Journal of Saffron Research

Vol. 13, No. 2, p. 219-236, 2025

10.22077/jsr.2025.9948.1286

University of Birjand

Original Article

Studying the Effects of Manure and Zeolite on Nitrogen Uptake and Utilization Efficiency of Saffron (*Crocus sativus* L.) Under Deficit Irrigation Conditions

Javaher Rahmanian[1], Morteza Goldani[2]*, Fatemeh Yaghoubi[3]

1- MSc Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3- Postdoctoral Researcher, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding author: *goldani@ferdowsi.um.ac.ir*

Received: 19 August 2025, **Revised:** 28 August 2025, **Accepted:** 14 October 2025

Extend Abstract

Introduction: Saffron, scientifically known as Crocus sativus L., has a dark red, cream yellow, and orange color and a strong odor. Saffron also has stigmas of various shapes and is used in the food, pharmaceutical and raw dyeing industries. This plant is cultivated in an area of about 123,000 hectares of land in the world, and 85,000 hectares are under cultivation in Iran. According to statistics, 94% of the world's saffron is attributed to Iran. The saffron plant has been introduced into regional cultivation patterns due to its high drought tolerance. The use of animal manure in saffron fields, in addition to improving nutrients and preventing soil compaction, also increases corm growth. Zeolites are alkaline porous honeycomb structures of various shapes that reduce the toxicity of heavy metals in the soil such as cadmium, lead and nitrogen and manage irrigation efficiency. The application of cow manure ameliorates salt stress-induced inhibition of flowering by conserving soil moisture, strengthening the root system, increasing weight and improving cation exchange performance, which increases the photosynthesis of saffron plants and reduces flowering performance. Zeolites are natural aluminosilicates with tetrahedral structures of AlO_2^- and SiO_4^{4-}, which are enlarged by the atoms of the equipment. They are economical, selective for nitrogen and have cation exchange. Nitrogen, as a rich source, plays a very positive role in photosynthesis, increasing cell division, producing large corms with a high number and, as a result, flowering in the field. The amount of nitrogen absorbed by a plant per unit of nitrogen applied to the soil is a key component of Nitrogen Use Efficiency (NUE).. An increase in nitrogen absorbed by the plant is directly related to an increase in nitrogen uptake efficiency in saffron. In general, smaller corms also have less total nitrogen. The main objective of this research is to investigate the water absorption efficiency and water consumption of saffron, which was carried out based on the different effects of zeolite and animal manure on water conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the efficiency of nitrogen absorption and utilization and stigma yield of saffron at different levels of manure and zeolite under

Copyright © 2025 by the authors
Published by University of Birjand. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

deficit irrigation conditions, a study was conducted in the 1401-1402 crop year at the research farm of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. The annual growth rate is about 150 million meters and this region has a cold and dry climate. This study was conducted in split plots based on a three-block basic design. Experiments were conducted with irrigation treatment at three levels (50, 75 and 100 percent of water requirement) as the main factor, manure consumption at three levels (9, 18 and 27 tons per ha) as a secondary factor, and zeolite consumption at three levels (0, 3 and 6 tons per ha) as a secondary factor. Before starting the study, the chemical and physical characteristics of the soil of the region, the characteristics of the cow manure used and specific comments were examined. The water requirement of saffron was calculated using CropWat software. Saffron corm cultivation was carried out in plots of 6 meters in September at a depth of about 15 cm of soil. Cultivable corms weighed about 8-12 grams and were planted manually. To measure leaf area, a leaf area measuring device (Lincoln, USALICOR, model LI-3100C) was used. In order to evaluate the performance of daughter corms, corms from each plot were removed from the soil in an area equivalent to 0.2 m × 0.2 m. The initial corm diameters were measured using a caliper. In this study, Irrigation was performed at specific timings: before flowering, after flowering, mid-March, and early April. Additionally, weed control was conducted manually on two occasions. In order to study the characteristics of saffron stigma, flowers were collected from each plot for about a month and the weight of the stigma was determined.

Results and Discussion: This study was conducted to investigate the effect of different levels of manure and zeolite on leaf area index, leaf dry weight, stigma dry weight, corm number (5-7, 7-9 grams) and nitrogen uptake and utilization efficiency of saffron under drought conditions. The results showed that under full irrigation, complete manure and complete zeolite conditions, we witnessed an increase in leaf area index and leaf dry weight. Also, in terms of stigma dry weight and saffron corm number under full irrigation, complete manure and complete zeolite conditions, the highest stigma dry weight and corm number (5-7, 7-9 grams) were obtained. Under full irrigation, complete manure and complete zeolite conditions, the percentage of saffron nitrogen uptake and utilization efficiency increased significantly. Simultaneous application of manure and zeolite reduced the negative effects of drought stress on saffron agronomic characteristics. From the perspective of nitrogen uptake and utilization efficiency, it was found that treatments with full irrigation, along with the highest levels of manure and zeolite, provided the highest nitrogen uptake and utilization. In general, the results of this study indicate that although under-irrigation has a very high negative impact on nitrogen uptake and utilization efficiency, simultaneous application of manure and zeolite largely balances the negative effects and at the end of the crop year leads to an increase in the final yield of the field and an increase in the quality of the product from an economic perspective.

Conclusion: The targeted co-application of manure and zeolite effectively mitigates drought stress, thereby enhancing nitrogen use efficiency and increasing saffron stigma yield.

Conflict of Interest: The author declares no potential conflict of interest related to this research

Keywords: Leaf area index, Nitrogen efficiency, Stigma dry weight, Water deficit stress, Water requirement.

نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد سیزدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۴
شماره صفحه: – ۲۱۹
10.22077/jsr.2025.9948.1286

مقاله پژوهشی

مطالعه اثرات کود دامی و زئولیت بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت شرایط کم‌آبیاری

جواهر رحمانیان[۱]، مرتضی گلدانی[۲*]، فاطمه یعقوبی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- پژوهشگر پسادکتری، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*نویسنده مسئول: *goldani@ferdowsi.um.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۸؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲

چکیده

جهت تعیین کارایی جذب و مصرف نیتروژن و میزان عملکرد کلاله خشک و بررسی تعداد بنه زعفران (*Crocus sativus* L.) در سطوح مختلف کود دامی و زئولیت تحت شرایط کم‌آبیاری، پژوهشی در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد، به‌صورت اسپلیت، اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) ، استفاده ازکود دامی در سه سطح (۹، ۱۸ و ۲۷ تن در هکتار) و زئولیت در سه سطح (۰، ۳ و ۶ تن در هکتار) درنظرگرفته شد. در تیمار (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، ۲۷ تن در هکتار کود دامی و ۶ تن در هکتار زئولیت شاهد افزایش به ترتیب ۱۵ و۱۰۷ و۳۰ درصدی حداکثر شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک کلاله نسبت به تیمار۵۰ درصد نیاز آبی، ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت بودیم. بیشترین عملکرد کلاله خشک در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۲۷ تن کود دامی و۶ تن در هکتار زئولیت با افزایش ۳۰درصدی نسبت به تیمار۵۰ درصد نیاز آبی، ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت حاصل شد. در شرایط آبیاری کامل و کود دامی ۲۷ و ۶ تن در هکتار زئولیت نسبت به آبیاری ۷۵درصد به ترتیب به میزان ۳۰ درصد و ۴۷درصد تعداد بنه با وزن ۷- ۵ و ۹-۷ گرم افزایش یافته و افزایش ۲۱۷ درصدی در کارایی جذب نیتروژن و افزایش ۴۸ درصدی درکارایی مصرف نیتروژن مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، شاخص سطح برگ، کارایی نیتروژن، نیاز آبی، وزن خشک کلاله.

Copyright © 2025 by the authors
Published by University of Birjand. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

مقدمه

زعفران با نام علمی (*Crocus sativus* L.) از خانواده زنبقیان یکی از گیاهان ارزشمند حوزه کشاورزی بوده و از طریق غیرجنسی تکثیر می‌شود (Khandan Deh Arbab et al., 2019). این گیاه چندساله و روزکوتاه است. خانواده زعفران دارای ۷۸ جنس و ۱۷۵۰ گونه می‌باشد و تنها گونه‌ای که برای تولید اقتصادی به کار می‌رود، گونه *sativus* است (Shariatmadari, 2017). خامه ده میلیمتری زعفران دارای کلاله‌ای به‌رنگ قرمز تیره همراه اشکال مختلف و خامه زرد و نارنجی همراه با بویی قوی بوده که درمصارف غذایی، دارویی و صنایع رنگ‌رزی بسیاری کاربرد دارد(Kothari et al., 2021). این محصول، ادویه ای گران قیمت، دارای ترکیبات مؤثره شامل سافرانال، کروسین و پیکروکروسین بوده که مسئول رنگ و طعم زعفران هستند و از با ارزش ترین گونه‌های گیاهان زراعی در دنیا بوده که کشت آن از قدیم الایام در برخی از نقاط دنیا مانند ایران، هند، ایتالیا و یونان متداول بوده‌است (Koocheki et al., 2011). سطح زیرکشت زعفران در جهان رقمی ۱۲۲-۱۲۳هزار هکتار بوده و در حدود۹۲۰۰۰هکتار از سطح زیرکشت زعفران در ایران به استان خراسان رضوی و جنوبی اختصاص دارد و طبق آخرین آمار ۹۴ درصد زعفران تولیدی دنیا به ایران اختصاص دارد (Choupan et al., 2018). این گیاه ارزشمند نقش مهمی در کمک به بالابردن رتبه اقتصادی کشور داشته و برای بسیاری از جوانان شغل ایجاد نموده‌است همچنین کمک شایانی به ترویج و توسعه کشاورزی پایدار کشور می‌نماید (Moradi & Turhan, 2017). معمولاً زعفران به‌دلیل ساختار باریک برگ و تعرق پایین در طی خشکسالی به رطوبت کمی نیاز داشته و به عنوان گیاهی جایگزین در مناطق کم باران و خشک در نظر گرفته می‌شود (Gholami et al., 2023). محققین در مطالعه‌ای به بررسی عملکرد کمی گل و اثر سطوح مختلف آب مصرفی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق) بر شاخص‌های رشدی و عملکردی زعفران پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش حجم آب آبیاری (کاهش تنش خشکی)، فاکتورهای کمی مورد مطالعه (وزن خشک کلاله و وزن کل بنه) افزایش یافت (Safari Zarch et al., 2019). استفاده از کودهای دامی در مزرعه زعفران علاوه بر بهبود عناصر غذایی و جلوگیری از سله بستن خاک، سبب افزایش رشد بنه‌ها نیز می‌شود (Ebrahimi et al., 2019). محققین در پژوهشی بیان کردند که‌کاربرد ۳۰-۰ تن در هکتار کود گاوی موجب افزایش عملکرد خشک کلاله، میانگین وزن بنه، وزن گل تازه نسبت به تیمار شاهد و تحریک تولید بنه شد، همچنین کاربرد هم‌زمان کود گاوی و اسیدفولویک سبب رشد و بهبود شرایط خاک و شرایط غذایی جهت رشد بهینه بنه‌ها و ویژگی‌های تولیدمثلی زعفران و ثبات اکوسیستمی شد (Aminifard & Amiri, 2021). استفاده از مقادیر ۶۰-۳۰ تن در هکتار کود دامی قبل کشت پاییز و همچنین استفاده از ۲۰-۳۰ تن در هکتار کوددامی در طول دوره کشت تأثیر به‌سزایی در افزایش عملکرد نهایی مزرعه دارد. کاربرد کودهای‌دامی به‌خصوص در مزارع با بافت خاک فقیر، ضعیف و عاری از عناصر غذایی، سبب رساندن نیتروژن موردنیاز به بنه می‌شود (Ghorbani & Kouchaki, 2017). زئولیت‌ها آلومینوسیلیکاته‌های طبیعی با ساختارهای وسیع چهاروجهی AlO_4^3، SiO_4^4 متصل با اتم اکسیژن هستند. دارای صرفه اقتصادی، قابلیت انتخاب‌پذیری نسبت به نیتروژن، ظرفیت تبادل کاتیونی بسیار بالا هستند (Stosker et al., 2017). پژوهشگران به جهت بررسی اثر زئولیت بر سرعت سبز شدن زعفران دانشگاه بیرجند آزمایشی طراحی کرده و از ۳ نوع زئولیت کلسیکی با دانه‌بندی ۱ الی ۶ میلی‌متر، خاک ترکیبی با دانه‌بندی ۱ الی ۳ میلی‌متر و پتاسیک با دانه‌بندی ۱ الی ۳ میلی‌متر و هرکدام در دو سطح ۲۰ و ۶۰ گرم در هر کیلوگرم خاک استفاده نموده و نتایج نشان داد که استفاده از زئولیت مخصوصا پتاسیک سرعت سبز شدن زعفران را قدرت می‌بخشد (Ahmadi et al. 2013).

یکی از عناصر حیاتی بسیار مهم در بحث حاصلخیزی خاک و عملکرد نهایی مزرعه عنصر نیتروژن است. نیتروژن به‌عنوان یک منبع غنی در بحث فتوسنتز، افزایش تقسیم سلولی، تولید بنه‌های درشت با تعداد بالا و در نتیجه گل‌دهی مزرعه نقش بسیار مثبتی ایفا نموده و میزان آن در گیاهان بین ۱ الی ۶درصد متغیر است، در بررسی ساختار نوکلئیک‌اسیدها، آمینواسیدها و آلکالوئیدها عنصر نیتروژن به چشم می‌خورد (Bashan et al., 2004). افزایش نیتروژن جذب شده در بوته رابطه بسیار مستقیمی با افزایش کارایی جذب نیتروژن در زعفران دارد. گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه سبب توانایی

بیشتر گیاه در جذب نیتروژن خاک، افزایش کارایی فتوسنتزی و در نهایت کمک به افزایش عملکرد نهایی می‌گردد (Jo et al., 2015; Rasmussen et al., 2015). در هنگام کشت اولیه زعفران استفاده از بنه‌های مادری درشت با ذخیره غذایی زیاد حائز اهمیت بوده زیرا توانایی بیشتری در جذب نیتروژن خاک و افزایش تولید ماده خشک و در نتیجه افزایش هرچه بیشتر محتوی نیتروژن گیاه دارا است، به‌طورکلی بنه‌هایی با اندازه ریزتر از محتوی نیتروژن کل کم‌تری نیز برخوردار هستند. افزایش تراکم کشت بنه‌ها با افزایش محتوی نیتروژن بنه‌های دختری و اندام هوایی ارتباط مستقیمی دارد (Koocheki et al., 2015). نیتروژن جذب شده به‌وسیله گیاه به‌ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک را با نام کارایی جذب نیتروژن می‌شناسند، مطالعه این کارایی به‌دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیک زعفران نسبت به دیگر گیاهان تخصصی‌تر است (Salvajiyoti et al., 2009; Koocheki et al., 2015b). با توجه به ویژگی‌های زراعی منحصر به فرد زعفران، از جمله سازگاری بالا نسبت به شرایط محیطی وکم‌آبیاری، نیاز به تغذیه مناسب و اهمیت اقتصادی بالا، انجام این تحقیق برای بررسی اثرات سطوح مختلف کود دامی و زئولیت بر وزن خشک برگ، شاخص سطح برگ و وزن خشک کلاله ضروری است. این مطالعه می‌تواند به بهبود عملکرد و مدیریت بهینه مزرعه زعفران کمک کند. هدف اصلی این تحقیق، بررسی کارایی جذب و مصرف نیتروژن زعفران، تحت تأثیر سطوح مختلف زئولیت و کود دامی در شرایط کم‌آبیاری است

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مشهد انجام گرفت. مزرعه در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد، در طول جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه قرار گرفته است. میزان بارش در طول سال حدود ۱۵۰میلی‌متر و این منطقه دارای آب و هوای سرد و خشک است. به جهت بررسی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی شروع آزمایش از خاک مزرعه نمونه‌گیری صورت گرفته و نتا یج به‌دست آمده در جدول ۱ آمده است.

طرح مورد استفاده در این پژوهش اسپلیت، اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار بود. کرت اصلی این پژوهش کم‌آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، کرت فرعی میزان کود دامی در سه سطح (۹، ۱۸ و ۲۷ کیلوگرم در هر هکتار) و کرت فرعی در فرعی زئولیت در سه سطح (۰، ۳ و ۶ کیلوگرم در هر هکتار) بود. در این پژوهش، نیاز آبی زعفران ۳۴۵۰ مترمکعب در هکتار با استفاده از نرم افزار CropWat نسخه۸.۰ محاسبه شد. قبل از شروع پژوهش به جهت تعیین خصوصیت شیمیایی کودگاوی نمونه‌گیری انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده‌است. خصوصیت شیمیایی زئولیت با نام کلیپتولینولایت با رنگ سفید مورد استفاده در طرح نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

در این پژوهش، پس از عملیات اولیه خاک‌ورزی کودگاوی پوسیده با زئولیت نهیه شده از شرکت آروشا پودر مخلوط شده و به خاک منتقل شد. در شهریور ماه سال ۱۴۰۱ کشت بنه زعفران در کرت های مستطیل شکل با ابعاد۶ متر در عمق حدود ۱۵ سانتی متری خاک انجام گرفت. بنه‌های قابل کشت تهیه شده از مرکز جهاد کشاورزی مشهد حدود ۸-۱۲ گرم وزن داشته و به صورت دستی کشت شدند. در این پژوهش مقادیر آب مصرفی درتیمارهای (۵۰،۷۵،۱۰۰ درصد نیاز آبی) به ترتیب مقادیر (۳۴۵۰، ۲۵۸۸ ،۱۷۲۵ متر مکعب در هکتار) برآورد شد. این پژوهش، اولین آبیاری بلافاصله بعد از کشت در۲۰شهریور ماه انجام گرفت. به‌طورکلی در این سال زراعی ۴ مرتبه آبیاری در زمان ۲۰ شهریورماه پیش ازگلدهی، ۲۰ آذر ماه بعد از گلدهی، ۱۵ اسفند و ۱۵ فروردین ماه به صورت کرتی و با استفاده از کنتور انجام پذیرفت. در ابتدا تعیین دبی آب بر حسب لیتر بر ثانیه و پس ازآن حجم آب مورد نیاز برای آبیاری با توجه به شرایط خاک محاسبه گردیده و سپس زمان آبیاری بر اساس کنتور محاسبه گردید. در اولین سال کشت جهت اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سنجش سطح برگ (Lincoln, USALICOR, model LI-3100C) استفاده گردید. نمونه‌ها پس از اندازه‌گیری سطح آن‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک و سپس توزین شدند.

در سال ۱۴۰۱ به منظور مطالعه خصوصیات کلاله زعفران، پس از رویش اولین گل‌ها در مزرعه، از اوایل آبان ماه تا اوایل آذر ماه به مدت ۳۰ روز، هر روز چیدن گل‌ها از نیمی از هر کرت که به آن اختصاص داده شده بود صورت پذیرفته و و وزن خشک کلاله تعیین گردید.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the test site

بافت خاک Texture	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) Phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	شوری (دسی زیمنس بر متر) Salinity ($dS\ m^{-1}$)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) Potassium ($mg\ kg^{-1}$)	pH	ماده آلی (درصد) Organic matters
لوم سیلتی Silty loam	0.045	15.3	1.04	260	7.50	0.60

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی کود دامی موردپژوهش

Table 2. Chemical properties of the studied animal manure

عناصر	واحد	مقدار
نیتروژن (N)	%	2.44
فسفر (P)	%	0.66
پتاس (K)	%	1.99
کلسیم (Ca)	%	1.24
منیزیم (mg)	%	0.39
سدیم (Na)	%	0.15
گوگرد (S)	%	0.39
روی (Zn)	$mg\ kg^{-1}$	211
مس (Cu)	$mg\ kg^{-1}$	57.7
بر (B)	ppm	19.9
منگنز(Mn)	$mg.kg^{-1}$	232
آهن (Fe)	$mg.kg^{-1}$	17.44
ماده آلی (OC)	%	0.60
هدایت الکتریکی(EC)	($dS\ m^{-1}$)	17.9

جدول ۳. خصوصیات شیمیایی زئولیت به درصد

Table 3. Chemical properties of zeolite in percentage

ترکیبات	نیتروژن	پتاسیم	**کلسیم**	**آلمینیوم**	**سیلیسیوم**	فسفر	**منگنز**	**تیتانیوم**	**منیزیوم**	**آهن**
Combinations	N_2O	K_2O	CaO	AlO_2	SiO_2	P_2O_5	Mno	TiO	MgO	Fe_2O_3
مقدار/amount	2	2.10	4.10	12.8	66	0.01	0.04	0.35	0.70	1.30

در ۱۵ خرداد ماه سال ۱۴۰۱به منظور بررسی عملکرد بنه‌های دختری ۱۰ بنه از هر کرت از مساحتی معادل ۰/۲ متر × ۰/۲ متر از خاک خارج شده، ابتدا تعداد بنه‌ها و سپس قطر بنه‌ها با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. در این پژوهش. کنترل علف های هرز در دو نوبت به وسیله نیروی انسانی انجام گرفت.

شاخص‌های کارایی نیتروژن: با توجه به ماهیت چندساله گیاه زعفران و عدم تولید بذر، همچنین اهمیت بنه‌های مادری به‌عنوان اندام مورد استفاده جهت تکثیر زعفران، کارایی جذب و مصرف نیتروژن بر اساس عملکرد بنه‌های دختری در پایان هر فصل رشد به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱ و۲ محاسبه شد (Salvajiyoti et al., 2009).

رابطه (۱)

$$NAE\ (\%) = (Nt/Na) \times 100$$

رابطه (۲)

$$NUE\ (g\ g\text{-}1) = CY/Na$$

NAE بیانگر کارایی جذب نیتروژن (درصد)، Nt کل نیتروژن جذب‌شده در بوته (گرم بر مترمربع) و Na مجموع نیتروژن موجود و یا اعمال‌شده در خاک (گرم بر مترمربع) ، NUE کارایی مصرف نیتروژن (گرم بر گرم) و CY عملکرد بنه‌های دختری (گرم بر مترمربع) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت. نرم‌افزار Excel نیز جهت ترسیم شکل‌ها مورداستفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شاخص سطح برگ زعفران در سطوح آبیاری، کود دامی و زئولیت در طول فصل رشد سال اول کشت در جدول ۴ آمده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت ($p \leq 0.01$) بر حداکثر شاخص سطح برگ زعفران در طول دوره آزمایش معنی‌دار بود. نتایج نشان داد در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، ۲۷ تن در هکتار کود دامی و ۶ تن در هکتار زئولیت (۰/۳۹) نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی، ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت (۰/۳۴) افزایش ۱۵ درصدی حداکثر شاخص سطح برگ در طول دوره آزمایش داشتیم. بیشترین میزان شاخص سطح برگ در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی نسبت به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. همچنین در شرایط آبیاری کامل و کود دامی ۲۷ و ۶ تن در هکتار زئولیت نسبت به آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد به ترتیب به میزان ۴ درصد و ۸ درصد حداکثر شاخص سطح برگ افزایش یافت (شکل۱).

نتایج تجزیه واریانس وزن خشک برگ زعفران در سطوح آبیاری، کود دامی و زئولیت در طول فصل رشد در جدول ۴ آمده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت ($p \leq 0.01$) بر وزن خشک برگ در طول دوره آزمایش معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، ۲۷ تن در هکتار کود دامی و ۶ تن در هکتار زئولیت (۴۷/۴۰ گرم در مترمربع) نسبت به تیمار۵۰ درصد نیاز آبی، ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت (۲۲/۸۵گرم در مترمربع) افزایش ۱۰۷ درصدی وزن خشک برگ در طول دوره آزمایش بدست آمد (شکل ۲).

یکی از عوامل مهم کاهش سطح برگ زعفران تنش خشکی می‌باشد. کاهش فشار تورژسانس سلولی و به دنبال آن چروکیدگی بافت‌های گیاهی در نتیجه اعمال تنش خشکی در مزرعه اتفاق می‌افتد که در نهایت منجربه کاهش سبزینگی می‌شود (Kim et al., 2018). کود دامی با تأثیر مثبت بر گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه و فراهمی متناسب عناصر غذایی در خاک به افزایش دریافت تشعشع و توان فتوسنتزی گیاه کمک نموده و شاخص سطح برگ روند افزایشی به خود می‌گیرد (Behdani et al., 2015). در بررسی تأثیر سطوح مختلف کوددامی (۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار) بر شاخص سطح برگ زعفران در طی دوره رشد عنوان نمود با افزایش سطح کود دامی به ۹۰ تن در هکتار به دلیل بهبود تبادلات کاتیونی خاک شاهد افزایش سطح برگ هستیم. (Esmi, 2017).

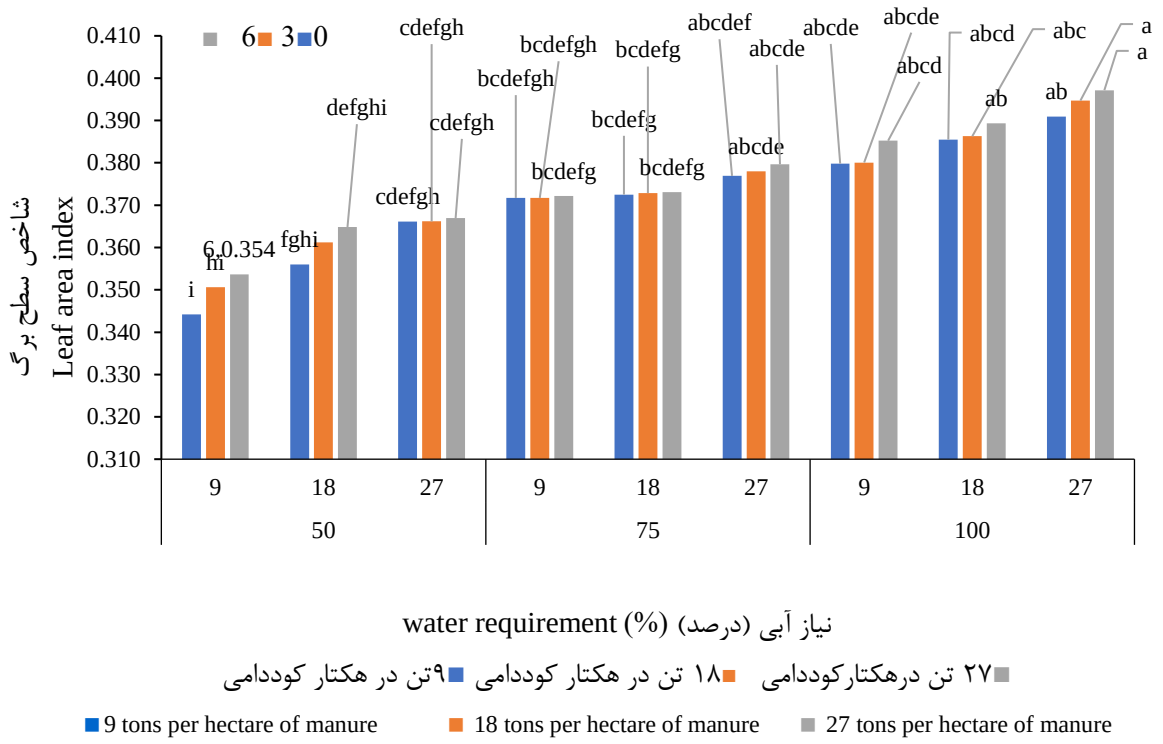
جدول ۴. تجزیه واریانس صفات وزن خشک برگ و حداکثر شاخص سطح برگ و عملکرد کلاله خشک زعفران**در سال اول تحت تأثیر تیمارهای مختلف.**

Table 4. Analysis of variance of leaf dry weight, maximum leaf area index and stigma yield of saffron under the influence of different treatments

	میانگین مربعات			
منابع تغییر Sources of change	درجه آزادی degree of freedom	وزن خشک برگ Leaf dry weight. g/m²	حداکثر شاخص سطح برگ Maximum leaf area index. (LAI)	عملکردکلاله خشک Stigma Function Dry. kg/ha
بلوک (R) Block	2	243.24 ns	0.0002 ns	24 ns
آبیاری (A) Irrigation	2	478.57 ns	0.0008 ns	3 ns
خطای R × A E	4	286.59	0.001	9
کود دامی (B) Manure	2	121.84 ns	0.0008 ns	1 ns
آبیاری×کوددامی Irrigation× manure	4	85.33 ns	0.0003 ns	20 *
خطای R × B(A) E	12	64.00	0.001	4
زئولیت (C) Zeolit	2	13.14 ns	0.0004 ns	13 ns
آبیاری×زئولیت Irrigation × Zeolite	4	62.22 ns	0.0002 ns	10 ns
کود دامی × زئولیت manure× Zeolite	4	63.56 ns	0.0001 ns	14 ns
ابیاری× کوددامی×	8	94.29 *	0.0009**	8 ns
خطای کل Total error	36	38.04	0.001	8
ضریب تغییرات (٪) coefficient of variation	-	18.11	3.43	19.99

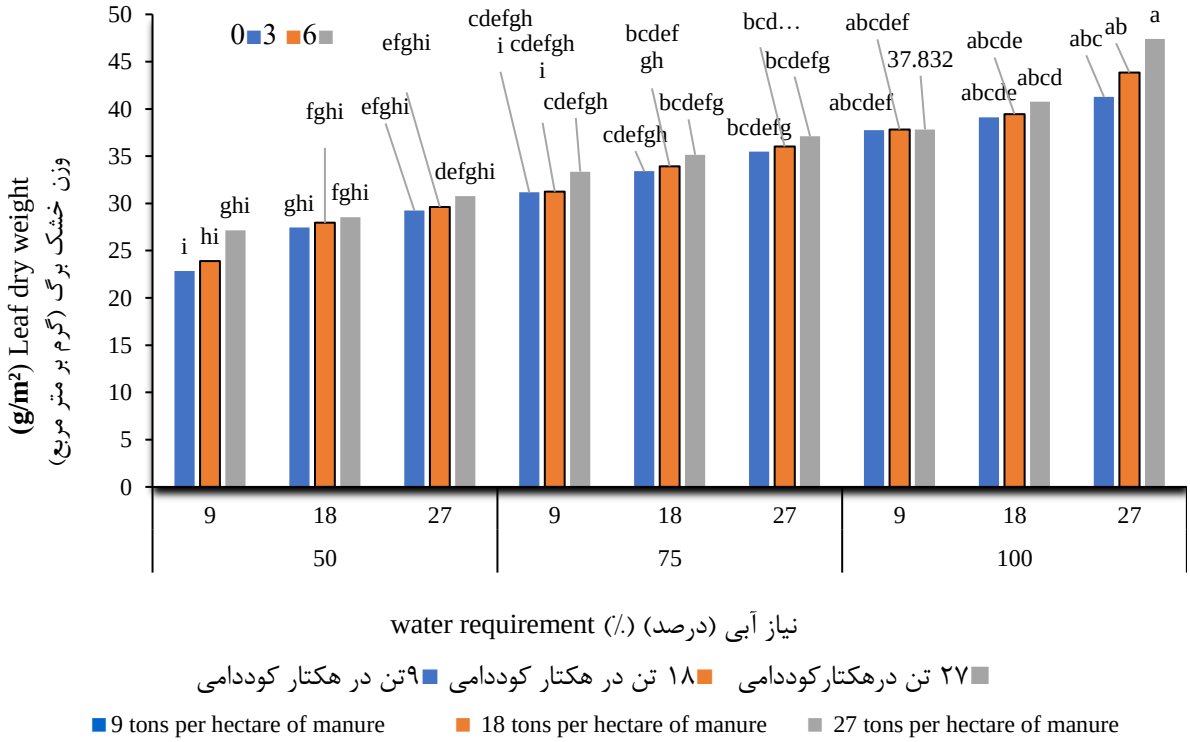
**، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

**, * and ns indicate a significant difference at the one percent, five percent probability level and no significant difference at the five percent level, respectively.



شکل۱. برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت بر حداکثر شاخص سطح برگ زعفران

Fig 1. Interaction effect of irrigation × manure × zeolite on maximum leaf area index of saffron



شکل۲. برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت بر وزن خشک برگ زعفران

Fig 2. Triple interaction of irrigation × manure × zeolite on saffron leaf dry weight

تجزیه واریانس صفات در جدول ۴ نشان داد اثر اصلی آبیاری ($p \leq 0.05$) برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود دامی ($p \leq 0.01$) عملکرد کلاله خشک معنی‌دار بود. مقایسه میانگین صفات نشان داد تنش خشکی باعث کاهش عملکرد کلاله خشک شد ولی با اعمال تیمار کود دامی اثرات منفی تنش خشکی کاهش یافت. بیشترین میزان عملکرد کلاله خشک در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۲۷ تن کود دامی (۱۵/۹۴۶کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت (۱۲/۲۵۲ کیلوگرم در هکتار) به میزان ۳۰ درصد افزایش داشت. از سوی دیگر، در شرایط آبیاری کامل و کود دامی ۲۷ و ۶ تن زئولیت در هکتار نسبت به آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد به‌ترتیب به میزان ۱۰ درصد و ۱۳ درصد عملکرد کلاله خشک افزایش یافت (شکل ۳).

با وجود مقاومت زعفران نسبت به تنش‌های آبی، کمبود رطوبت سبب تشکیل رادیکال آزاد و تخریب غشاء شده و بر کمیت و کیفیت کلاله خشک و عملکرد ماده خشک زعفران تأثیر منفی گذاشته و تناسب نسبت وزن برگ به وزن بنه با مشکل مواجه می‌شود (Shirmohammadi, 2002). در اثر افزایش فعالیت میکروب‌های مفید موجود درون کودهای دامی مورد استفاده در خاک، رشد و نمو زعفران تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Das et al., 2022). زئولیت‌ها حاوی آنیون و کاتیون مانند منبعی از مواد غذایی برای گیاه بوده و سبب کاهش اسیدیته خاک می‌شوند؛ به دلیل وجود نفوذپذیری انتخابی نسبت به یون‌های ویژه و افزایش خواص بیولوژیکی خاک زئولیت را به عنوان دوست‌دار محیط زیست معرفی می‌کنند (Jarosz et al., 2022).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثر اصلی کود دامی ($p \leq 0.05$) و برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت ($p \leq 0.01$) بر تعداد بنه با وزن ۵-۷ گرم معنی‌دار بود (جدول۵). مقایسه میانگین صفات نشان داد بیشترین میزان این صفت در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۲۷ تن کود دامی و ۶ تن در هکتار زئولیت (۲/۵ عدد بنه در مترمربع) به‌دست آمد که نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت (۱ عدد بنه در مترمربع) تقریباً به میزان ۲/۵ برابر بیشتر بود (شکل۴).

شکل۳. برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود دامی بر عملکرد کلاله خشک

Fig 3. Interaction effect of irrigation × manure on stigma dry weight

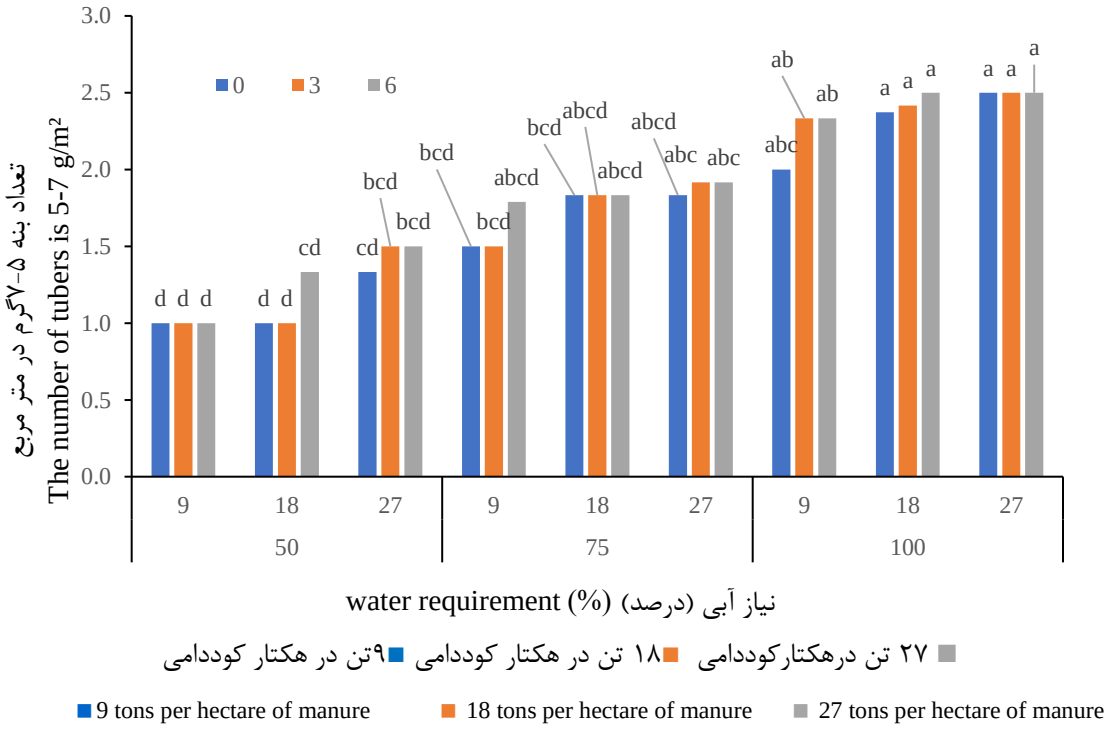
جدول ۵. تجزیه واریانس خصوصیات بنه زعفران تحت تأثیر تیمارهای مختلف

Table 5. Analysis of the variance of the characteristics of the saffron bulb under the influence of different treatments.

منابع تغییر Sources of change	درجه آزادی degree of freedom	میانگین مربعات mean square	
		تعداد بنه ۷- ۵گرم Number of corms (5–7 g)	تعداد بنه ۹-۷ گرم Number of corms (7–9 g)
بلوک (R) Block	2	0.287 ns	0.050 ns
آبیاری (A) Irrigation	2	0.259 ns	0.628*
خطای R × A E	4	0.564	0.076
کود دامی (B) manure	2	1.766*	0.665 ns
آبیاری× کود دامی Irrigation× manure	4	0.345	0.25 *
خطای R × B(A) E	12	0.830 ns	0.049
زئولیت (C) Zeolit	2	0.627 ns	0.319 ns
آبیاری×زئولیت Irrigation × Zeolite	4	0.627 ns	0.248 **
کود دامی × زئولیت manure× Zeolite	4	0.184 ns	0.108 ns
ابیاری× کوددامی× زئولیت Irrigation × manure× Zeolite	8	1.244 **	0.428 **
خطای کل Total error	36	0.273	0.053
ضریب تغییرات (٪) coefficient of variation	-	29.36	23.31

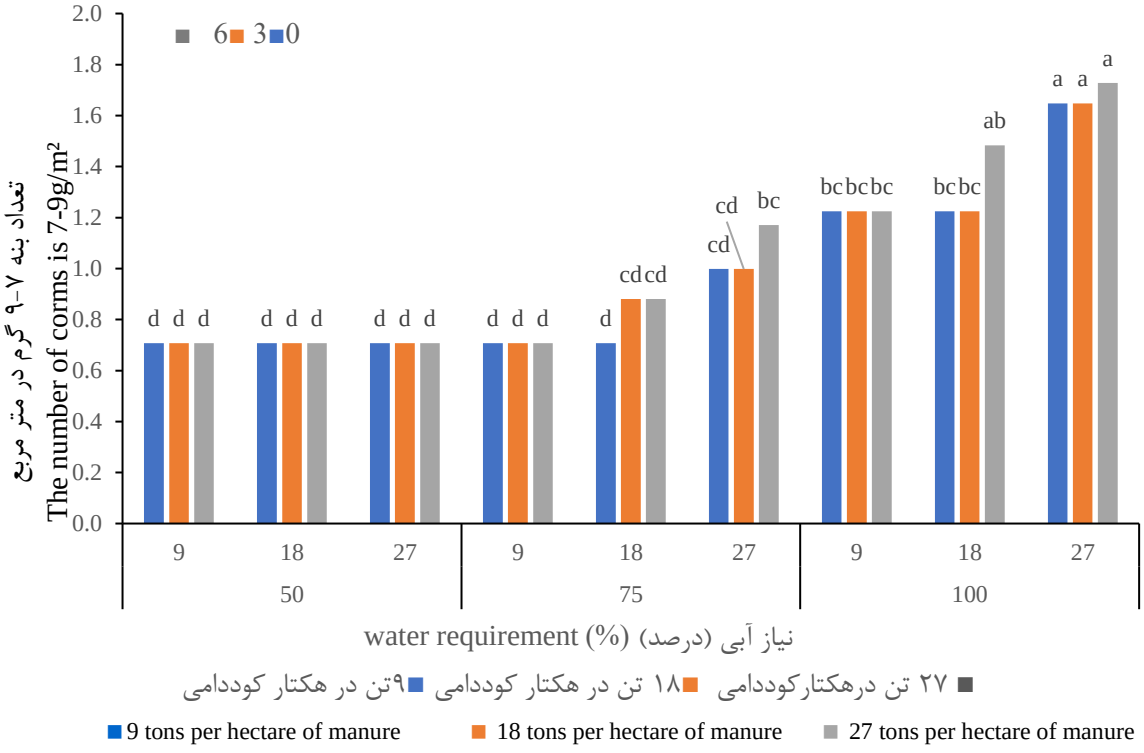
**، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

**, * and ns indicate a significant difference at the one percent, five percent probability level and no significant difference at the five percent level, respectively.



شکل۴. برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت بر تعداد بنه‌های ۵-۷گرم در مترمربع

Fig 4. Triple interaction of irrigation × manure × zeolite on the number of corms 5-7 g/m²



شکل ۵. برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت بر تعداد بنه‌های ۷-۹گرم در مترمربع

Fig 5. Triple interaction of irrigation × manure × zeolite on the number of corms of 7-9 g/m²

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثرات اصلی آبیاری، برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود دامی ($p \leq 0.05$)، برهم‌کنش دوگانه آبیاری × زئولیت و برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت $p \leq 0.01$ بر تعداد بنه با وزن ۷-۹ گرم معنی‌دار بود (جدول۵). مقایسه میانگین صفات نشان داد بیشترین میزان این صفت در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۲۷ تن کود دامی و ۶ تن در هکتار زئولیت (۱/۷ عدد بنه در متر مربع) به‌دست آمد که نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت (۰/۷ عدد بنه در مترمربع) تقریبا به میزان ۲/۵ برابر بیشتر بود (شکل۵).

در هنگام تنش خشکی از تعداد جوانه‌های دختری فعال کاسته شده و شاهد کاهش تعداد کل بنه‌ها به‌دلیل کاهش در ارسال عناصر غذایی بنه‌ها و در نتیجه کاهش فتوسنتز هستیم (Kiani-Manesh et al., 2021.). طبق نظرات پژوهشگران، تنش آبی بر میزان قطر بنه اثرگذار بوده و به عبارتی هنگام تنش آبی بنه‌های زعفران اندازه ریزتری داشته که یکی از دلایل آن کمبود دریافت مواد مغذی در مرحله رویشی می‌باشد (Rounamert et al., 2012). با اعمال کود دامی در مزارعی با اندازه بنه ۱۰-۸ گرمی، شاهد افزایش راندمان محصول به دلیل افزایش ذخیره‌سازی مواد غذایی در داخل بنه بودیم (Sayadi et al., 2011). تأثیر چهار سطح زئولیت (۰، ۰/۰۵، ۱ و ۲ درصد وزنی) و سه سطح آبیاری (آبیاری سنتی و آبیاری با تخلیه ۷۰ درصد رطوبتی و آبیاری کامل) بر فاکتورهای وزن و تعداد بنه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از زئولیت به جهت تأمین نیاز آبی خاک و نیز اثر توأم زئولیت همراه آب کافی، تبادل کاتیونی بالا، افزایش پتاسیم در دسترس، افزایش رطوبت در خاک سبب افزایش وزن بنه‌ها و ازدیاد تعداد بنه خواهری شد(Khashaei-Siouki et al.,2016).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثر اصلی کود دامی($p \leq 0.01$)، زئولیت ($p \leq 0.01$) و همچنین برهم‌کنش دوگانه کود دامی × زئولیت ($p \leq 0.05$) بر کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین صفات نشان داد در تیمار ۲۷ تن کود دامی در هکتار و ۶ تن در هکتار زئولیت (۱۹/۸۳ درصد)، نسبت به تیمار ۹ تن در هکتار کود دامی بدون زئولیت (۶/۲۴ درصد)، افزایش ۲۱۷ درصدی در کارایی جذب نیتروژن مشاهده شد. همچنین در شرایط کودهای دامی کامل و زئولیت ۶ تن در هکتار نسبت به کود ۱۸ و ۹ تن در هکتار درصد به‌ترتیب به ۱۱۹ و ۲۰۰ درصد کارایی جذب نیتروژن افزایش یافت، در بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (شکل ۶).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثر اصلی کود دامی ($p \leq 0.01$)، زئولیت ($p \leq 0.01$) و برهم‌کنش دوگانه آبیاری × زئولیت ($p \leq 0.05$) و کود دامی× زئولیت ($p \leq 0.01$) بر کارایی مصرف نیتروژن زعفران معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین صفات نشان داد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۶ تن در هکتار زئولیت (۵/۲۴ گرم بر گرم)، نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون زئولیت (۳/۵۲ گرم بر گرم)، افزایش ۴۸ درصدی درکارایی مصرف نیتروژن مشاهده شد .همچنین در شرایط آبیاری کامل و زئولیت ۶ تن در هکتار نسبت به آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد به‌ترتیب به میزان ۱۵ و ۲۷ درصد کارایی مصرف نبتروژن افزایش یافت. در بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (شکل ۷). مقایسه میانگین صفات نشان داد در تیمار ۲۷ تن کود دامی در هکتار و ۶ تن در هکتار زئولیت (۸/۳۷ گرم برگرم)، نسبت به تیمار ۹ تن در هکتار کود دامی بدون زئولیت (۲/۵۴ گرم بر گرم)، افزایش ۲۲۸ درصدی درکارایی مصرف نیتروژن مشاهده شد. همچنین در شرایط کودهای دامی کامل و زئولیت ۶ تن در هکتار نسبت به کود ۱۸ و ۹ تن در هکتار درصد به‌ترتیب به میزان ۱۰۹ و ۱۸۹ درصد کارایی مصرف نیتروژن افزایش یافت، در بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (شکل ۸).

جهت دست‌یابی به بالاترین عملکرد نهایی مزرعه در پایان فصل زراعی و افزایش میزان گلدهی، وجود میزان مناسبی از نیتروژن در خاک بسیار حائز اهمیت است (Najafi et al., 2010). در پژوهشی محققین اثر سطوح مختلف آبیاری را بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن بررسی نموده و بیان کردند پایین‌ترین نیتروژن جذب شده در بنه و اندام هوایی زعفران با عدد ۶/۰۲ و ۵/۶۲ گرم در مترمربع مشاهده گردید. به‌طورکلی بنه‌هایی با اندازه ریزتر از محتوی نیتروژن کل کم‌تری نیز برخوردار هستند. به عبارتی با درشت شدن سایز بنه مادری از ۸ به ۱۲ گرم به میزان ۳ برابر کارایی مصرف نیتروژن نیز افزایش یافت (Koocheki et al., 2014).

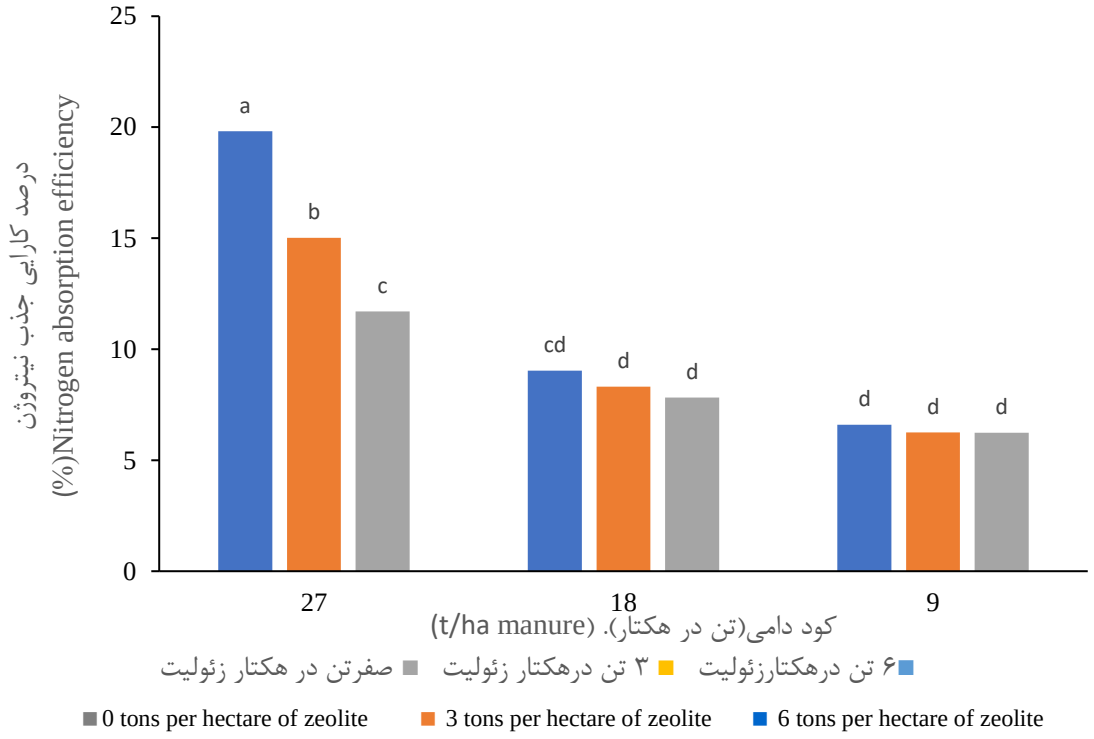
جدول ۶. تجزیه واریانس کارایی جذب و مصرف نیتروژن زعفران تحت تأثیر تیمارهای مختلف

Table 6. Analysis of variance of nitrogen uptake and utilization efficiency of saffron under the influence of different treatments

منابع تغییر Sources of change	درجه آزادی degree of freedom	میانگین مربعات mean square	
		کارایی جذب نیتروژن Nitrogen absorption efficiency	کارایی مصرف نبتروژن Nitrogen use efficiency
بلوک (R) Block	2	10.3064 ns	0.4703 ns
آبیاری (A) Irrigation	2	2.2624 ns	0.3242 ns
خطای R × A E	4	9.6529	1.0204
کود دامی (B) manure	2	623.422 **	107.790**
آبیاری× کود دامی Irrigation× manure	4	6.473 ns	2.2471ns
خطای R × B(A) E	12	6.4332	0.7635
زئولیت (C) Zeolit	2	66.7270 **	10.1865**
آبیاری×زئولیت Irrigation × Zeolite	4	4.1989 ns	0.9896*
کود دامی × زئولیت manure× Zeolite	4	43.6484 **	6.631**
ابیاری× کوددامی× زئولیت Irrigation × manure× Zeolite	8	2.7740 ns	0.3338 ns
خطای کل Total error	36	3.9473	0.3432
ضریب تغییرات (٪) coefficient of variation	-	19.69	13.26

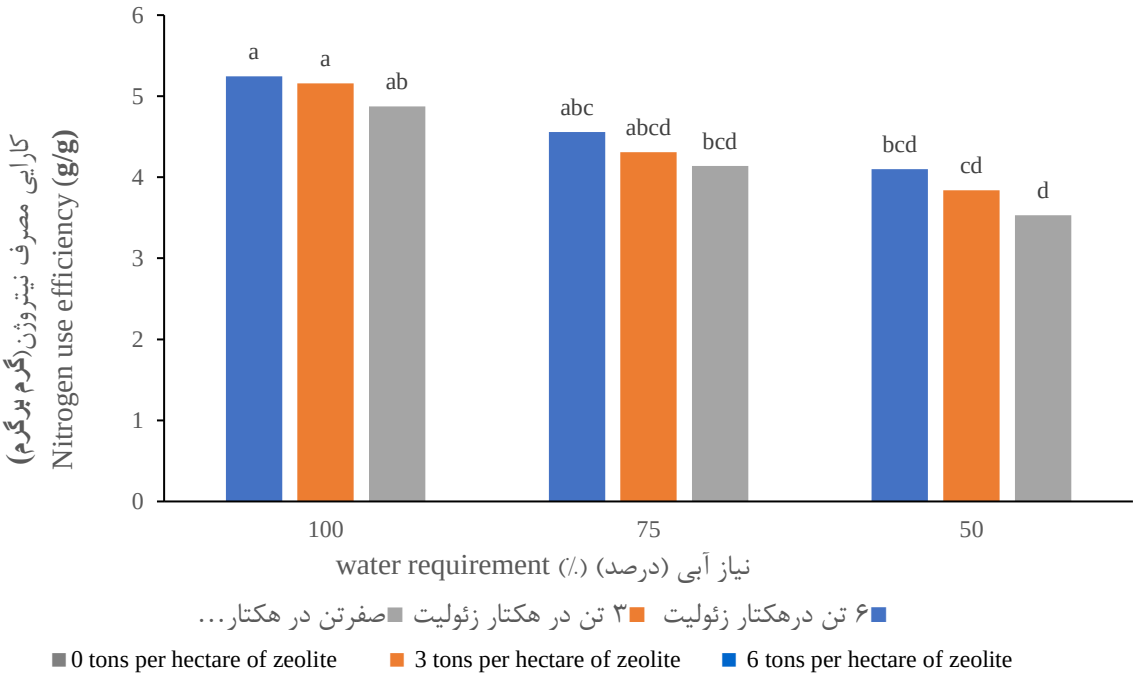
**، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند

**, * and ns indicate a significant difference at the one percent, five percent probability level and no significant difference at the five percent level, respectively.



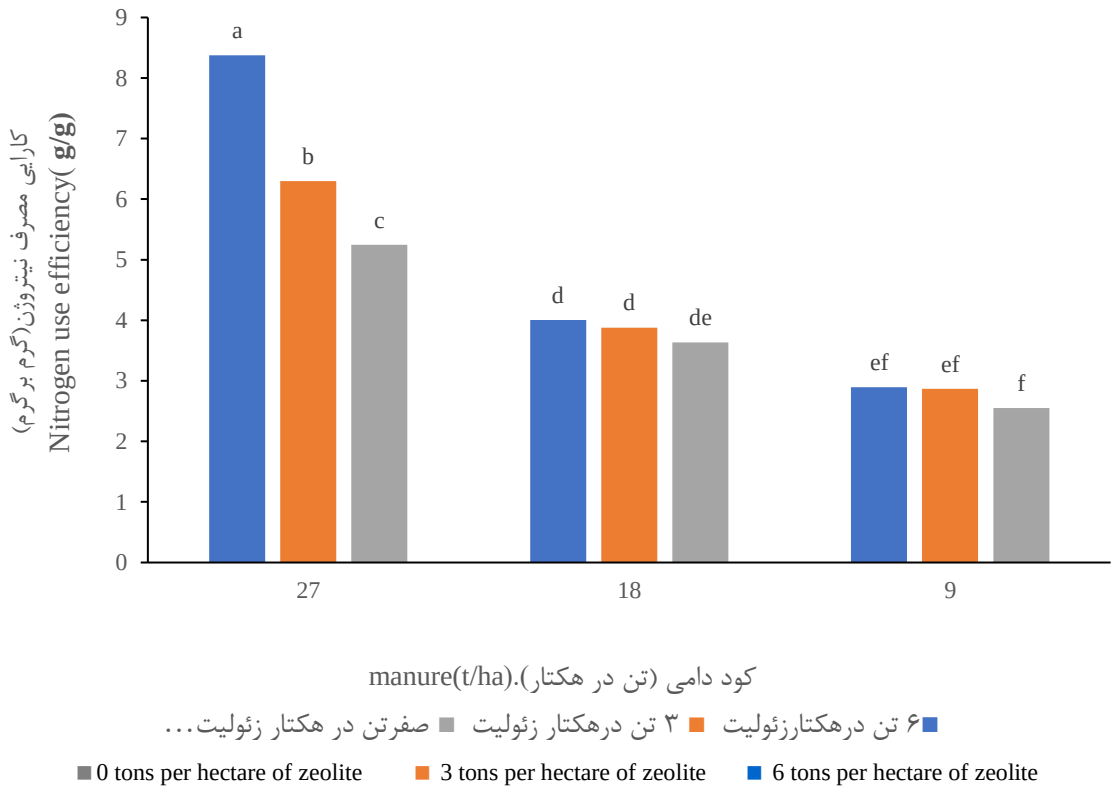
شکل۶. برهم‌کنش دوگانه کود دامی × زئولیت بر کارایی جذب نیتروژن زعفران

Fig 6. Interaction effect of manure × zeolite on nitrogen uptake efficiency of saffron



شکل ۷. برهم‌کنش دوگانه آبیاری× زئولیت برکارایی مصرف نیتروژن زعفران

Fig 7. Interaction effect of irrigation × zeolite on nitrogen use efficiency of saffron



شکل ۸. برهم‌کنش دوگانه کود دامی× زئولیت برکارایی مصرف نیتروژن زعفران

Fig 8. Interaction effect of manure × zeolite on nitrogen use efficiency of saffron

در شرایط تنش خشکی بالاترین میزان نیتروژن در بنه درشت‌تر به دلیل عدم رقابت مشاهده شد و همچنین به‌جهت افزایش کارایی مصرف نیتروژن کشت پرتراکم بنه در متر مربع حائز اهمیت است. طبق مشاهدات پژوهشگران کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی توانایی بالاتری در افزایش میزان کارایی جذب و مصرف نیتروژن برعهده دارند (Asadi et al., 2014). بر اساس تعاریف توانایی گیاه در تولید عملکرد دانه به ازای هر واحد نیتروژن مصرف شده، کارایی مصرف نیتروژن نامیده می‌گردد (Salvajiyoti et al., 2009). در شرایط خشکی و تنش آبی، افزایش کارایی مصرف نیتروژن به کشاورزی و کشاورزان بسیار کمک می‌کند (Modhej et al., 2010).

کمک به کشاورزی پایدار و بالاتر بردن میزان عملکرد نهایی و افزایش ارزش اقتصادی محصولات کشاورزان و کاهش آلودگی‌های محیطی از مزایای افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن به حساب می‌آید، به عبارتی هدف نهایی محاسبه کارایی جذب نیتروژن در واقع سنجش توانایی گیاه در جذب نیتروژن خاک است (Lu et al., 2010). در پژوهشی محققین اثر سطوح مختلف آبیاری (۵۰،۷۵ و ۱۰۰درصد نیاز آبی) بر عملکرد زعفران بررسی نموده و بیان کردند بهترین شرایط جهت افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروژن، شرایط ۷۵ درصد نیاز آبی است (Kochki et al., 2015). افزایش کارایی جذب و مصرف نیتروزن در شرایط اعمال کودهای آلی، بالاتر از شرایط مصرف کودهای شیمیایی بوده و علت آن هدر رفت کمتر میزان نیتروژن خاک است (Rezvani-Moghaddam et al., 2015).

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف کود دامی و زئولیت بر شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ، عملکرد کلاله خشک ، تعدادبنه (۵-۷، ۷-۹ گرم) و کارایی جذب و مصرف نیتروژن زعفران در شرایط کم‌آبیاری انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، کود دامی کامل و زئولیت کامل افزایش شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ مشاهده می‌شود. همچنین در بحث عملکرد کلاله خشک زعفران در شرایط

آبیاری کامل، کود دامی کامل و زئولیت کامل نیز بیشترین میزان عملکرد کلاله خشک مشاهده می‌شود. در شرایط آبیاری کامل، کود دامی کامل و زئولیت کامل نیز بیشترین تعدادبنه (۵-۷، ۹-۷ گرم) حاصل شد.

در شرایط آبیاری کامل، کود دامی کامل و زئولیت کامل، درصد کارایی جذب و مصرف نیتروژن زعفران به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد همزمان کود دامی و زئولیت موجب شد تا اثرات منفی ناشی از تنش خشکی بر ویژگی‌های زراعی زعفران کاهش یابد. از منظر کارایی جذب و مصرف نیتروژن مشخص شد که تیمارهای با آبیاری کامل، همراه با بیشترین سطوح کود دامی و زئولیت، بالاترین جذب و مصرف نیتروژن را فراهم آوردند. به طور کلی، نتایج این پژوهش حاکی از آن است که با اینکه کم‌آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی تأثیر منفی بسیار بالایی برکارایی جذب و مصرف نیتروژن دارد، اما اعمال هم‌زمان کود دامی و زئولیت، تا حد بسیار زیاد اثرات منفی را متعادل نموده و درپایان سال زراعی منجر به افزایش عملکردنهایی مزرعه، بالارفتن کیفیت محصول از جنبه اقتصادی می‌شود.

منابع

Ahmadi, M., Khashaei-Siouki, A., & Sayari, M. H. (2013). Evaluation of the effect of type and amount of natural clinoptilolite zeolite on the germination of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research, 1(2)*, 97–109. [in Persian]

Aminifard, M., & Amiri, M. (2021). Growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) affected by different levels of fulvic acid and cow manure in the second growing season. *Journal of Horticulture and Postharvest Research, 4*(Special Issue – Recent Advances in Saffron), 57–68. [in Persian]

Asadi, G. A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M., & Khorramdel, S. (2014). Effects of organic chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (Plantago ovata Forsk.). *Agroecology, 5*, 373–382. [in Persian]

Bashan, Y., Holguin, G., & De-Bashan, L. E. (2004). Azospirillum-plant relationships: Physiological, molecular, agriculture and environmental advances (1997–2003). *Canadian Journal of Microbiology, 50*, 521–577.

Behdani, M. A., & Fallahi, H. R. (2015). *Saffron: Technical knowledge based on research approaches* (1st ed.). Birjand University Press. [in Persian]

Choupan, Y., Hezarjaribi, A., Ghorbani, K., Hessam, M., & Khashaei-Siouki, A. (2018). The effect of resource management, irrigation method and time on quantitative flower yield and qualitative characteristics of saffron. *Journal of Saffron Research, 10*(1), 28–44. [in Persian]

Das Santos, T. B., Ribas, A. F., de Souza, S. G. H., Budzinski, I. G. F., & Domingues, D. S. (2022). Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: A review. *Stresses, 2*, 113–135. https://doi.org/10.3390/stresses2010009

Ebrahimi, M., Poyan, M., & Mehdinejad, M. (2019). Investigating the possibility of replacing animal manure with other organic growth enhancers in saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation at different corm weights. *Saffron Agriculture and Technology, 8*(1), 37–57. [in Persian]

Esmi, R. (2017). *Study of physiological and morphological characteristics of saffron corm and flower in response to different irrigation methods, corm size and cow manure* (PhD thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad). [in Persian]

Gholami, M., Kafi, M., Khazaei, H. R., & Abraghoi, H. (2023). Investigation of intraplant competition in the allocation of photosynthetic materials between saffron corms (*Crocus sativus* L.) under the influence of different levels of irrigation and organic fertilizers. *Journal of Saffron Agriculture and Technology, 11* (1), 1–21. [in Persian]

Ghorbani, R., & Kouchaki, A. (2017). Sustainable saffron cultivation in Iran. In Lichtfouse. [in Persian]

Jarosz, R., Szerement, J., Gondek, K., & Mierzwa-Hersztek, M. (2022). The use of zeolites as an addition to fertilisers – A review. *Catena, 213*, 106125.

Jo, C., Buresh, R. J., Wang, Z., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., & Zhang, J. (2015). Root and shoot traits for rice varieties with higher grain yield and higher nitrogen use efficiency at lower nitrogen rates application. *Field Crops Research, 175*, 47-55.

Khandaneh Arbab, S., Aminifard, M. H., Fallahi, H. R., & Kaveh, H. (2019). The effect of different levels of Nawafel biostimulant fertilizer and mother corm weight on vegetative growth, flowering and chlorophyll content of saffron. *Saffron*

Agriculture and Technology, 7(4), 441–455. [in Persian]

Khashaei-Siouki, A., Ahmadi, M., Hashemi, S. R., & Chalak, A. (2016). The effect of zeolite content and irrigation management on some characteristics of saffron corm. *Saffron Agriculture and Technology, 4*(3), 201–213. [in Persian]

Kiani-manesh, M., et al. (2021). Evaluation of the effect of biological and chemical fertilizers and density on flower yield and saffron corm characteristics. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]

Kim, Y. X., Stumpf, B., Sung, J., & Lee, S. J. (2018). The relationship between turgor pressure change and cell hydraulics of midrib parenchyma cells in the leaves of Zea mays. *Cells, 7*(10), 180–200.

Koocheki, A., Jahani, M., Tabrizi, L., & Mohammad Abadi, A. A. (2011a). Evaluation of the effect of biological and chemical fertilizers and density on flower yield and corm characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Industries)*, 25(1), 196–206. [in Persian]

Koocheki, A., Jamshid Eyni, M., & Seyyedi, S. M. (2015a). The effects of mother corm size and type of fertilizer on nitrogen use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology, 2* (4), 289–304. [in Persian]

Koocheki, K., Seydi, S. M., & Jamshid Aini, M. (2015b). The effect of irrigation rate and dense planting on phosphorus uptake and growth of daughter corms of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Agricultural Sciences, 16*(3), 222–235. [in Persian]

Kothari, D., Thakur, R., & Kumar, R. (2021). Saffron (*Crocus sativus* L.): Gold of the spices—a comprehensive review. *Horticulture, Environment, and Biotechnology, 62*(3), 1–17. https://doi.org/10.1007/s13580-021-00349-8

Lu, Y., Zhang, X., Chen, S., Shao, L., & Sun, H. (2016). Changes in water use efficiency and water footprint in grain production over the past 35 years: A case study in the North China Plain. *Journal of Cleaner Production, 116*, 71–82.

Modhej, A., Naderi, A., Emam, Y., Ayenehband, A., & Noormohammadi, G. (2010). Effect of different nitrogen levels on grain yield, grain protein content and agronomic nitrogen use efficiency in wheat genotypes under optimum and post-anthesis heat stress conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 25(2), 353–371. [in Persian]

Moradi, M. M., & Turhan, S. (2017). The importance of saffron plant in Afghanistan's agriculture. *Journal of Biological and Environmental Sciences, 11*(33), 165–169.

Najafi, N., & Parsazadeh, M. (2010). Effect of nitrogen form and pH of nutrient solution on concentration of phosphorus, nitrate, and nitrogen of spinach in hydroponic culture. *J. and Technol. Greenhouse Culture, 1*(1), 41–55. [in Persian]

Rasmussen, I. S., Dresbøll, D. B., & Thorup-Kristensen, K. (2015). Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization—Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *European Journal of Agronomy, 68*, 38–49.

Razvan-Moghaddam, P., Khorramdel, S., & Mollafilabi, A. (2015). Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research, 3*, 188–203. [in Persian]

Rounamert, B., Nebauer, S. G., Sánchez, M., & Molina, R. V. (2012). Effect of corm size, water stress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Industrial Crops and Products, 39*, 40–46.

Safari Zarch, M., Khajounijad, G., Maghsoudimod, A. A., & Mohammadinejad, Q. (2010). The effect of different levels of water consumption and superabsorbent polymer on growth indices and yield of saffron. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 13*(3), 903–914. [in Persian]

Salvajiyoti, F., Castellarín, J. M., Miralles, D. J., & Pedrol, H. M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research, 113*, 170–177.

Sayadi, M. (2011). *Study of the effect of two saffron masses and different corm organs on the quantitative and qualitative characteristics of corms and yield components of agricultural saffron* (Master's thesis, Islamic University).

ShirMohammadi, Z. (2002). *Studying the effects of irrigation method and water stress on leaf area index, canopy temperature and saffron yield* (Master's thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran). [in Persian]

Stocker, T. (Ed.). (2014). *Climate change 2013: The physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.Cambridge University Press.