



## Impact of Phosphate-Solubilizing, Potassium-Solubilizing, and Nitrogen-Fixing Biofertilizers on the Characteristics of Saffron Corm under Different Irrigation Regimes

Mostafa Alinaghizadeh<sup>1\*</sup> and Mohammad Azimi Gandomani<sup>2</sup>

**Article type:**

Research Article

**Article history:**

Submitted: 30 July 2024

Revised: 14 August 2024

Accepted: 22 August 2024

Available Online: 22 August 2024

**How to cite this article:**

Alinaghizadeh, M., and Azimi Gandomani, M. 2024. Impact of Phosphate-Solubilizing, Potassium-Solubilizing, and Nitrogen-Fixing Biofertilizers on the Characteristics of Saffron Corm under Different Irrigation Regimes. *Saffron Agronomy & Technology*, 12(2), 179-194.

DOI: 10.22048/jsat.2024.470677.1537

### Abstract

Saffron (*Crocus sativus* L.), a bulbous and perennial plant, is highly influenced by environmental factors such as light, moisture, temperature, and nutrition, which can significantly affect its growth and development. To investigate the effects of different biofertilizers and irrigation regimes on the characteristics of saffron corms and flowers, an experiment was conducted over two agricultural years (2021-2022 and 2022-2023) in the agricultural lands of Ziar city, a suburb of Isfahan. This experiment was carried out as split plots based on randomized complete block design with three replications. The main factor was deficit irrigation at three levels (50%, 75%, and 100% of the crop water requirement), and the sub-factors included eight levels: nitrogen-fixing free-living bacteria (B-N), potassium-solubilizing bacteria (B-K), phosphate-solubilizing bacteria (B-P), their combination, and a control with no fertilizer. The results indicated that the highest number of corms (415 m<sup>-2</sup>), corm weight (2360 g. m<sup>-2</sup>), corm without scales belonged weight (2304 g. m<sup>-2</sup>), number of corms weighing 0-4 grams (244 m<sup>-2</sup>), number of corms weighing 4-8 grams (135 m<sup>-2</sup>), number of corms weighing 8-12 grams (55.3 m<sup>-2</sup>), number of corms weighing over 12 grams (64.2 m<sup>-2</sup>), dry stigma weight (0.492 g. m<sup>-2</sup>), and dry style weight (0.122 g. m<sup>-2</sup>) were obtained from the treatment with 100% water requirement and NPK biofertilizer combination. Ultimately, the best treatment for optimal performance was 100% water requirement combined with NPK biofertilizer.

Keywords: Potassium-Solubilizing Bacteria, Nitrogen-Fixing Bacteria, Corm Weight, Dry Stigma Weight.

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

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

Corresponding author: Alinaghizadeh62@pnu.ac.ir



## مقاله پژوهشی

# تأثیر کودهای زیستی حل کننده فسفات، پتاس و تثبیت کننده نیتروژن بر خصوصیات بانه زعفران تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

مصطفی علی نقی زاده<sup>۱\*</sup> و محمد عظیمی گندمانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹ مرداد ۱۴۰۳

تاریخ بازنگری: ۲۴ مرداد ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱ شهریور ۱۴۰۳

علی نقی زاده، م.، و عظیمی گندمانی، م. ۱۴۰۳. تأثیر کودهای زیستی حل کننده فسفات، پتاس و تثبیت کننده نیتروژن بر خصوصیات بانه زعفران تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. زراعت و فناوری زعفران، ۱۲(۲): ۱۷۹-۱۹۴.

## چکیده

از آنجایی که زعفران گیاهی پیازی و چند ساله می‌باشد، عوامل مختلف محیطی (نور، رطوبت، دما و تغذیه) می‌تواند رشد و توسعه آن را کاملاً تحت تاثیر قرار دهند. به منظور مطالعه خصوصیات بانه و 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 از توابع شهرستان اصفهان 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 تثبیت کننده نیتروژن (B-N)، باکتری‌های حل کننده پتاسیم (B-K)، باکتری‌های حل کننده فسفات (B-P)، ترکیب آن‌ها و شاهد بدون کود در هشت سطح به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد بیشترین تعداد بانه (۴۱۵ عدد در متر مربع)، وزن بانه (۲۳۶۰ گرم در متر مربع)، وزن بانه بدون پوشینه (۲۳۰۴ گرم در متر مربع)، تعداد بانه صفر تا ۴ گرم (۲۴۴ عدد در متر مربع)، تعداد بانه ۴ تا ۸ گرم (۱۳۵ عدد در متر مربع)، تعداد بانه ۸ تا ۱۲ گرم (۵۵/۳ عدد در متر مربع)، تعداد بانه بیش از ۱۲ گرم (۶۴/۲ عدد در متر مربع)، وزن خشک کلاله (۰/۴۹۲ گرم در متر مربع) و وزن خشک خامه (۰/۱۲۲ گرم در متر مربع) در تیمار ۱۰۰ 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.

**کلمات کلیدی:** باکتری‌های حل کننده پتاسیم، باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، وزن بانه، وزن خشک کلاله.

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

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

\*- نویسنده مسئول: [Alinaghizadeh62@pnu.ac.ir](mailto:Alinaghizadeh62@pnu.ac.ir)

## مقدمه

به طور سنتی، زعفران (*Crocus sativus* L.) به عنوان "طلای سرخ" شناخته می‌شود زیرا یکی از ارزشمندترین گیاهان در جهان است (Leone et al., 2018). زعفران در مناطق خشک و نیمه خشک با ارتفاعات بالا، بارندگی سالانه کم، زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم رشد می‌کند (Kafi, 2006; Khilare et al., 2019). از آنجایی که زعفران تری‌پلوئید است، تنها توسط بانه‌ها به صورت رویشی تکثیر می‌شود (Gresta et al., 2009). هر سال، هر بانه (بانه مادر) بسته به اندازه و شرایط کشت خود، بانه‌های دیگری (بانه دختری) تولید می‌کند (Gresta et al., 2009). با رشد بانه دختر، بانه مادر تجزیه می‌شود. عملکرد زعفران به رشد بانه‌های دختر در فصل قبل بستگی دارد (Renau-Morata et al., 2012). به طور کلی ذخیره مواد مغذی در بانه مادر تعیین کننده رشد زعفران است. به عبارت دیگر، یک بانه مادر بزرگتر انرژی بیشتری به بانه‌های دختر در حال رشد می‌دهد (Douglas et al., 2014). عوامل زیادی بر اندازه بانه دختر تأثیر می‌گذارند، از جمله می‌توان به شرایط آب و هوایی، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، تراکم بانه، عمق کاشت و مواد مغذی اشاره کرد.

از آنجایی که زعفران گیاهی پیازی و چند ساله می‌باشد، عوامل مختلف محیطی (نور، رطوبت، دما و تغذیه) می‌تواند رشد و توسعه آن را کاملاً تحت تأثیر قرار دهند (Salariyan et al., 2023). این گیاه هر ساله از اواسط بهار تا اواخر تابستان به خواب رفته و گلدهی آن در اواسط پاییز اتفاق می‌افتد (Gresta et al., 2016). گسترش کشت و کار زعفران معمولاً در مناطق کم بارش با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است (Kothari et al., 2021)؛ لذا تنش خشکی از پدیده‌های اجتناب‌ناپذیر در زراعت زعفران محسوب می‌شود و بر عملکرد اقتصادی آن تأثیرگذار است.

محدودیت منابع آب کشور و کمبود نزولات آسمانی، حرفه کشت و زرع گیاهان زراعی را در ایران با چالشی بزرگ مواجه ساخته است. به طوری که امروزه تنش خشکی یکی از مشکلات اساسی کشاورزی در کشور محسوب شده و به عنوان مهم‌ترین عامل کاهش تولید به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود (Vafaei et al., 2019). تنش خشکی ضمن کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان، باعث محدودیت رشد و بروز برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آن‌ها می‌گردد (Kafi et al., 2018).

از سوی دیگر، اثرات کودهای شیمیایی بر محیط زیست و سلامت انسان نامطلوب است (Ju et al., 2018)، در حالی که کودهای زیستی (باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)) کودهای طبیعی حاوی باکتری‌های آزاد هستند که بدون آسیب رساندن به محیط زیست یا سلامت انسان، خاک را با مواد مغذی ضروری غنی می‌کنند. کودهای زیستی از اجزای مهم کشاورزی پایدار هستند زیرا نیاز به کودهای معدنی را کاهش می‌دهند (Rezaei-Chiyaneh et al., 2018). علاوه بر این، علت PGPR (الف) رشد گیاه را با تولید و آزادسازی فیتوهورمون‌ها مانند اسید ایندول استیک، سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها تحریک می‌کند. (ب) افزایش همزیستی تثبیت نیتروژن. (ج) حل کردن فسفات معدنی و معدنی شدن فسفات آلی و/یا سایر مواد مغذی و (د) مقاومت، تحمل یا رقابت با میکروارگانیسم‌های مضر (Lugtenberg & Kamilova, 2009). در نتیجه، PGPR رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Zhang & Kong, 2014).

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

اثرات کودهای زیستی بر عملکرد بنة زعفران تحت رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد.

### مواد و روش‌ها

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 ۰-۳۰ 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.

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 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

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش  
Table 1- Soil chemical and physical characteristics of the experimental site

بافت خاک Soil texture	نیتروژن در دسترس Total N (%)	فسفر Available P (mg.kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم Available K (mg.kg <sup>-1</sup> )	pH	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	O.C. (%)
لوم سیلتی (Silty loam)	0.065	13.2	186	7.66	1.79	0.616

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 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. به‌طور 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

این آزمایش به‌صورت 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 آزادزی 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

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 دانش بنیان خوشه پروران زیست فناور تهیه شد.

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 بهمن ماه و فروردین ماه انجام شد.

جدول ۲- مشخصات کودهای زیستی

Table 2- Characteristics of biological fertilizers

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

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 کل بانه

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی کود زیستی و برهمکنش دوگانه تنش خشکی و کود زیستی (۰/۰۱)  $(p \leq)$  بر تعداد کل بانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد در تمام تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش سطوح تنش از تعداد بانه کاسته شد. همچنین در هر سه سطح تنش خشکی، کودهای زیستی اثرات منفی تنش را تعدیل بخشیدند.

به منظور برآورد عملکرد بانه‌های دختری در اوایل خردادماه از سطحی معادل ۰/۲ متر  $\times$  ۰/۲ متر از هر کرت بانه‌ها در سال ۱۴۰۲ برداشت شده و پس از شمارش تعداد بانه‌های دختری تولید شده و اندازه‌گیری قطر بانه‌ها با استفاده از کولیس، وزن آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی مدل AND ۰/۰۰۰۱ گرم تعیین گردید. همچنین، با توجه به اینکه تیمارهای مورد مطالعه در سال اول برای صفات بانه نمی‌تواند تاثیرگذار باشد، لذا در این بخش به مطالعه صفات بانه در سال دوم پرداخته شده است.

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 ۴۰  $\times$  ۵۰ سانتی‌متر مربع به صورت تصادفی سیستماتیک مستقر شد و عملکرد گل در این کوادرات‌ها تعیین شد. گل‌ها جمع‌آوری و سپس وزن وزن خشک کلاله و خامه خشک (دمای اتاق ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت) تعیین شد.

پس از اندازه‌گیری شاخص‌های مورد مطالعه، تجزیه و

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مربوط به بنه زعفران تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 3- Variance analysis of saffron corm traits under the influence of different treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean of square)		
		تعداد کل بنه Total number of corm	وزن کل بنه Total weight of corm	وزن بدون پوشینه Corm weight without scales
بلوک (Block)	2	12404 <sup>ns</sup>	193811 <sup>ns</sup>	98703 <sup>ns</sup>
تنش (A) (Drought stress)	2	16106 <sup>ns</sup>	322743*	569586*
خطای (Error) a	4	4407	44902	70019
کود زیستی (B) Bio-fertilizer	7	16004**	589515**	427119**
A × B	14	5971**	96206**	75446*
خطای کل Total error	42	1504	32402	37793
ضریب تغییرات (%) C.V.		11.6	9.82	11.1

\*\*، \* 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 تعداد کل بنه، وزن کل بنه، وزن نیاز بدون پوشینه

Table 4- Double interaction of drought stress and biofertilizers on the total number of corms, total corm weight, without scales belonged weight and

تنش (Drought) (stress)	کود زیستی Bio-fertilizer	تعداد کل بنه Total number of corm (m <sup>2</sup> )	وزن کل بنه Total weight of corm (g.m <sup>-2</sup> )	وزن بدون پوشینه Corm weight without scales (g.m <sup>-2</sup> )
۵۰ درصد نیاز آبی 50 % water requirement	نیتروژن N	250	1421	1319
	فسفر P	276	1714	1711
	پتاسیم K	274	1617	1530
	نیتروژن-فسفر NP	320	1880	1715
	نیتروژن-پتاسیم NK	304	1833	1593
	فسفر-پتاسیم PK	332	1865	1738
	نیتروژن-فسفر-پتاسیم NPK	351	1935	1837
	شاهد Control	188	1115	1129
	۷۵ درصد نیاز آبی 75 % water requirement	نیتروژن N	333	1723
فسفر P		340	1808	1797
پتاسیم K		340	1758	1718
نیتروژن-فسفر NP		358	1947	1838
نیتروژن-پتاسیم NK		343	1882	1784
فسفر-پتاسیم PK		364	1967	1921
نیتروژن-فسفر-پتاسیم NPK		391	2075	1932
شاهد Control		234	1190	1209
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100 % water requirement		نیتروژن N	353	1952
	فسفر P	377	2004	1996
	پتاسیم K	361	1988	1847
	نیتروژن-فسفر NP	403	2100	2056
	نیتروژن-پتاسیم NK	393	2042	1869
	فسفر-پتاسیم PK	409	2282	2153
	نیتروژن-فسفر-پتاسیم NPK	415	2360	2304
	شاهد Control	302	1526	1556
	LSD (5 %)	63.9	296.6	320

نتایج نشان داد در هر سه سطح تنش بیشترین و کمترین تعداد بنه 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 ۸۷، ۶۷ و ۳۷ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر میزان تعداد بنه افزوده شد ولی در شرایط تنش ۵۰ درصد اثرات مثبت کودهای زیستی بیشتر بود (جدول ۴).

#### وزن کل بنه

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 کل بنه زعفران معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد با افزایش سطوح تنش از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد از وزن کل بنه 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 بنه در تیمار ترکیبی NPK و PK بدست آمد و کمترین وزن بنه در تیمار شاهد ثبت شد. تفاوت بیشترین و کمترین وزن کل بنه در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۷۴، ۷۴ و ۵۵ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر وزن کل بنه افزوده شد ولی در شرایط آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی اثرات مثبت کودهای زیستی بیشتر بود (جدول ۴).

#### وزن بنه بدون پوشینه

نتایج تجزیه واریانس جدول ۳ نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی ( $p \leq 0/05$ )، کود زیستی و برهمکنش دوگانه آن‌ها ( $p \leq 0/05$ ) بر وزن بنه بدون پوشینه معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین صفات، در تمام تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش سطوح تنش وزن بنه بدون پوشینه 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 بنه بدون پوشینه در تیمار ترکیبی NPK و PK مشاهده شد و در سطوح تنش ۵۰ و ۷۵ درصد تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند. کمترین وزن بنه بدون پوشینه نیز شاهد بدون کود بدست آمد. تفاوت بیشترین و کمترین وزن بنه بدون پوشینه در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۶۳، ۶۰ و ۴۸ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر وزن بنه بدون پوشینه افزوده شد اما در شرایط تنش ۵۰ و ۷۵ درصد اثرات مثبت کودهای زیستی بیشتر بود (جدول ۴).

#### تعداد بنه صفر تا ۴ گرم

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی ( $p \leq 0/05$ )، کود زیستی ( $p \leq 0/01$ ) و برهمکنش دوگانه آن‌ها ( $p \leq 0/05$ ) بر تعداد بنه صفر تا ۴ گرم معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج نشان داد با افزایش سطوح تنش از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد از تعداد بنه صفر تا ۴ گرم کاسته شد، ولی در هر سه سطح تنش خشکی، اعمال کودهای زیستی اثرات منفی تنش کاهش یافت. در هر سه سطح تنش بیشترین میزان تعداد بنه صفر تا ۴ گرم در تیمار ترکیبی NPK و PK بدست آمد و کمترین وزن خشک خامه در تیمار شاهد ثبت شد. تفاوت بیشترین و کمترین وزن بنه صفر تا ۴ گرم در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۱۲، ۱۱۰ و ۸۸ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر تعداد بنه صفر تا ۴ گرم افزوده شد ولی در شرایط تنش اثرات مثبت کودهای زیستی برای تعداد بنه صفر تا ۴ گرم بیشتر بود (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مربوط به بنه زعفران تحت تاثیر تیمارهای مختلف

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

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean of square)			
		تعداد بنه ۰-۴ گرم Number corms 0-4 g	تعداد بنه ۴-۸ گرم Number corms 4-8 g	تعداد بنه ۸-۱۲ گرم Number corms 8-12 g	تعداد بنه ۱۲ گرم بالا Number corms more 12 g
بلوک (Block)	2	2145 <sup>ns</sup>	0.758 <sup>ns</sup>	233*	39.8 <sup>ns</sup>
تنش (Drought stress) (A)	2	5351*	828*	123*	805*
خطای (Error) a	4	545	99.4	14.5	51.3
کود زیستی Bio-fertilizer (B)	7	8690**	1726**	621**	1041**
A × B	14	2018*	618**	122*	155**
خطای کل Total error	42	856	53.7	50.0	43.3
ضریب تغییرات C.V. (%)		16.9	8.74	16.8	16.6

\*\*، \* 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 ۶- برهمکنش دوگانه تنش خشکی و کودهای زیستی بر اندازه های مختلف بنه زعفران

Table 6- Dual interaction of drought stress and biological fertilizers on different sizes of saffron corms

تنش (Drought stress)	کود زیستی Bio-fertilizer	تعداد بنه ۰-۴ گرم Corms number of 0-4 g (m <sup>2</sup> )	تعداد بنه ۴-۸ گرم Corms number of 4-8 g (m <sup>2</sup> )	تعداد بنه ۸-۱۲ گرم Corms number of 8-12 g (m <sup>2</sup> )	تعداد بنه ۱۲ گرم بالا Corms number of >12 g (m <sup>2</sup> )	
۵۰ درصد نیاز آبی 50 % water requirement	N نیتروژن	136	63.3	23.0	28.1	
	P فسفر	163	77.5	41.7	29.2	
	K پتاسیم	138	74.2	35.3	29.2	
	NP فسفر-نیتروژن	164	78.8	43.0	34.2	
	NK نیتروژن-پتاسیم	141	76.7	35.8	29.2	
	PK فسفر-پتاسیم	167	79.2	43.8	38.3	
	نیتروژن-فسفر-پتاسیم NPK	179	85.2	46.7	41.7	
	شاهد Control	84.3	47.2	22.6	15.4	
	۷۵ درصد نیاز آبی 75 % water requirement	N نیتروژن	164	73.3	38.8	35.0
		P فسفر	181	82.7	44.2	40.8
K پتاسیم		173	79.2	39.2	38.3	
NP فسفر-نیتروژن		188	88.7	46.7	41.7	
NK نیتروژن-پتاسیم		186	80.0	42.8	40.0	
PK فسفر-پتاسیم		192	91.8	51.7	56.7	
نیتروژن-فسفر-پتاسیم NPK		202	99.4	53.7	56.7	
شاهد Control		96.3	59.0	23.3	18.3	
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100 % water requirement		N نیتروژن	188	86.7	45.3	39.4
		P فسفر	198	98.5	48.8	50.8
	K پتاسیم	196	95.0	47.8	41.7	
	NP فسفر-نیتروژن	223	102	50.5	52.5	
	NK نیتروژن-پتاسیم	197	95.2	48.0	48.3	
	PK فسفر-پتاسیم	224	103	52.5	58.3	
	نیتروژن-فسفر-پتاسیم NPK	244	135	55.3	64.2	
	شاهد Control	130	59.8	30.2	24.9	
	LSD (5 %)	48.2	12.1	11.7	10.8	

## تعداد بنه ۴ تا ۸ گرم

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 تعداد بنه ۴ تا ۸ گرم معنی‌دار بود (جدول ۵). با توجه به نتایج مقایسه میانگین صفات، در تمام تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش سطوح تنش تعداد بنه ۴ تا ۸ گرم 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 تعداد بنه ۴ تا ۸ گرم در تیمار ترکیبی NPK و PK مشاهده شد و در هر دو سطح ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند. کمترین تعداد بنه ۴ تا ۸ گرم نیز شاهد بدون کود بدست آمد. تفاوت بیشترین و کمترین تعداد بنه ۴ تا ۸ گرم در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۸۱، ۱۱۳ و ۱۲۶ درصد بود (جدول ۶).

## تعداد بنه ۸ تا ۱۲ گرم

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی ( $p \leq 0/05$ )، کود زیستی ( $p \leq 0/01$ ) و برهمکنش دوگانه آن‌ها ( $p \leq 0/05$ ) بر تعداد بنه ۸ تا ۱۲ گرم معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد در تمام تیمارهای مورد مطالعه، با افزایش شدت تنش از میزان تعداد بنه ۸ تا ۱۲ گرم 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 تعداد بنه ۸ تا ۱۲ گرم به ترتیب در تیمار ترکیبی NPK و شاهد بدون کود بود. تفاوت بیشترین و کمترین تعداد بنه ۸ تا ۱۲ گرم در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۰۷، ۱۳۱ و ۸۳ درصد بود (جدول ۶).

## تعداد بنه بیش از ۱۲ گرم

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 تعداد بنه بیش از ۱۲ گرم معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج نشان داد با افزایش سطوح تنش از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد از تعداد بنه بیش از ۱۲ گرم کاسته شد، ولی در هر سه سطح تنش خشکی، اعمال کودهای زیستی اثرات منفی تنش کاهش یافت. در هر سه سطح تنش بیشترین تعداد بنه بیش از ۱۲ گرم در تیمار ترکیبی NPK و PK بدست آمد و کمترین تعداد بنه بیش از ۱۲ گرم در تیمار شاهد ثبت شد. تفاوت بیشترین و کمترین تعداد بنه بیش از ۱۲ گرم در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۷۱، ۲۱۰ و ۱۵۸ درصد بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال کودهای زیستی بر تعداد بنه بیش از ۱۲ گرم افزوده شد ولی در شرایط آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی اثرات مثبت کودهای زیستی بیشتر بود (جدول ۶).

از آنجایی که بنه بخشی از زعفران است که داخل خاک مستقر می‌باشد، لذا تغییرات فیزیکیوشیمیایی که در خاک رخ می‌دهند، می‌تواند بر خصوصیات بنه تاثیرگذار باشد (Asghari et al., 2019). خشکی باعث کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود که به معنای کاهش تولید انرژی و مواد آلی ضروری برای رشد بنه‌ها است (Nasir & Toth, 2022). در شرایط خشکی، گیاه انرژی کمتری برای تولید و توسعه بنه‌ها اختصاص می‌دهد که منجر به کاهش وزن بنه‌ها می‌شود. علاوه بر این، خشکی می‌تواند منجر به افزایش فشار اسمزی در سلول‌های گیاه شود که باعث کاهش تورژوسانس سلولی و در نهایت کاهش اندازه و وزن بنه‌ها می‌گردد (Nyaupane et al., 2024). تحقیقات نشان داده‌اند که شدت و مدت زمان تنش خشکی تأثیر مستقیم بر میزان کاهش تعداد و وزن بنه‌ها دارد

افزایش وزن بنه‌ها شد (Tamiru, 2023). در یک مطالعه مشخص شده است که استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ‌های میکوریزا باعث افزایش معنادار تعداد و وزن بنه‌های زعفران شده است (Jami et al., 2020). این نتایج نشان می‌دهد که کودهای زیستی می‌توانند به عنوان جایگزینی پایدار و کارآمد برای کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گیرند. نتایج مطالعه امیری و اسماعیلیان (Behzad Amiri & Esmailian, 2019) که به بررسی خصوصیات گل و بنه زعفران با سیستم تغذیه بیولوژیکی پرداختند بیان داشتند کودهای بیولوژیکی بیوفسفر دارای بیشترین میزان عملکرد بنه بود. در ادامه این محققان دلیل افزایش عملکرد بنه در حضور کود زیستی فسفره را به دلیل آزاد کردن فسفر تثبیت شده و تبدیل آن به فرم محلول و قابل جذب است، چرا که این عنصر نقش اساسی در تأمین انرژی و واکنش‌های اساسی گیاه و افزایش وزن بنه زعفران دارد (Behzad Amiri & Esmailian, 2019).

#### 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 ۷). 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

(Aliche et al., 2018; Lahlou et al., 2003). در شرایط خشکی شدید و طولانی‌مدت، کاهش تعداد و وزن بنه‌ها بیشتر مشهود است. این امر به این دلیل است که گیاه در تلاش برای بقا، منابع خود را به جای تولید بنه‌ها به سمت حفظ وضعیت حیاتی خود هدایت می‌کند (Shirzadi Laskookalayeh et al., 2017). همچنین، کیفیت بنه‌ها نیز ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد، زیرا خشکی می‌تواند منجر به کاهش محتوای مواد مغذی در بنه‌ها شود (Aliche et al., 2018). بررسی مطالعه ضیائی و همکاران (Ziaei et al., 2024) که بر روی بنه‌های دختری زعفران انجام دادند بیان داشتند با افزایش سطح تنش خشکی بر وزن و تعداد بنه زعفران کاسته شد. همچنین نتایج مطالعه سعیدی ابواسحق و همکاران (Saeidi Aboueshaghi et al., 2022) نیز با نتایج مطالعه ما همسو بود.

همچنین، کودهای زیستی با بهبود فعالیت میکروبی در خاک، جذب بهتر عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم را امکان‌پذیر می‌کنند که منجر به افزایش تعداد بنه‌ها می‌شود (Demir et al., 2023). علاوه بر این، کودهای زیستی با افزایش تنوع میکروبی در خاک، سلامت ریشه‌ها را بهبود بخشیده و مقاومت گیاه در برابر بیماری‌ها و آفات را افزایش می‌دهند که این موضوع نیز می‌تواند به افزایش تعداد بنه‌ها کمک کند. از سوی دیگر، کودهای زیستی با افزایش دسترسی گیاه به مواد مغذی و بهبود فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تولید بیشتر مواد آلی و انرژی را تسهیل می‌کنند (Ammar et al., 2023). این موضوع منجر به افزایش وزن بنه‌ها می‌شود. به طور خاص، کودهای زیستی فسفره از طریق ایجاد ارتباط همزیستی با ریشه‌ها، جذب آب و عناصر غذایی را افزایش می‌دهند و این امر به افزایش وزن بنه‌ها کمک می‌کند (Kumar et al., 2022). همچنین، گزارش شده است کودهای زیستی می‌توانند باعث بهبود ساختار خاک و افزایش نگهداری آب در خاک شوند که این امر به نوبه خود باعث رشد بهتر و

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 ۷). 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.

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 ۸). کودهای زیستی با بهره‌گیری از میکروارگانیزم‌های مفید، می‌توانند تاثیر مثبتی بر رشد و توسعه گیاهان، به ویژه در شرایط تنش خشکی، داشته باشند. این کودها با بهبود ساختار خاک، 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

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات مربوط به گل زعفران تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 7- Variance analysis of traits related to saffron flower under the influence of different treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean of square)	
		وزن خشک کلاله Stigma dry weight	وزن خشک خامه Style dry weight
بلوک (Block)	2	0.010*	0.001*
تنش (Drought stress) (A)	2	0.024**	0.010**
خطای (Error) a	4	0.001	0.0001
کود زیستی Bio-fertilizer (B)	7	0.034**	0.002**
A × B	14	0.010**	0.0005**
خطای کل Total error	42	0.003	0.0001
ضریب تغییرات (%) C.V.		17.1	12.3

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

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

جدول ۸-برهمکنش دوگانه تنش خشکی و کودهای زیستی بر خصوصیات گل زعفران  
Table 8-Dual interaction of drought stress and biofertilizers on saffron flower characteristics

تنش (Drought stress)	کود زیستی Bio-fertilizer	وزن خشک کلاله Stigma dry weight (g.m <sup>-2</sup> )	وزن خشک خامه Style dry weight (g.m <sup>-2</sup> )
۵۰ درصد نیاز آبی 50 % water requirement	N نیتروژن	0.233	0.044
	P فسفر	0.242	0.046
	K پتاسیم	0.250	0.056
	NP نیتروژن-فسفر	0.245	0.057
	NK نیتروژن-پتاسیم	0.264	0.060
	PK فسفر-پتاسیم	0.274	0.066
	NPK نیتروژن-فسفر-پتاسیم	0.293	0.087
	Control شاهد	0.140	0.038
۷۵ درصد نیاز آبی 75 % water requirement	N نیتروژن	0.258	0.051
	P فسفر	0.273	0.061
	K پتاسیم	0.274	0.073
	NP نیتروژن-فسفر	0.344	0.090
	NK نیتروژن-پتاسیم	0.359	0.092
	PK فسفر-پتاسیم	0.360	0.092
	NPK نیتروژن-فسفر-پتاسیم	0.373	0.105
	Control شاهد	0.166	0.050
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100 % water requirement	N نیتروژن	0.330	0.100
	P فسفر	0.292	0.091
	K پتاسیم	0.305	0.096
	NP نیتروژن-فسفر	0.376	0.100
	NK نیتروژن-پتاسیم	0.377	0.104
	PK فسفر-پتاسیم	0.373	0.122
	NPK نیتروژن-فسفر-پتاسیم	0.492	0.122
	Control شاهد	0.201	0.066
LSD (5 %)		0.084	0.016

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

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 خشک خامه بیشتر بود (جدول ۸). در شرایط تنش خشکی، گیاهان با کاهش دسترسی به آب مواجه می‌شوند که منجر به کاهش پتانسیل آبی در سلول‌ها و کاهش تورژانس 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

### نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش شدت تنش از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی، خصوصیات وزن بنه، تعداد بنه، وزن خشک کلاله و خامه کاهش یافت. از سوی دیگر، در هر سه سطح نیاز آبی، با اعمال کودهای مختلف زیستی (باکتری‌های تثبیت کنند نیتروژن، باکتری‌های حل کننده فسفات و پتاس) به صورت ترکیبی، ترکیب دو تایی و ترکیب سه تایی باعث تعدیل اثرات منفی تنش شدند، هرچند ترکیبات دوتایی و سه تایی اثرات مثبت بیشتری داشتند. در نهایت، برای داشتن عملکرد مطلوب، بهترین تیمار، آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کود زیستی ترکیبی NPK و PK بود.

فرآیندهای متابولیکی 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).

### منابع

- 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 of Plant Growth Regulation*, 39, 1293–1306. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10065-9>.
- Aliche, E. B., Oortwijn, M., Theeuwens, T. P. J. M., Bachem, C. W. B., Visser, R. G. F., & van der Linden, C.G. (2018). Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. *Agricultural Water Management*, 206, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.013>.
- 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).
- Ammar, E. E., Rady, H. A., & Khattab, A. M. (2023). A comprehensive overview of eco-friendly bio-fertilizers extracted from living organisms. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 113119–113137. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30260-x>.
- Asghari, R., Dadashi, M., Razavi, A., Feizi, H., & Bakhtiari S. (2019). Effect of cow manure on yield and morphological and physiological characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) under salinity stress. *Saffron Agronomy & Technology*, 7(2), 171-184. <https://doi.org/10.22048/jsat.2018.98710.1257>. (In Persian with English Summary).
- Behzad Amiri, M., & Esmailian, Y. (2019). Study of flower and corm quantitative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) under organic, biological, and chemical nutrition systems in the Gonabad area. *Saffron Agronomy & Technology*, 7(1), 27-40.

- <https://doi.org/10.22048/jsat.2018.109086.1273>  
 . (In Persian with English Summary).
- Demir, H., Sönmez, İ., Uçan, U., & Akgün, İ.H. (2023). Biofertilizers improve the plant growth, yield, and mineral concentration of lettuce and broccoli. *Agronomy*, *13*, 2031. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082031>.
- 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 & Molecular Biology of Plants*, *25*(5), 1251–1259. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00661-9>
- Douglas, M. H., Smallfield, B. M., Wallace, A. R., & McGimpsey, J. A. (2014). Saffron (*Crocus sativus* L.) The effect of mother corm size on progeny multiplication, flower and stigma production. *Scientia Horticulturae*, *166*, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.12.007>.
- 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. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2019.119378>. (In Persian with English Abstract).
- Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G., Siracusa, L., & Ruberto, G. (2009). Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by environmental conditions. *Scientia Horticulturae*, *119*, 320–324. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.008>.
- Gresta, F., Santonoceto, C., & Avola, G. (2016). Crop rotation as an effective strategy for saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation. *Scientia Horticulturae*, *211*, 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.007>.
- Jami, N., Rahimi, A., Naghizadeh, M. and Sedaghati, E. (2020). Investigating the use of different levels of Mycorrhiza and Vermicompost on quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*. *262*: 109027. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109027>.
- Ju, I., Wj, B., Md, S., Ia, O., & Oj, E. (2018). A review: biofertilizer; a key player in enhancing soil fertility and crop productivity. *Journal of Microbiology & Biotechnology*, *2*, 22–28. <https://doi.org/10.26765/DRJAFS.2018.4815>.
- Kafi, M., 2006. Saffron ecophysiology. In: Kafi, M., Koocheki, A., Rashed, M.H., Nassiri, M. (Eds.), Saffron (*Crocus sativus* L.) production and processing. Science Publishers, Enfield, pp. 39–58. <https://doi.org/10.1201/9781482280463>.
- Kafi, M., Borzuie, A., Salehi, M., Kamandi, M., Masumi, A., & Nabati, J. (2018). Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jihad Daneshgahi Publications of Mashhad. 502 p. (In Persian with English Summary).
- 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>
- Khilare, V., Tiknaik, A., Prakash, B., Ughade, B., Korhale, G., Nalage, D., Ahmed, N., Khedkar, C. & Khedkar, G. (2019). Multiple tests on saffron find new adulterant materials and reveal that IST grade saffron is rare in the market. *Food Chemistry*, *272*, 635–642. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.089>.
- Kothari, D., Thakur, R., & Kumar, R. (2021). Saffron (*Crocus sativus* L.): gold of the spices—A comprehensive review. *Horticulture, Environment & Biotechnology*, *62*(3), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13580-021-00349-8>.
- Kumar, S., Diksha Sindhu, S.S., & Kumar, R. (2022). Biofertilizers: An ecofriendly

- technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>
- Lahlou, O., Ouattar, S., & Ledent, J.F. (2003). The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. *Agronomie*, 23(3), pp.257-268. <https://doi.org/10.1051/agro:2002089>.
- Leone, S., Recinella, L., Chiavaroli, A., Orlando, G., Ferrante, C., Leporini, L., Brunetti, L., & Menghini, L. (2018). Phytotherapeutic use of the *Crocus sativus* L. (Saffron) and its potential applications: a brief overview. *Phytotherapy Research*, 32, 2364–2375. <https://doi.org/10.1002/ptr.6181>.
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>.
- 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. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75910-4>.
- Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: A Review. *Agronomy*, 12, 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>
- Nyaupane, S., Poudel, M. R., Panthi, B., Dhakal, A., Paudel, H., & Bhandari, R. (2024). Drought stress effect, tolerance, and management in wheat – a review. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2296094>.
- 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 Abstract).
- 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>.
- Renau-Morata, B., Nebauer, S. G., Sanchez, 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>.
- Rezaei -Chiyaneh, E., Seyyedi, S. M., Ebrahimian, E., Siavash -Moghaddam, S., & Damalas, C. A. (2018). Exogenous application of gamma -aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water deficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). *Industrial Crops & Products*, 112, 741–748. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.067>.
- 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. <https://doi.org/10.22048/jsat.2022.300362.1436>

- . (In Persian with English Summary).
- 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. <https://doi.org/10.22077/jsr.2021.4471.1164>. (In Persian with English Summary).
- Shirzadi laskookalayeh, S., sabuhi sabuni, M., Keikha, A. A., & Davari, K. (2017). Irrigation management of saffron by using the price and quantity policies of water (case study: Naishabur basin). *Saffron Agronomy and Technology*, 5(2), 149-160. <https://doi.org/10.22048/jsat.2015.11761>. (In Persian with English Summary).
- 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>.
- Tamiru, G. 2023. Role of bio-Fertilizers in improving soil fertility and crop production. *Cross Current International Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 5(6), 118-127. <https://doi.org/10.36344/ccijavs.2023.v05i06.003>.
- Vafaei, M. H., Parsa, M., Nezami, A., Ganjeali, A., & Norouzi sharaf, A. R. (2019). Effect of drought stress on leaf chlorophyll fluorescence, yield, yield components and economic water use efficiency of selected lentil genotypes. *Journal of Crop Improvement*, 21(2), 131-148. <https://doi.org/10.22059/jci.2018.268140.2105>. (In Persian with English Summary).
- Zhang, C.S., & Kong, F.Y. (2014). Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. *Applied Soil Ecology*, 82, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.002>.
- Ziaei, S. M., feizi, H., Khashei, A., & Sahabi, H. (2024). Investigating the effect of corm priming of saffron (*Crocus sativus* L.) on some physiological characteristics and daughter corm under drought stress conditions. *Saffron Agronomy & Technology*, 12(1), 27-40. <https://doi.org/10.22048/jsat.2024.436406.1519>. (In Persian with English Summary).