذی و تعادل آبی آن‌ها مختل می‌شود. این مشکلات منجر به کاهش شدید وزن گل‌ها می‌شود، زیرا گیاهان نمی‌توانند انرژی و منابع لازم برای

پس از اندازه‌گیری شاخص‌های مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم افزارهای SAS 9.4 و MS-Excel انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد گل

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی ($P \leq 0/05$)، کود زیستی و برهمکنش دوگانه آن‌ها ($P \leq 0/01$) بر تعداد گل زعفران معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد در تمام تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش سطوح تنش از تعداد گل کاسته شد. همچنین در هر سه سطح تنش

توانایی گیاه در جذب آب از اعماق خاک کمک کنند (Salariyan et al., 2023).

وزن تر گل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثرات اصلی تنش خشکی ($P \leq 0/05$)، کود زیستی و برهمکنش دوگانه آنها ($P \leq 0/01$) بر وزن تر گل زعفران معنی دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد با افزایش سطوح تنش از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد از وزن تر گل کاسته شد، ولی در هر سه سطح تنش خشکی، اعمال کودهای زیستی اثرات منفی تنش کاهش یافت. در هر سه سطح تنش بیشترین میزان وزن گل در تیمار ترکیبی NPK و PK بدست آمد و کمترین وزن گل در تیمار شاهد ثبت شد. تفاوت بیشترین و کمترین وزن تر گل در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۷۲، ۱۰۶ و ۱۲۶ درصد بود. می توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر وزن تر گل افزوده شد ولی در شرایط آبیاری کامل اثرات مثبت کودهای زیستی بیشتر بود (جدول ۴). تنش خشکی باعث کاهش جذب آب و مواد مغذی، اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و در نتیجه کاهش تعداد گل ها می شود.

تولید و نگهداری گل های سنگین را فراهم کنند (Ghadirnezhad Shiade et al., 2022). حسینی و رحیمی (Hosseini & Rahimi, 2018) گزارش دادند با کاهش میزان آب قابل دسترس از ۷۰ درصد به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه و افزایش شدت تنش رطوبتی، تعداد گل کاهش یافت. همچنین، مطالعات نشان داده اند که استفاده از کودهای زیستی می تواند باعث افزایش وزن گل ها شود. این کودها با بهبود تعادل آب در گیاه و افزایش محتوای کلروفیل و فتوسنتز، میزان تولید انرژی در گیاه را افزایش دهند که این امر نیز به افزایش وزن گل ها کمک می کند (Salariyan et al., 2023). در آزمایشات مختلف گزارش شده است تعداد گل زعفران به طور معنی داری تحت تاثیر کود زیستی نیتروکسین قرار دارد و کاربرد آن باعث جذب بیشتر مواد غذایی و افزایش تعداد گل شد (Chaji et al., 2013); (khorramdel et al., 2013). از سوی دیگر، برهمکنش بین کودهای زیستی و تنش خشکی می تواند از طریق مکانیزم های مختلفی بر وزن گل تاثیر بگذارد. کودهای زیستی با افزایش توانایی گیاهان در جذب و استفاده از مواد مغذی و بهبود ساختار خاک، می توانند به کاهش تاثیرات منفی تنش خشکی کمک کنند. این کودها همچنین ممکن است به تحریک رشد ریشه ها و افزایش

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مربوط به گل زعفران تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 3- Variance analysis of traits related to saffron flower under the influence of different treatments

منابع تغییر Sources Change	درجه آزادی df	میانگین مربعات (mean square)				
		تعداد گل Number of flowers	وزن تر گل Total Fresh flower weight	وزن خشک کلاله Stigma dry weight	وزن خشک خامه Style dry weight	وزن خشک گل بدون کلاله و خامه Dry weight of flowers without stigma and style
بلوک (Block)	2	1237**	104**	0.010*	0.001*	1.97*
تنش (Drought stress) (A)	2	285*	39.0*	0.024**	0.010**	2.37**
خطای (Error) a (B)	4	22.0	4.14	0.001	0.0001	0.123
کود زیستی Bio-fertilizer (B)	7	1106**	135**	0.034**	0.002**	3.31**
A × B	14	285**	35.2**	0.010**	0.0005**	0.775**
خطای کل Total error	42	39.5	13.8	0.003	0.0001	0.207
ضریب تغییرات Coefficient of variation		11.0	19.9	17.1	12.3	13.4

***، ** و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار می باشند.

***, ** and ns significant difference at $p < 0.01$ and $p < 0.05$ and not significantly difference, respectively

جدول ۴. برهمکنش دوگانه تنش خشکی و کودهای زیستی بر خصوصیات گل زعفران
Table 4-Dual interaction of drought stress and biofertilizers on saffron flower characteristics

تنش Drought) (stress	کود زیستی Bio- fertilizer	تعداد گل Number of flowers	وزن تر کل گل Total Fresh flower weight (g.m ⁻²)	وزن خشک کلاله Stigma dry weight (g.m ⁻²)	وزن خشک خامه Style dry weight (g.m ⁻²)	وزن خشک گل بدون کلاله و خامه Dry weight of flowers without stigma and style (g.m ⁻²)
۵۰ درصد نیاز آبی 50 % water requirement	N	46.0j	14.1fg	0.233f-h	0.044ij	2.81fg
	P	46.9ij	15.6e-g	0.242f-h	0.046h-j	2.87fg
	K	47.9h-j	16.0e-g	0.250f-g	0.056f-i	3.16ef
	NP	52.2g-j	17.5c-f	0.245f-h	0.057f-i	3.22ef
	NK	52.4g-j	17.7c-f	0.264d-g	0.060e-h	3.29d-f
	PK	57.5f-h	18.4b-f	0.274d-g	0.066ef	3.30d-f
	NPK	58.2e-h	18.7b-f	0.293b-f	0.087cd	3.49c-f
	Control	33.1k	10.9g	0.140i	0.038j	1.82h
۷۵ درصد نیاز آبی 75 % water requirement	N	53.2g-j	16.4e-g	0.258e-g	0.051f-j	3.09ef
	P	52.7g-j	16.8d-g	0.273d-g	0.061e-h	3.12ef
	K	56.2f-j	17.7c-f	0.274d-g	0.073de	3.19ef
	NP	61.7d-g	18.7b-f	0.344b-d	0.090bc	3.53c-f
	NK	64.2c-f	21.4b-e	0.359bc	0.092bc	3.51c-f
	PK	65.0c-f	22.9b-d	0.360bc	0.092bc	3.69c-e
	NPK	68.3b-e	23.1bc	0.373bc	0.105b	3.82c-e
	Control	34.0k	11.2g	0.166hi	0.050g-j	2.17gh
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100 % water requirement	N	65.1c-f	21.2b-e	0.330b-e	0.100bc	3.98cd
	P	59.6e-g	19.0b-f	0.292c-f	0.091bc	3.49c-f
	K	57.2f-i	19.0b-f	0.305b-f	0.096bc	3.29d-f
	NP	76.0b	22.9bc	0.376b	0.100bc	4.21bc
	NK	70.1b-d	23.3bc	0.377b	0.104b	4.18bc
	PK	72.8bc	24.0b	0.373bc	0.122a	4.74ab
	NPK	87.9a	31.4a	0.492a	0.122a	5.09a
	Control	38.2jk	13.9fg	0.201g-i	0.066e-g	2.23gh

وجود حداقل یک حرف مشترک در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است
 There is at least one common letter in the column indicates no significant difference at the 5% level

برای بقا و حفظ منابع خود، رشد و تولید مثل را کاهش می‌دهند که منجر به کاهش تعداد گل‌ها می‌گردد که به دنبال آن وزن تر گل کاهش می‌یابد (Salariyan et al., 2023). در مطالعه‌ای که خاشعی سیوکی و همکاران (Khashei-Siuki et al., 2016) بر روی زعفران انجام دادند بیان داشتند رژیم‌های مختلف آبیاری میزان وزن برگ را با کاهش تعداد برگ کاهش داد. از سوی دیگر، کودهای زیستی می‌توانند با افزایش

هنگامی که گیاهان با تنش خشکی مواجه می‌شوند، برای بقا و حفظ منابع خود، رشد و تولید مثل را کاهش می‌دهند که منجر به کاهش تعداد گل‌ها می‌گردد که به دنبال آن وزن تر گل کاهش می‌یابد (Salariyan et al., 2023). تنش خشکی باعث کاهش جذب آب و مواد مغذی، اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و در نتیجه کاهش تعداد گل‌ها می‌شود. هنگامی که گیاهان با تنش خشکی مواجه می‌شوند،

افزایش توانایی نگهداری آب و تحریک رشد ریشه‌ها، به گیاهان کمک می‌کنند تا بتوانند آب و مواد مغذی را از لایه‌های عمیق‌تر خاک جذب کنند. این افزایش دسترسی به منابع آب و مواد مغذی، توانایی گیاهان را در مقابله با تنش خشکی بهبود می‌بخشد و به حفظ وزن خشک کلاله‌ها کمک می‌کند (Ghorbani et al., 2019). مطالعه عالیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2019) بر روی گیاه زعفران نشان داد استفاده از کودهای آلی و بیولوژیک، میزان کلاله زعفران را نسبت به شاهد به میزان چشمگیری بهبود بخشید. مطالعه پاسبان و همکاران (Pasban et al., 2015) در گیاه سویا (*Glycin max*) نشان داده‌اند که کاربرد کودهای زیستی به‌طور نسبی تأثیر مثبتی بر تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، عملکرد روغن و درصد پروتئین داشته است. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی می‌تواند به طور قابل توجهی وزن خشک کلاله‌های زعفران را افزایش دهد. این کودها با بهبود وضعیت فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گیاه، مقاومت به تنش خشکی را افزایش داده و به گیاهان کمک می‌کنند تا در شرایط سخت نیز به خوبی رشد کرده و کلاله‌های با کیفیت و با وزن بیشتری تولید کنند (Saeidi Aboueshaghi et al., 2022).

وزن خشک خامه

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی، کود زیستی و برهمکنش دوگانه آن‌ها ($P \leq 0.01$) بر وزن خشک خامه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد با افزایش سطوح تنش از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد از وزن خشک خامه کاسته شد، ولی در هر سه سطح تنش خشکی، اعمال کودهای زیستی اثرات منفی تنش کاهش یافت. در هر سه سطح تنش بیشترین میزان وزن خشک خامه در تیمار ترکیبی NPK و PK بدست آمد و کمترین وزن خشک خامه در تیمار شاهد ثبت شد. تفاوت بیشترین و کمترین وزن خشک خامه در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۲۹، ۱۱۰ و ۸۵ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر وزن خشک خامه افزوده شد ولی در شرایط تنش اثرات مثبت کودهای زیستی برای وزن

کارایی استفاده از مواد مغذی و تولید مواد شبه هورمونی که به تنظیم رشد گیاه کمک می‌کنند، تاثیر مثبتی بر وزن گل‌ها داشته باشند. این کودها با بهبود خصوصیات فتوسنتزی، تولید انرژی در گیاهان را افزایش داده که منجر به تقویت رشد و توسعه اندام‌های زایشی مانند گل‌ها می‌شود (Chaudhary et al., 2022). همچنین، برخی از میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی قادر به تولید مواد آلی و هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین هستند که به تحریک گل‌دهی و افزایش تعداد گل‌ها کمک می‌کنند (García-Fraile et al., 2015). نتایج این تحقیق با پژوهشی که بر روی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) گزارش شده است، مطابقت دارد. به طوری که در این پژوهش بیشترین عملکرد تر گل، در تیمارهای نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کننده فسفات گزارش شده است (Kohanmoo et al., 2015).

وزن خشک کلاله

نتایج تجزیه واریانس جدول ۳ نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی، کود زیستی و برهمکنش دوگانه آن‌ها ($P \leq 0.01$) بر وزن خشک کلاله زعفران معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین صفات، در تمام تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش سطوح تنش وزن خشک کلاله کاهش یافت. از سوی دیگر، در هر سه سطح تنش خشکی، کودهای زیستی اثرات منفی تنش را کاهش دادند. نتایج نشان داد در هر سه سطح تنش بیشترین وزن خشک کلاله در تیمار ترکیبی NPK و PK مشاهده شد و در سطوح تنش ۵۰ و ۷۵ درصد تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند. کمترین وزن خشک کلاله نیز شاهد بدون کود بدست آمد. تفاوت بیشترین و کمترین وزن خشک کلاله در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۰۹، ۱۲۵ و ۱۴۵ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر میزان وزن خشک کلاله افزوده شد اما در شرایط آبیاری کامل اثرات مثبت کودهای زیستی بیشتر بود (جدول ۴). کودهای زیستی با بهره‌گیری از میکروارگانیسم‌های مفید، می‌توانند تاثیر مثبتی بر رشد و توسعه گیاهان، به ویژه در شرایط تنش خشکی، داشته باشند. این کودها با بهبود ساختار خاک،

وزن خشک گل بدون کلاله و خامه در تیمار ترکیبی NPK و PK مشاهده شد و در هر سه سطح تنش تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند. کمترین وزن خشک گل بدون کلاله و خامه نیز شاهد بدون کود بدست آمد. تفاوت بیشترین و کمترین وزن خشک گل بدون کلاله و خامه در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۹۲، ۷۶ و ۱۲۸ درصد بود (جدول ۴). با کاهش آب قابل دسترس، وزن گل کاهش یافت که با نتایج عزیزی زوهان و همکاران (Azizi-Zohan et al., 2006) و سعیدی ابواسحق و همکاران (Saeidi et al., 2022) مبنی بر کاهش وزن گل زعفران در تیمار تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری کامل مطابقت دارد. از طرفی، در تحقیق بر روی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) مشخص شده است که با توجه به تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر و دیگر عناصر، سرانجام موجب افزایش تجمع ماده خشک گیاه از جمله وزن خشک گل می‌شود (Rahimzadeh et al., 2011). در تحقیقی که بر روی گیاه اسپاتی‌فیلوم (*Spathiphyllum*) انجام گرفت مشخص شد که استفاده از کود نیتروکارا (حاوی آزورایزوبیوم) وزن خشک گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Abbasniyazare et al., 2012).

کروسین

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی، کود زیستی و برهمکنش دوگانه آن‌ها (۰/۰۱ $P \leq$) بر میزان کروسین معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد در تمام تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش سطوح تنش از ۱۰۰ درصد به ۷۵ درصد بر میزان کروسین افزوده شد ولی با افزایش شدت تنش به ۵۰ درصد از میزان این صفت کاسته شد. همچنین در هر سه سطح تنش خشکی، کودهای زیستی اثرات منفی تنش را تعدیل بخشیدند. نتایج نشان داد در هر سه سطح تنش بیشترین و کمترین میزان کروسین به ترتیب در تیمار ترکیبی NPK و شاهد بدون کود بود. تفاوت بیشترین و کمترین میزان کروسین در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۹، ۲۱ و ۱۹ درصد بود (جدول ۴). در شرایط تنش ملایم خشکی، گیاهان زعفران ممکن است

خشک خامه بیشتر بود (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی، گیاهان با کاهش دسترسی به آب مواجه می‌شوند که منجر به کاهش پتانسیل آبی در سلول‌ها و کاهش تورژسانس سلولی می‌شود. این وضعیت باعث کاهش فتوسنتز و تولید انرژی می‌شود و در نتیجه رشد و توسعه اندام‌های گیاه، از جمله خامه زعفران، مختل می‌شود (Parkash & Singh, 2020). تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که استفاده از کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی می‌تواند به طور قابل توجهی وزن خشک خامه زعفران را افزایش دهد. این کودها با بهبود وضعیت فیزیولوژیکی و تغذیه‌ای گیاه، مقاومت به تنش خشکی را افزایش داده و به گیاهان کمک می‌کنند تا در شرایط سخت نیز به خوبی رشد کنند و خامه‌های با کیفیت و وزن بیشتری تولید کنند (Saeidi et al., 2022). کودهای زیستی با بهبود تغذیه گیاه، می‌توانند تأثیرات منفی تنش خشکی را کاهش دهند. یکی از مکانیزم‌های کلیدی که توسط این میکروارگانیسم‌ها به کار می‌رود، بهبود جذب مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر است. فسفر نقش مهمی در تولید ATP دارد که انرژی لازم برای فرآیندهای متابولیسم گیاه را تأمین می‌کند. نیتروژن نیز برای سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌های حیاتی مورد نیاز است (Silva et al., 2023). علاوه بر این، کودهای زیستی می‌توانند به کاهش تولید اتیلن در گیاهان کمک کنند. اتیلن به عنوان هورمون پیری شناخته می‌شود و افزایش آن در شرایط تنش می‌تواند منجر به پیری زودرس و کاهش رشد گیاه شود. کاهش تولید اتیلن به کمک کودهای زیستی می‌تواند به حفظ رشد و توسعه طبیعی گیاه کمک کند (Prisa et al., 2023).

وزن خشک گل بدون کلاله و خامه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثرات اصلی تنش خشکی، کود زیستی و برهمکنش دوگانه آن‌ها (۰/۰۱ $P \leq$) بر وزن خشک گل بدون کلاله و خامه معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین صفات، در تمام تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش سطوح تنش وزن خشک گل بدون کلاله و خامه کاهش یافت. از سوی دیگر، در هر سه سطح تنش خشکی، کودهای زیستی اثرات منفی تنش را کاهش دادند. نتایج نشان داد در هر سه سطح تنش بیشترین

بهبود تقسیم سلولی و افزایش تولید ترکیبات فعال، به افزایش میزان کروسین در زعفران کمک می‌کنند (Su et al., 2021). علاوه بر این، برخی از میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی قادر به تولید ویتامین‌ها و ترکیبات آلی هستند که می‌توانند به عنوان پیش‌سازهای متابولیت‌های ثانویه مورد استفاده قرار گیرند و تولید کروسین را افزایش دهند (Su et al., 2021). تحقیقات نشان می‌دهند که کودهای حاوی پتاسیم و فسفر به طور خاص می‌توانند تأثیر مثبتی بر افزایش تولید کروسین داشته باشند (Wang & Wu, 2017). پتاسیم نقش مهمی در تنظیم فشار اسمزی، فعال‌سازی آنزیم‌ها و سنتز پروتئین‌ها دارد که همه این عوامل می‌توانند به افزایش تولید کروسین کمک کنند فسفر نیز برای انتقال انرژی و سنتز نوکلئیک اسیدها ضروری است که می‌تواند فرآیندهای متابولیسمی مرتبط با تولید کروسین را بهبود بخشد.

پاسخ‌های فیزیولوژیکی مانند افزایش تولید کروسین را نشان دهند که به منظور محافظت از خود در برابر آسیب‌های ناشی از خشکی است. این پاسخ‌ها ممکن است به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تغییر در مسیرهای بیوشیمیایی رخ دهد (Bandegi et al., 2014). اما در شرایط تنش شدید خشکی، کاهش معنی‌داری در میزان کروسین مشاهده می‌شود. این کاهش ممکن است به دلیل آسیب‌های ساختاری و عملکردی سلول‌ها، کاهش فتوسنتز و تخریب ترکیبات فعال بیوشیمیایی رخ دهد (Mzabri et al., 2017). مطالعه حسینی و رحیمی (Hosseini & Rahimi, 2018) بر روی کیفیت زعفران تحت رژیم‌های آبیاری نشان داد با افزایش تنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی بر میزان کروسین افزوده شد ولی با افزایش شدت تنش به ۵۰ درصد، از میزان این صفت کاسته شد. از طرف دیگر، تحریک هورمون‌ها با کودهای زیستی از طریق

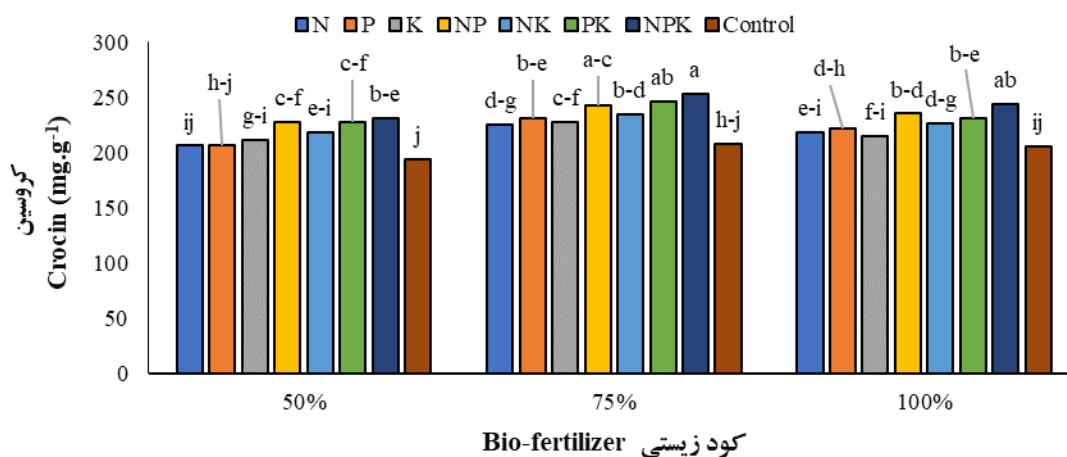
جدول ۵. تجزیه واریانس صفات کیفی زعفران تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 5-Variance analysis of saffron qualitative traits under the influence of different treatments

منابع تغییر Sources Change	درجه آزادی df	میانگین مربعات (mean square)		
		کروسین Crocic	پیکروکروسین Picrocrocic	سافرانال Safranal
بلوک (Block)	2	73.5**	1.97**	1.67**
تنش (Drought stress) (A)	2	1999**	43.7**	21.9**
خطای (Error) a	4	0.0001	0.002	0.001
کود زیستی (Bio-fertilizer) (B)	7	577**	9.75**	7.22**
A × B	14	478**	6.01**	4.20**
Total error کل خطای	42	87.6	7.05	43.3
Coefficient of ضریب تغییرات variation		4.17	10.2	6.32

**، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

**، * and ns significant difference at $p < 0.01$ and $p < 0.05$ and not significantly difference, respectively



شکل ۱. برهمکنش دوگانه تنش خشکی و کودهای زیستی بر میزان کروسین زعفران
Fig 1. Dual interaction of drought stress and biofertilizers on the amount of crocin in saffron

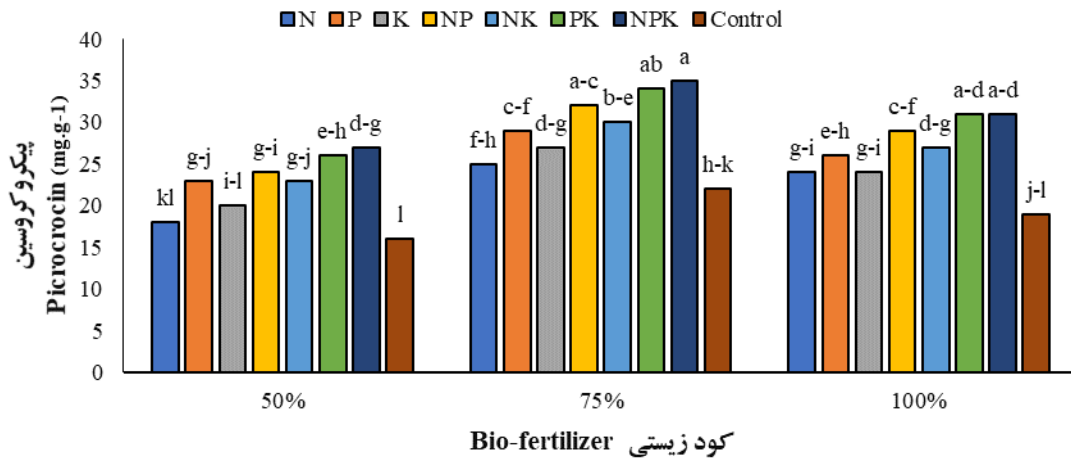
شرایط تنش خشکی، گیاهان با کمبود آب مواجه می‌شوند که منجر به کاهش فعالیت‌های متابولیکی و فتوسنتزی می‌شود (Seleiman et al., 2021). این وضعیت باعث کاهش تولید ترکیبات ثانویه مانند پیکروکروسین می‌گردد، زیرا گیاه انرژی و منابع کمتری برای تخصیص به تولید این ترکیبات دارد. همچنین، بهبود فعالیت فتوسنتزی و متابولیکی گیاه در حضور کودهای زیستی منجر به تولید بیشتر انرژی و پیش‌سازهای متابولیکی می‌شود که برای سنتز پیکروکروسین ضروری هستند (Work et al., 2012). برخی از پژوهشگران افزایش درصد پیکروکروسین را در نتیجه استفاده از باکتری‌های محرک رشد گزارش کردند (Rasouli et al., 2015). بیشترین میزان ماده موثره پیکروکروسین در تیمار تلفیقی کودهای زیستی و کمترین در تیمار شاهد به‌دست آمد (Esmaili et al., 2013).

سافرانال

نتایج تجزیه واریانس جدول ۵ نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی، کود زیستی و برهمکنش دوگانه آن‌ها ($P \leq 0.01$) بر میزان سافرانال معنی‌دار بود.

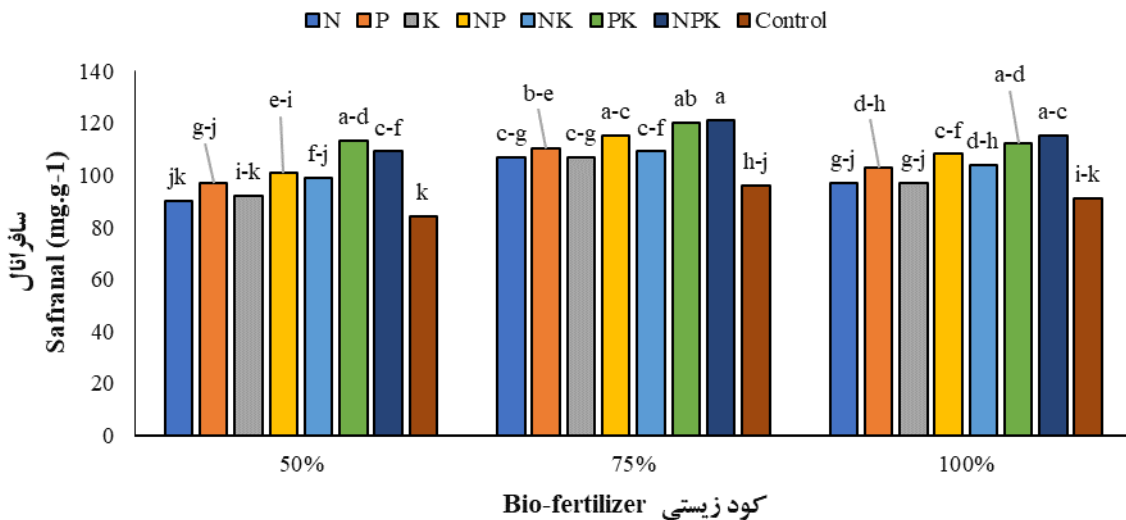
پیکروکروسین

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثرات اصلی تنش خشکی، کود زیستی و برهمکنش دوگانه آن‌ها ($P \leq 0.01$) بر میزان پیکروکروسین معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج نشان داد با افزایش سطوح تنش از ۱۰۰ درصد به ۷۵ درصد بر میزان پیکروکروسین افزوده شد ولی با اعمال شدت تنش بیشتر به ۵۰ درصد از میزان پیکروکروسین کاسته شد. از سوی دیگر، در هر سه سطح تیمار آبی، اعمال کودهای زیستی اثرات منفی تنش کاهش یافت. در هر سه سطح تنش بیشترین میزان پیکروکروسین در تیمار ترکیبی NPK و PK بدست آمد و کمترین میزان پیکروکروسین در تیمار شاهد ثبت شد. تفاوت بیشترین و کمترین میزان پیکروکروسین در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۶۹، ۵۹ و ۶۳ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی میزان پیکروکروسین افزوده شد ولی در شرایط تنش شدید ۵۰ درصد اثرات کودهای زیستی بیشتر بود (شکل ۲). میزان ماده موثره موجود در گیاهان دارویی به شرایط آب و هوایی، روش‌های زراعی، مدیریت آبیاری و همچنین تغذیه کودی بستگی دارد، بنابراین بهبود عملکرد کمی و کیفی می‌تواند توسط هر یک از این عوامل حاصل گردد (Kuntal et al., 2007).



شکل ۲. برهمکنش دوگانه تنش خشکی و کودهای زیستی بر میزان پیکروکروسین زعفران

Fig 2. Dual interaction of drought stress and biofertilizers on the amount of picrocrocin in saffron



شکل ۳. برهمکنش دوگانه تنش خشکی و کودهای زیستی بر میزان سافرانال زعفران

Fig 3. Dual interaction of drought stress and biofertilizers on the amount of safranal in saffron

کمترین میزان سافرانال نیز در شاهد بدون کود بدست آمد. تفاوت بیشترین و کمترین میزان سافرانال در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۳۵، ۲۶ و ۲۶ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر میزان سافرانال افزوده شد اما در شرایط تنش شدید اثرات مثبت کودهای زیستی بیشتر بود (شکل ۳). تنش خشکی باعث کاهش دسترسی گیاه به آب می‌شود که این امر منجر به کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی و

با توجه به نتایج مقایسه میانگین صفات، در تمام تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش سطوح تنش از ۱۰۰ درصد به ۷۵ درصد، میزان سافرانال افزایش یافت و با افزایش شدت تنش به ۵۰ درصد میزان سافرانال کاهش یافت. از سوی دیگر، در هر سه سطح تنش خشکی، کودهای زیستی باعث افزایش میزان سافرانال شد. نتایج نشان داد در هر سه سطح تنش، بیشترین میزان سافرانال در تیمار ترکیبی NPK و PK مشاهده شد و در هر سه سطح تنش تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند.

همراه با سنگ فسفات، باعث بهبود میزان قند و کیفیت (مقدار ساکارز) آن در مقایسه با شاهد گردید.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش شدت تنش از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی، خصوصیات وزن تر گل، تعداد گل، وزن خشک کلاله و خامه و وزن خشک گل بدون کلاله و خامه کاهش یافت. از سوی دیگر، در هر سه سطح نیاز آبی، با اعمال کودهای مختلف زیستی (باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاس) به‌صورت تکی، دو تایی و سه تایی باعث تعدیل اثرات منفی تنش شدند، هرچند ترکیبات دوتایی و سه تایی اثرات مثبت بیشتری داشتند. همچنین، نتایج صفات کیفی نشان داد در تمام تیمارهای کودی، اعمال رژیم آبی از ۱۰۰ درصد به ۷۵ درصد بر میزان کروسین، پیکروکروسین و سافرانال افزوده شد ولی با افزایش شدت تنش به ۵۰ درصد بر میزان صفات فوق‌کاسته شد، هرچند که کودهای مختلف زیستی اثرات منفی تنش را کاهش دادند. در نهایت، برای داشتن عملکرد مطلوب، بهترین تیمار، آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کود زیستی ترکیبی NPK بود در حالی که از نظر کیفی، آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی به‌همراه کود زیستی ترکیبی NPK دارای بهترین تیمار بود.

متابولیسم گیاه می‌گردد. کاهش فعالیت فتوسنتزی منجر به کاهش تولید انرژی و ترکیبات پیش‌ساز می‌شود که برای سنتز سافرانال ضروری هستند. به علاوه، تنش خشکی می‌تواند تولید هورمون‌های استرس مانند اتیلن را افزایش دهد که منجر به پیری زودرس سلول‌ها و کاهش تولید متابولیت‌های ثانویه مانند سافرانال می‌شود (Ramakrishna & Ravishankar, 2011). بررسی منابع اشاره به تفاوت نظرات در تاثیر رژیم آبیاری بر میزان سافرانال زعفران دارد. رضانی و همکاران (Ramazani et al., 2020) گزارش کردند دور آبیاری ۳۰ روز نسبت به دور آبیاری ۷۰ روز دارای سافرانال بیشتری بود. در حالی که فیضی و همکاران (Feizi et al., 2014) بیان کردند مدیریت آبیاری به‌طور معنی‌داری قادر به تغییر سافرانال نمی‌باشد. از سوی دیگر، عالیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2019) و شکرانی و همکاران (Shokrani et al., 2012) گزارش کردند، در ترکیب کودهای مختلف مورد استفاده در آزمایش، کود زیستی ازتوباکتر بیشترین میزان تاثیرگذاری را داشت. همچنین، گزارش شده است کود بیولوژیک نیتروکسین (تلفیق ازتوباکتر و آزوسپریلوم) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس در گل همیشه بهار شد. در پژوهشی که توسط ساندرا و همکاران (Sundara et al., 2002) بر روی گیاه نیشکر (*Saccharum hybrid*) انجام شد، مشاهده گردید که کاربرد یک گونه از باکتری‌های حل‌کننده فسفات

منابع

- Abbasniyazare, S. K., Sedaghatoor, S., & Dahkaei, M. N. P. (2012). Effect of biofertilizer application on growth parameters of *Spathiphyllum* illusion. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 12 (5): 669-673. DOI: 10.5829/idosi.ajeaes.2012.12.11.1821
- Abdel Latef, A. A. H., Abu Alhmad, M. F., Kordrostami, M., Abo-Baker, A. B. A. E., & Zakir, A. (2020). Inoculation with *Azospirillum lipoferum* or *Azotobacter chroococcum* reinforces maize growth by improving physiological activities under saline conditions. *Journal Plant Growth Regulation*. 39, 1293-1306. doi: 10.1007/s00344-020-10065-9
- 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 & Technology*. 7(2): 227-244. <https://doi.org/10.22048/jsat.2018.109405.1274> (In Persian with English Summary).
- Azizi-Zohan, A. A., Kamgar-Haghighi, A. A., & Sepaskhah, A. R. (2006). Effect of Irrigation Method and frequency on corm and saffron (*Crocus sativus* L.) production. *The Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 10 (1): 45-54. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.24763594.1385.10.1.4.9>.

- Bandegi, A. R., Rashidy-Pour, A., Vafaei, A. A., & Ghadrdoost, B. (2014). Protective Effects of *Crocus Sativus* L. Extract and Crocin against Chronic-Stress Induced Oxidative Damage of Brain, Liver and Kidneys in Rats. *Adv Pharm Bull.* 2014 Dec;4(Suppl 2):493-9. doi: 10.5681/apb.2014.073.
- Batool, T., Ali, S., Seleiman, M. F., Naveed, N. H., Ali, A., Ahmed, K. H., Abid, M., Rizwan, M., Shahid, M. R., Alotaibi, M., Al-Ashkar, I., & Mubushar, M. (2020). *Scientific Reports.* 10:16975. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73489-z>
- Ben-Laouane, R., Meddich, A., Bechtaoui, N., Oufdou, K., & Wahbi, S. (2019). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia symbiosis on the tolerance of *Medicago sativa* to salt stress. *Gesunde Pflanz.* 71, 135–146. doi: 10.1007/s10343-019-00461-x
- Bijalwan, P., Sharma, M., & Kaushik, P. (2022). Review of the Effects of Drought Stress on Plants: A Systematic Approach. *Preprints.* 2022020014. doi: 10.20944/preprints202202.0014.v1.
- Chaji, N., Khorasani, R., Astaraei, 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. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/jsr.2013.352>.
- Chaudhary, P., Singh, S., Chaudhary, A., Sharma, A., & Kumar, G. (2022). Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. *Front. Plant Sci.* 13:930340. doi: 10.3389/fpls.2022.930340.
- Dogra, N., Yadav, R., Kaur, M., Adhikary, A., Kumar, S., & Ramakrishna, W. (2019). Nutrient enhancement of chickpea grown with plant growth promoting bacteria in local soil of Bathinda, Northwestern India. *Physiology and Molecular Biology of Plants.* 25(5):1251–1259. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00661-9>
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M. Z., Alharby, H., Wu, C., Wang, D., & Huang, J. (2017). Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. *Front. Plant Science.* 8:1147. doi: 10.3389/fpls.2017.01147
- Feizi, H., Mollafilabi, A., Sahabi, H., & Ahmadian, A. (2014). Effect of summer irrigation and conservation tillage on flower yield and qualitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology.* 2(4): 255-263. (In Persian with English Summary).
- Filipović, A. (2020). Water Plant and Soil Relation under Stress Situations. In: Meena, R. S., Datta, R., editors. *Soil Moisture Importance* [Internet]. London: IntechOpen; [cited 2022 Apr 06]. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/73223> doi: 10.5772/intechopen.93528
- Fischer, C., Leimer, S., Roscher, C., Ravenek, J., de Kroon, H., Kreutziger, Y., Baade, J., Beßler, H., Eisenhauer, N., Weigelt, A., Mommer, L., Lange, M., Gleixner, G., Wilcke, W., Schröder, B., & Hildebrandt, A. (2019). Plant species richness and functional groups have different effects on soil water content in a decade-long grassland experiment. *Journal of Ecology.* 107:127–141. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13046>
- García-Fraile, P., Menéndez, E., & Rivas, R. (2015). Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry [J]. *AIMS Bioengineering.* 2(3): 183-205. doi: 10.3934/bioeng.2015.3.183.
- Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E., & Pesarakli, M. (2022). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—a review. *Journal of Plant Nutrition.* 46(9), 2198–2230. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105720>.
- Ghorbani, M., Ramazani, S. H. R., Fallahi, H. R., & Mousavi Koochi, S. M. (2019). Effect of Drought Stress and Bio-fertilizer on Yield and Yield Components of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) Taub. *Journal of Medicinal Plants and By-products.* 1: 13-19. doi: 10.22092/JMPB.2019.119378
- Hosseini, M., & Rahimi, H. (2018). Effect of irrigation regimes on yield and qualitative criteria of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research (semi-annual).* 5 (2): 247- 255. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22048/jsat.2020.225629.1389>
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Saffron – Test methods. ISIRI NUMBER: 259-2. 1st. Revision, <http://www.isiri.org/asp/account/checklog.asp?ID=259-2.doc>.
- Khaitov, B., & Abdiev, A. (2018). Performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to bio-fertilizer and nitrogen application in arid condition. *Journal of Plant Nutrition.* 41(15): 1980-1987. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1484134>
- Khashei-Siuki, A., Hashemi, S. R., & Ahmader, M. (2016). Effects of Potasic Zeolite Levels and Irrigation Management on Agronomic Criteria and Yield of saffron (*Crocus sativus*

- L.). *Journal of Saffron Research (semi-annual)*. 4(1): 29-41. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/jsr.2016.391>.
- Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafari, A., & Esmailpour, B. (2013). Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research*. 1 (2): 120-135. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/jsr.2013.439>.
- Kiem, A. S., & Austin, E. K. (2013). Drought and the future of rural communities: opportunities and challenges for climate change adaptation in regional Victoria Australia. *Global Environmental Change*. 23(5): 1307-1316. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.06.003>.
- Kohanmoo, M., Aghaalikhani, A. M., & Rejali, F. (2015). Yield and quality response of three chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) ecotypes to biofertilizers application in Bushehr region. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 31 (3): 460-478. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.101881>.
- Koocheki, A., & Khajeh-Hosseini, M. (2020). Saffron science technology and health. *WP Woodhead Publishing*. <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780128186381>.
- MacCracken, M. C. (2008). Prospects for future climate change and the reasons for early action. *Journal of the Air and Waste Management Association*. 58(6): 735-786. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.6.735>.
- Meddich, A., Ait El Mokhtar, M., Bourzik, W., Mitsui, T., Baslam, M., & Hafidi, M. (2018). "Optimizing growth and tolerance of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) to drought, salinity, and vascular fusarium-induced wilt (*Fusarium oxysporum*) by application of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)," in *Root Biology*, eds B. Giri, R. Prasad, and A. Varma (Cham: Springer), 239-258. doi: 10.1007/978-3-319-75910-4
- Meddich, A., Oufdou, K., Boutasknit, A., Rklami, A., Tahiri, A., & Ben-Laouane, R. (2019). "Use of organic and biological fertilizers as strategies to improve crop biomass, yields and physicochemical parameters of soil," in *Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production*, ed. R. S. Meena (Singapore: Springer Singapore), 247-288. doi: 10.1007/978-981-13-8660-2_9
- Mzabri, I., Legsayer, M., Aliyat, F., Maldani, M., Kouddane, N. E., Boukroute, A., Bekkouch, I., & Berrichi, A. (2017). Effect of Drought Stress on the Growth and Development of Saffron (*Crocus Sativus*. L) in Eastern Morocco. *Atlas Journal of Biolog*. 364-370. doi: 10.5147/ajb.2017.0150.
- Parkash, V., & Singh, S. (2020). A Review on Potential Plant-Based Water Stress Indicators for Vegetable Crops. *Sustainability*. 12, 3945. <https://doi.org/10.3390/su12103945>.
- Pasban, F., Balouchi, H., Yadavi, A., Salehi, A., & Attarzadeh, M. (2015). The role of organic and biological fertilizers in qualitative and quantitative yield of soybean (*Glycine max* L.) cv Williams. *Journal of Agriculture and Sustainable Production*. 25 (3): 138-149. (In Persian with English Summary). https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_3949.html
- Prisa, D., Fresco, R., & Spagnuolo, D. (2023). Microbial Biofertilisers in Plant Production and Resistance: A Review. *Agriculture*. 13, 1666. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091666>.
- Qayyum, A., Al Ayoubi, S., Sher, A., Bibi, Y., Ahmad, S., Shen, Z., & Jenks, M. A. (2021). Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28(9), 5238-5249. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.040>
- Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, Gh., Eivazi, A. R., & Hoseini, T. (2011). Effect of bio and chemical fertilizers on yield and quality of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 27 (1): 81-96. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6645>.
- Ramakrishna, A., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal Behav*. 2011 Nov;6(11):1720-31. doi: 10.4161/psb.6.11.17613.
- Ramezani, A., Aroiee, H., Azizi, M., & Ahmadian, A. (2020). Assessing the Effects of Irrigation Management on Economic Yield and Production of Active Ingredients of Saffron Medicinal Plant (*Crocus sativus* L.) by Application of Organic Fertilizer and Nanocomposite Superabsorbent Polymers. *Saffron Agronomy & Technology*. 8(1): 3-18. <https://doi.org/10.22048/jsat.2019.135749.1304>.
- Saeidi Aboueshaghi, R., Omidi, H., & Bostani, A. (2022). Effect of Chicken Manure and Chemical Fertilizers on Some Morphological Characteristics and Flowers

- Production and Replacement Corm of Saffron (*Crocus sativus* L.) under Irrigation Regimes. *Saffron Agronomy & Technology*. 10(1): 19-39. doi: 10.22048/jsat.2022.300362.1436.
- Salariyan, A., Mahmoodi, S., Behdani, M. A., & Kaveh, H. (2023). Effects of Irrigation Water Quality, Bio-fertilizer and Nanoparticles of Fe on Yield and Some Physiological Traits of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*. 11(1), 31-47. (In Persian with English Summary). doi: 10.22077/jsr.2021.4471.1164.
- Sarwat, M., & Tuteja, N. (2017). Hormonal signaling to control stomatal movement during drought stress. *Plant Gene*. 11, 143–153. doi: 10.1016/j.plgene. 2017.07.007
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., & Battaglia, M. L. (2021). Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants (Basel)*. 28;10(2):259. doi: 10.3390/plants10020259.
- Sharifi, G., Niknam, V., Sedighi, F., & Seifi Kalhor, M. (2020). Investigation of GABA effect on drought stress tolerance improvement in cultivated saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Plant Process and Function*. 9 (39): 29-50, doi: http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1359-en.html.
- Shen, Z., Zhong, S., Wang, Y., Wang, B., Mei, X., & Li, R., et al. (2013). Induced soil microbial suppression of banana fusarium wilt disease using compost and biofertilizers to improve yield and quality. *Eur. J. Soil Biol.* 57, 1–8. doi: 10.1016/j.ejsobi.2013.03.006.
- Shokrani, F., Pirzad, A., Zardoshti, M.R., & Darvishzadeh, R. (2012). Effect of biological nitrogen on the yield of dried flower and essential oil of *Calendula officinalis* L. under end season water deficit condition. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 3 (1): 24-34. <https://europub.co.uk/articles/-A-4874>.
- Silva, L. I. d., Pereira, M. C., Carvalho, A. M. X. d., Buttrós, V. H., Pasqual, M., & Dória, J. (2023). Phosphorus-Solubilizing Microorganisms: A Key to Sustainable Agriculture. *Agriculture*. 13, 462. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020462>.
- Su, X., Yuan, C., Wang, L., Chen, R., Li, X., Zhang, Y., Liu, C., Liu, X., Liang, W., & Xing, Y. (2021). The Beneficial Effects of Saffron Extract on Potential Oxidative Stress in Cardiovascular Diseases. *Oxid Med Cell Longev*. 19; 2021:6699821. doi: 10.1155/2021/6699821.
- Sundara, B., Natarajan, V., & Hari, K. (2002). Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugar cane and sugar yields. *Field Crop Research*. 77 (1): 43-49. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00048-5).
- Wang, Y., & Wu, W. H. (2017). Regulation of potassium transport and signaling in plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 39, pp. 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.006>.
- Work, V. H., D'Adamo, S., Radakovits, R., Jinkerson, R. E., & Posewitz, M. C. (2012). Improving photosynthesis and metabolic networks for the competitive production of phototroph-derived biofuels. *Current Opinion in Biotechnology*. 23(3): 290-297. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.201111.022>.

COPYRIGHTS

© 2024 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

