

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی اثر کود دامی و ژئولیت بر عملکرد و بهره‌وری آب زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت شرایط کم‌آبیاری

مرتضی گلدانی^{۱*}، جواهر رحمانیان^۱ و فاطمه یعقوبی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱

چکیده

با توجه به کمبود منابع آبی در کشور کشت گیاهان استراتژیک با نیاز آبی کم و ارزش اقتصادی بالا مانند زعفران مورد توجه است. لذا هدف اصلی از انجام این پژوهش تعیین بهره‌وری آب زعفران در سطوح مختلف کود دامی و ژئولیت تحت شرایط کم‌آبیاری بود. به منظور بررسی بهره‌وری آب زعفران (*Crocus sativus* L.) در سطوح مختلف کود دامی و ژئولیت تحت شرایط کم‌آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، به صورت کرت‌های دوبارخرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) به عنوان عامل اصلی، مصرف کود دامی در سه سطح (۹، ۱۸ و ۲۷ تن در هکتار) به عنوان عامل فرعی و مصرف ژئولیت در سه سطح (۰، ۳ و ۶ تن در هکتار) به عنوان عامل فرعی بودند. نیاز آبی زعفران با استفاده از نرم افزار Cropwat تعیین گردید. صفات مورد بررسی شامل تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک کلاله، وزن کل بنه در هر کرت بود. نتایج نشان داد بیشترین میزان صفات (تعداد گل، وزن تر گل، وزن خشک کلاله، وزن کل بنه در هر کرت) در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۲۷ تن در هکتار کود دامی و ۶ تن در هکتار ژئولیت به ترتیب (۳۱۷/۶۰، ۱۶۳/۳۶، ۱/۵ و ۵/۶۰ گرم در متر مربع) و کمترین میزان این صفات در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون ژئولیت به ترتیب (۳۱۱/۳۳، ۱۴۵/۵۶، ۱/۲، ۴/۵۱ گرم در متر مربع) به دست آمد. بیشترین میزان بهره‌وری آب بر حسب عملکرد گل (۰/۲۲ کیلوگرم بر متر مکعب) در شرایط آبیاری کامل و ۲۷ تن در هکتار کود دامی و ۶ تن در هکتار ژئولیت حاصل شد. همچنین، بالاترین بهره‌وری آب بر حسب عملکرد بنه (۰/۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب) در شرایط آبیاری کامل و ۲۷ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. با بررسی نتایج حاصله می‌توان بیان نمود جهت دستیابی به بالاترین عملکرد اقتصادی و بهترین نتیجه اعمال تیمارهای آبیاری ۱۰۰ درصد به همراه ۲۷ تن کود دامی و ۶ تن در هکتار ژئولیت در مزرعه نقش به‌سزایی دارد.

واژه‌های کلیدی: تعداد گل، تنش آبی، کلاله زعفران، نیاز آبی، وزن بنه

مقدمه

رنگ و حدوداً ۹ برگ علفی است (سادات حسین‌زاده و مودی، ۱۴۰۱). از کلاله‌های خشک گران‌قیمت زعفران علاوه بر مصرف غذایی، به عنوان رنگ و طعم‌دهنده غذا در مصارف دارویی به جهت پیشگیری از آلزایمر، کاهش فشارخون، ضدسرطان و نشاط‌دهنده استفاده می‌شود (Mafakheri and Asghari, 2022). این گیاه در سراسر جهان مساحتی حدود ۱۲۳ هزار هکتار و در ایران ۸۵ هزار هکتار سطح زیرکشت داشته و طبق آخرین آمار ۹۴ درصد زعفران تولیدی دنیا به ایران اختصاص دارد (چوپان و همکاران، ۱۴۰۱). گیاه زعفران به دلیل ساختار باریک برگ و تعرق پایین در طی خشکسالی و ثبات ظرفیت فتوسنتزی به دلیل فعال بودن مکانیسم تحمل به تنش طی کم آبی در الگوی کشت بسیاری از مناطق قرار گرفته است (غلامی و همکاران، ۱۴۰۲). در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستیم، علاوه بر انتخاب گیاهان سازگار به خشکی، باید رویکرد

زعفران با نام علمی (*Crocus sativus* L.) از خانواده زنبقیان یکی از گیاهان زراعی با ارزش، تک‌لپه‌ای و ژئوفیت است (خندان ده ارباب و همکاران، ۱۳۹۸). این گیاه علفی با قدمت ۲۵۰۰ ساله، دارای گل بنفش متشکل از سه گلبرگ، سه کاسبرگ، سه پرچم، بساکی زرد

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
 - ۲- دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
 - ۳- پژوهشگر پسادکتری، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
- (* - نویسنده مسئول: (Email: goldani@ferdowsi.um.ac.ir)

مدیریتی مناسبی برای افزایش تحمل گیاه در برابر تنش خشکی اتخاذ گردد (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۹۷). با این حال، کم‌آبیاری در زعفران ارتباط مستقیمی با عملکرد اقتصادی آن داشته و در صورتی که نیاز آبی گیاه به‌درستی تأمین نشود، جذب ریزمغذی‌ها از خاک توسط ریشه نیز کاهش می‌یابد (کریمی فرزقی و همکاران، ۱۳۹۷). مسافری ضیال‌الدینی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای به بررسی عملکرد کمی گل و بنه زعفران و بهره‌وری آب در پاسخ به مدارها و حجم‌های مختلف آب آبیاری پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد بالاترین عملکرد گل و بنه زعفران در تیمار آبیاری به میزان ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار حاصل گردید. بالاترین کاهش در کارایی مصرف آب بر مبنای وزن بنه، در تیمار آبیاری به میزان ۱۳۷۵۰ متر مکعب در هکتار با کاهش ۸۵/۴ درصدی نسبت به تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار و با کاهش کارایی مصرف آب بر مبنای وزن گل، در تیمار آبیاری به میزان ۱۳۷۵۰ متر مکعب در هکتار با کاهش ۸۲/۴ درصدی نسبت به تیمار آبیاری به میزان ۱۵۰۰ مترمکعب در هکتار حاصل گردید. از زمان‌های گذشته تا به امروز همیشه استفاده از کود دامی جهت رسیدن به کشاورزی پایدار مورد توجه بوده است. استفاده از کودهای دامی در مزرعه زعفران علاوه بر بهبود عناصر غذایی و جلوگیری از سله بستن خاک، سبب افزایش رشد بنه‌ها نیز می‌شود (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۸). استفاده به موقع و متناسب کودها بهترین راه برای به‌دست آوردن محصول با بالاترین عملکرد و حفظ تنوع زیستی است؛ سازگاری اکولوژیکی بالا با محیط زیست، بهبود بازده اقتصادی مزارع، صرفه اقتصادی، کاهش شوری آب آبیاری و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار، بهبود کیفیت محتویات فلاونوئیدی و خواص ساfranال و پیروکسین از دیگر مزایای مصرف کودهای دامی در مقایسه با کودهای شیمیایی است (Hourani, 2023).

در پژوهشی دیگر سیاری زهان و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر کود دامی بر ریشه زعفران را بررسی نمودند، در این آزمایش از دو سطح کود شیمیایی اوره (۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی)، و سه سطح کود دامی (۰، ۴۰ و ۸۰ تن در هکتار) استفاده شد و نتایج نشان داد که مصرف ۸۰ تن در هکتار کود دامی از طریق افزایش جمعیت میکروبی به آزاد شدن فسفر موجود در خاک کمک می‌کند. در مطالعه‌ای تأثیر مقادیر ۶۰-۰ تن در هکتار کود گاوی بر عملکرد و زعفران تحت تنش شوری بررسی شده و نتایج نشان داد که کاربرد کود گاوی اثر تخریبی تنش شوری را بر عملکرد گل‌دهی از طریق حفظ رطوبت خاک و بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی کاهش داده و باعث افزایش تعداد گل به میزان ۴۷/۶ درصد نسبت به شاهد شد (شریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۷). زئولیت‌ها ساختارهایی قلیایی

لانه زنبوری متخلخل دارای اشکال مختلف، اثر سمی فلزات سنگین خاک مثل کادمیوم، سرب و اتلاف نیتروژن را کاهش داد و بهره‌وری آبیاری را مدیریت می‌کنند. همچنین زئولیت‌ها مواد مورد نیاز گیاه را ذخیره کرده، در مواقع نیاز به آرامی رها می‌کنند و از این جهت کود هوشمند نیز نامیده می‌شوند (Mandal et al., 2021). زئولیت‌ها گروهی از کانی‌های طبیعی تشکیل شده از واحدهای آلومینوسیلیکات‌های طبیعی و دارای ظرفیت تبادلات کاتیونی و تخلخل بالا به جهت عبور آسان آب از منافذ بدون تغییر در ماهیت فیزیکی و چگالی پایین هستند (سانجیسا و بسکار، ۲۰۱۶). کلینوپتیلولیت، یکی از زئولیت‌های طبیعی، دارای فراوانی بالا در خاک بوده و در بسیاری از پژوهش‌های کشاورزی و به‌خصوص فعالیت‌های زعفران به جهت اصلاح‌کنندگی و افزایش نگه‌داری رطوبت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (هی و همکاران، ۲۰۰۲). با توجه به آخرین نتایج تحقیقات سرطان زئولیت‌ها دوست‌دار محیط زیست و ایمن بوده و لذا در مصارف کشاورزی بسیار پرکاربرد هستند (Cary et al., 2016). در بررسی تأثیر زئولیت بر فعالیت فتوسنتزی گیاه، افزایش میزان دی‌اکسید کربن برگ در نتیجه پاشش زئولیت روی برگ اتفاق افتاده و منجر به رشد بیشتر و کاهش دمای کانونی برگ و تعرق می‌شود (Cataldo et al., 2021). احمدی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور بررسی اثر زئولیت طبیعی بر زمان و سرعت سبز شدن زعفران در دانشگاه بیرجند آزمایشی طراحی کرده و از ۳ نوع زئولیت کلسیکی با دانه‌بندی ۶-۱ میلی‌متر، خاک ترکیبی با دانه‌بندی ۳-۱ میلی‌متر و پتاسیک با دانه‌بندی ۳-۱ میلی‌متر و هر کدام در دو سطح ۲۰ و ۶۰ گرم در هر کیلوگرم خاک استفاده نموده و نتایج نشان داد که استفاده از زئولیت مخصوصاً پتاسیک سرعت سبز شدن زعفران را قدرت می‌بخشد. به منظور بررسی تأثیر زئولیت بر خصوصیات شیمیایی خاک زعفران، آزمایشی با ۷ تیمار (کلسیک: ZCa، پتاسیک: ZC و ترکیب ZS) در ۳ سطح (صفر، ۲: M2 : M0 و ۶: M6 درصد وزنی) با ۹ تکرار انجام شد. نتایج حاکی از تأثیر مثبت زئولیت کلسیک بر EC خاک و زئولیت پتاسیک بر بی کربنات و سدیم خاک بود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷).

با توجه به اینکه ایران دارای ذخایر گسترده‌ای از زئولیت‌های طبیعی است، انجام پژوهش‌ها در این حوزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ چراکه می‌تواند زمینه بهره‌برداری مؤثر از منابع طبیعی داخلی را فراهم کرده و وابستگی به واردات نهاده‌های پرهزینه از کشورهای دیگر را کاهش دهد (ماهرخ و همکاران، ۱۳۹۸). بر همین اساس، با توجه به محدودیت منابع آبی و کاهش بارندگی کشور استفاده از گیاهان استراتژیک همانند زعفران که دارای ارزش اقتصادی فراوان و مقاوم به کم‌آبیاری هستند، حائز اهمیت است. همچنین اعمال هرتیمارمانند کودهای آلی و زئولیت‌ها، با حفظ میکروارگانیسم‌های

شرقی مشهد، ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا، در طول جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه قرار گرفته است. بارندگی سالیانه آن ۱۵۰ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه در این منطقه به ترتیب ۴۲ و ۸/۲۷- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. آب و هوای این منطقه بر مبنای روش آمبرژه سرد و خشک است. به منظور بررسی دقیق خصوصیات شیمیایی و فیزیکی و درصد عناصر غذایی پیش از شروع پژوهش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک مزرعه نمونه‌گیری صورت گرفت و نتایج به‌دست آمده در جدول ۱ ارائه شده است.

خاک و مرطوب نگه‌داشتن محیط ریشه که در پایان فصل زراعی عملکرد نهایی مزرعه و گل‌آوری را افزایش دهند نیز بسیار مورد توجه کشاورزان است. در ادامه هدف اصلی این مطالعه، بررسی اثر کود دامی و ژئولیت بر عملکرد و بهره‌وری آب در زعفران (Crocus sativus L.) تحت شرایط کم‌آبایی است.

مواد و روش‌ها

این طرح در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. این مزرعه در ۱۰ کیلومتری جنوب

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

ماده آلی (درصد)	شوری (dS m ⁻¹)	pH	پتاسیم (mg kg ⁻¹)	فسفر (mg kg ⁻¹)	نیترژن (درصد)	بافت خاک
۰/۵۳	۱/۰۲	۷/۷۱	۲۸۴	۱۷/۰۲	۰/۰۶۵	لوم سیلتی

میزان عناصر غذایی از کودهای آلی نمونه‌گیری انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر تیمارهای مشخص شده براساس آزادسازی ۵۰ درصد از عناصر غذایی از کودهای دامی در سال اول مشخص شد. خصوصیت شیمیایی ژئولیت با نام کلیپتولینولایت با رنگ سفید مورد استفاده در طرح نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

این آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. کرت اصلی در این آزمایش کم‌آبایی 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 ژئولیت در سه سطح (۰، ۳ و ۶ کیلوگرم در هر هکتار) بودند. انتخاب سطوح مختلف تیمارها بر اساس پژوهش‌های پیشین و قابل کاربرد در مزرعه انتخاب گردید.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کود دامی مورد پژوهش

عناصر	واحد	مقدار
نیترژن (N)	%	۲/۳۲
فسفر (P)	%	۰/۷۱
پتاس (K)	%	۱/۹۹
کلسیم (Ca)	%	۱/۳۳
منیزیم (mg)	%	۰/۳۹
سدیم (Na)	%	۰/۱۶
گوگرد (S)	%	۰/۳۹
روی (Zn)	mg kg ⁻¹	۲۱۱
مس (Cu)	mg kg ⁻¹	۸/۵۶
بر (B)	ppm	۱۹/۹
منگنز (Mn)	mg.kg ⁻¹	۲۴۴
آهن (Fe)	mg.kg ⁻¹	۱۷۴۴
ماده آلی (OC)	%	۰/۷۹
EC	(dS m ⁻¹)	۱۸/۸

جهت اعمال تیمارهای آبیاری، نیاز آبی زعفران با استفاده از نرم افزار CropWat ۳۴۵۰ مترمکعب در هکتار برآورد شد. این نرم‌افزار ابتدا بر اساس داده‌ها و اطلاعات هواشناسی میزان تبخیر و تعرق مرجع را محاسبه می‌کند و سپس با توجه به ضریب گیاهی در هر مرحله رشد نیاز آبی گیاه برآورد می‌گردد. برای این منظور داده‌های هواشناسی شامل دمای حداقل و حداکثر، رطوبت، سرعت باد، ساعات آفتابی و بارندگی روزانه برای دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شد. بر مبنای مطالعه قوامی نوغابی و همکاران (Ghavami, Noghabi et al., 2020) ضرایب گیاهی زعفران برای دوره ابتدایی، میانی و انتهایی دوره رشد زعفران به ترتیب ۰/۴۸، ۱/۲۷ و ۰/۳۷ در نظر گرفته شد. همچنین، بر اساس این مطالعه طول دوره اولیه، توسعه گیاه، میانی و پایانی دوره رشد زعفران نیز به ترتیب ۵۰، ۵۵ و ۶۵ روز لحاظ گردید.

قبل از شروع پژوهش به جهت تعیین خصوصیات شیمیایی و

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی ژئولیت به درصد

ترکیبات	N ₂ O	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	TiO	MgO	Fe ₂ O ₃
مقدار (%)	۲	۲/۱۰	۳/۱۰	۱۱/۸	۶۶	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۸۰	۱/۳۰

سطح، وزن تر گل و وزن خشک کلاله (دمای اتاق ۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت) تعیین شد.

به منظور کنترل علف‌های هرز هنگام طغیان این علف‌ها و جین توسط نیروی انسانی در بهمن و سپس فروردین ماه صورت گرفته و از روش‌های کنترل شیمیایی استفاده نشد. به منظور بررسی عملکرد بنه های دختری با شروع خواب گیاهان در اوایل خرداد ماه هر سال، بخشی از بنه‌های هر کرت از مساحتی معادل 0.2×0.2 متر از خاک خارج شده و شاخص وزن کل بنه‌ها بدون پوشینه با استفاده از ترازوی دیجیتال مدل AND 0.0001 گرم اندازه‌گیری شد. شاخص بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) بر حسب عملکرد گل از تقسیم عملکرد گل (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) و کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد بنه از تقسیم عملکرد بنه (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) توسط گیاه محاسبه گردید. 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 مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

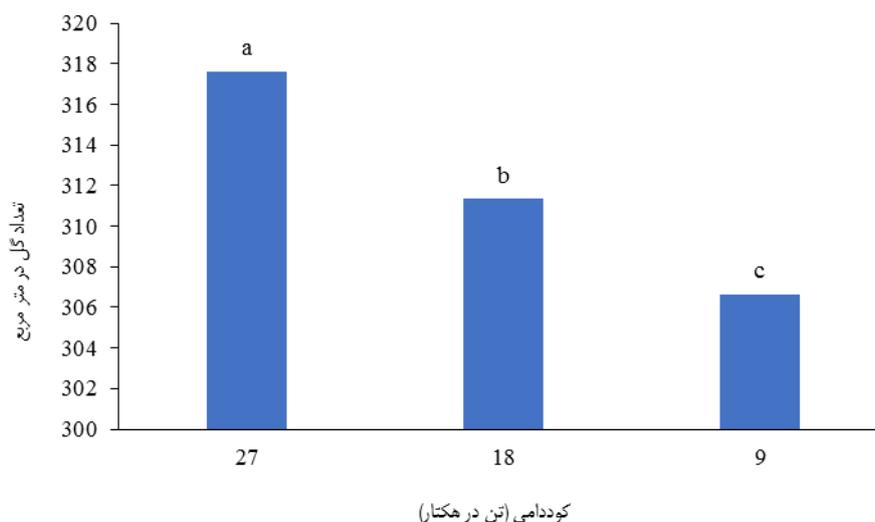
تجزیه واریانس صفات نشان داد اثر اصلی کود دامی و برهم‌کنش دوگانه آبیاری \times زئولیت ($p \leq 0.05$) بر تعداد گل زعفران معنی‌دار بود (جدول ۴).

در این پژوهش، عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح مطابق عرف منطقه انجام شد. پس از آماده‌سازی زمین کود دامی کاملاً پوسیده، نرم و سرنده شده و سپس همراه با زئولیت طبق مقادیر ذکر شده توزین و قبل از کاشت تا عمق ۲۰ سانتی‌متر با خاک کاملاً مخلوط شد. کشت بنه زعفران به صورت ردیفی (دانه تسییحی) در ۲۰ شهریورماه بر اساس نقشه طرح در مزرعه تحقیقاتی در کرت‌هایی با ابعاد 2×3 مترمربع در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک و شامل ۱۰ خط کشت انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر، فاصله کاشت روی خط ۵ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها نیم متر و بین بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. بنه‌های مدنظر با میانگین وزنی ۸ تا ۱۲ گرم انتخاب شده و به‌وسیله نیروی انسانی عملیات کشت صورت پذیرفت. در این پژوهش مقادیر آب مصرفی در تیمارهای (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 در ۲۰ شهریورماه انجام گرفت. به‌طور کلی در این سال زراعی ۴ مرتبه آبیاری در زمان‌های پیش از گلدهی، بعد از گلدهی، اواسط اسفند و اوایل فروردین ماه به صورت کرتی و با استفاده از کنتور انجام پذیرفت. در ابتدا تعیین دبی آب بر حسب لیتر بر ثانیه و پس از آن حجم آب مورد نیاز برای آبیاری با توجه به شرایط خاک محاسبه گردیده و سپس زمان آبیاری بر اساس کنتور محاسبه گردید. 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 در نهایت تعداد گل در واحد

جدول ۴- تجزیه واریانس خصوصیات گل و بنه زعفران تحت تأثیر تیمارهای مختلف

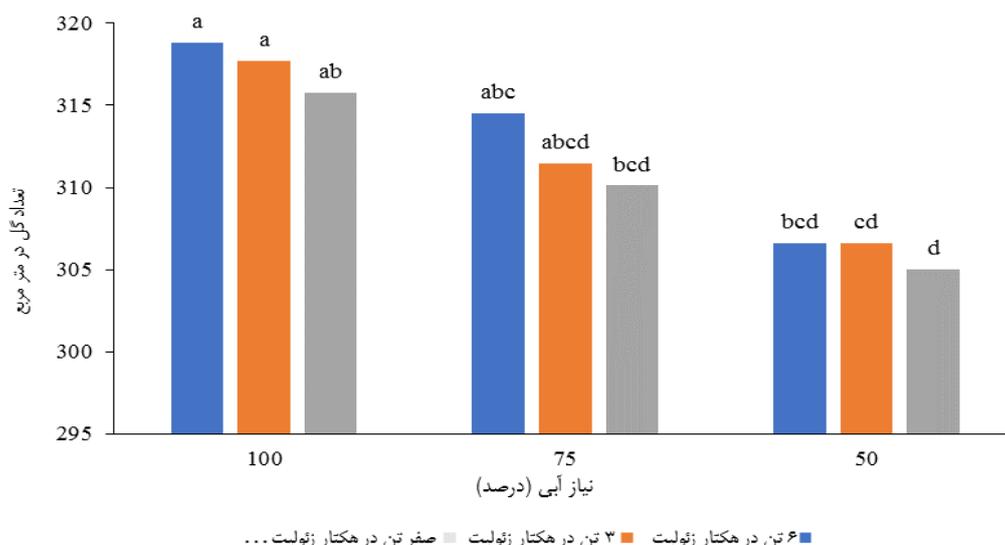
میانگین مربعات		درجه آزادی		منابع تغییر	
عملکرد بنه	وزن خشک کلاله	وزن تر گل	تعداد گل		
ns $50/397$	ns $24/0$	** $45/414$	ns $719/21$	۲	بلوک (R)
ns $52/575$	ns $03/0$	ns $77/34$	ns $200/57$	۲	آبیاری (A)
$65/358$	$09/0$	$12/30$	$174/75$	۴	خطای $R \times A$
ns $01/439$	ns $01/0$	** $41/201$	** $02/820$	۲	کود دامی (B)
* $33/3294$	* $2/0$	ns $00/22$	ns $52/216$	۴	آبیاری \times کود دامی
75271	$-/04$	$34/92$	$102/22$	۱۲	خطای $R \times B(A)$
ns $90/399$	ns $13/0$	ns $21/11$	ns $149/42$	۲	زئولیت (C)
ns $89/2158$	ns $10/0$	ns $24/52$	* $298/37$	۴	آبیاری \times زئولیت
ns $32/2243$	ns $14/0$	ns $89/71$	ns $08/105$	۴	کود دامی \times زئولیت
ns $22/737$	ns $08/0$	* $71/28$	ns $03/226$	۸	آبیاری \times کود دامی \times زئولیت
$16/603$	$-/08$	$28/24$	$108/17$	۳۶	خطای کل
$16/14$	$19/99$	$3/49$	$3/34$	-	ضریب تغییرات (%)

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



شکل ۱- اثر اصلی کود دامی بر تعداد گل در مترمربع

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج‌درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۲- برهم‌کنش دوگانه آبیاری و زئولیت بر تعداد گل در مترمربع

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج‌درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

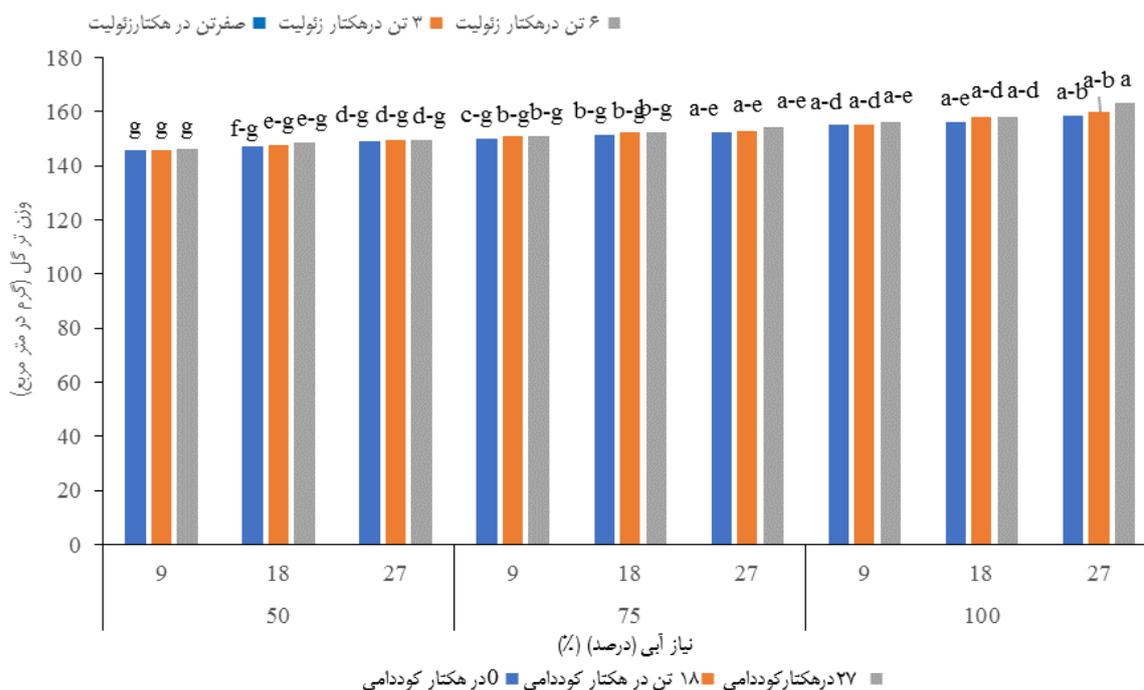
۵۰ درصد نیاز آبی بدون زئولیت (۳۰۵ عدد گل در مترمربع) سبب افزایش ۵ درصدی تعداد گل در مترمربع شد (شکل ۲). در صورت کمبود رطوبت و کاهش میزان آب آبیاری، کاهش در خصوصیات گیاهان مانند تعداد گل‌ها مشاهده خواهد شد (نوری و همکاران، ۱۴۰۰). استفاده از کود دامی سبب تأثیر افزایشی بر تعداد گل، وزن تر گل و وزن کلاله نهایی می‌شود. در کاربرد کودهای آلی افزایش نفوذپذیری خاک و متعادل نمودن دمای خاک به

مقایسه میانگین صفات در بررسی اثرات اصلی کود دامی بر تعداد گل در متر مربع نشان داد در تیمار ۲۷ تن کود دامی در هکتار (۳۱۷/۶۰ عدد گل در مترمربع) نسبت به ۱۸ تن کود دامی در هکتار (۳۰۶/۶۱ عدد گل در مترمربع) و ۹ تن کود دامی در هکتار (۳۱۱/۳۳ عدد گل در مترمربع) به ترتیب به میزان ۲ و ۴ درصد تعداد گل در مترمربع افزایش یافت (شکل ۱). مقایسه میانگین صفات نشان داد در تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی به همراه ۶ تن زئولیت در هکتار (۳۱۸/۸۳ عدد گل در مترمربع) نسبت به تیمار آبیاری به میزان

مشاهده می‌شود. در اثر تنش آبی و کاهش استفاده از کود دامی وزن تر گل کاهش یافت که با اعمال تیمارهای کود دامی و زئولیت می‌توان از شدت این کاهش کاست (شکل ۳). فرایندهای فیزیولوژیکی و فتوسنتز گیاه به شدت تحت تاثیر دسترسی گیاه به رطوبت است (Yan et al., 2019). بر اساس گزارشات پژوهشگران استفاده از کود دامی به دلیل میکروارگانیسم‌های مفید درون آن باعث سهولت در افزایش دسترسی به چرخه مواد غذایی می‌گردد (Rayne and Aula, 2020). افزایش عملکرد نهایی مزرعه تا ۷۰ درصد تحت تاثیر کاربرد کودهای آلی است (Aminifard and Amiri, 2021). ساختار متخلخل زئولیت درون حفرات خود از آب نگهداری کرده و به آرامی در اختیار ریشه گیاه قرار داده تا به حفظ رطوبت آن کمک نماید (Girauni et al., 2021).

گلهی بیشتر مزرعه کمک نموده و در پایان فصل زراعی میزان کلالة خشک بیشتر و در نتیجه صرفه اقتصادی بهتری نیز حاصل می‌شود (Rezaei et al., 2019). زئولیت‌ها حاوی آنیون و کاتیون بوده و منبع غنی از مواد مغذی برای گیاه محسوب می‌شوند؛ به دلیل وجود نفوذپذیری انتخابی نسبت به یون‌های ویژه و کاهش اسیدیته خاک، زئولیت را به عنوان دوست‌دار محیط زیست معرفی می‌کنند (Jarosz et al., 2022).

نتایج نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری، کود دامی و زئولیت ($p \leq 0.01$) بروز تر گل زعفران معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد در تیمار آبیاری کامل، ۲۷ تن در هکتار کود دامی و ۶ تن در هکتار زئولیت (۱۶۳/۳۶ گرم در مترمربع) نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی، ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت (۱۴۵/۵۶ گرم در متر مربع)، افزایش ۱۳ درصدی در وزن تر گل



شکل ۳- برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت بر وزن تر گل زعفران

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج‌درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

درصد نیاز آبی و ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت (1/22 گرم در متر مربع) به میزان ۳۰ درصد افزایش داشت. تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک کلالة شد ولی با اعمال تیمار کود دامی اثرات منفی تنش خشکی کاهش یافت (شکل ۴). رطوبت موجود در خاک از جهت در معرض تنش خشکی قرار نگرفتن گیاه، حائز اهمیت بوده و

نتایج تجزیه واریانس صفات بیانگر آن بود که اثر اصلی آبیاری ($p \leq 0.05$) برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود دامی ($p \leq 0.01$) بر وزن خشک کلالة معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد بیشترین میزان وزن خشک کلالة در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۲۷ تن کود دامی (1/59 گرم در مترمربع) حاصل شد که نسبت به تیمار ۵۰

آرامی رها می‌کنند و از این جهت کود هوشمند نیز نامیده می‌شوند، علاوه بر توسعه ریشه و محبوس نمودن عناصر سمی و سنگین خاک، افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، شادابی محصول زراعی، افزایش وزن تر گل و بهبود تعادل نیتروژنی و اکسیسیستم به عهده دارند (ماهرخ و همکاران، ۱۳۹۸).

عملکرد نهایی بنه‌ها و تولید گل بسیار تحت تأثیر رطوبت مزرعه قرار دارد (چوپان و همکاران، ۱۳۹۸). در اثر افزایش فعالیت میکروب‌های مفید موجود درون کودهای دامی مورد استفاده در خاک، رشد و نمو زعفران تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Dos et al., 2022). زئولیت‌ها مواد مورد نیاز گیاه را ذخیره و در مواقع نیاز به



شکل ۴- برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود دامی بر وزن خشک کالاه

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج‌درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

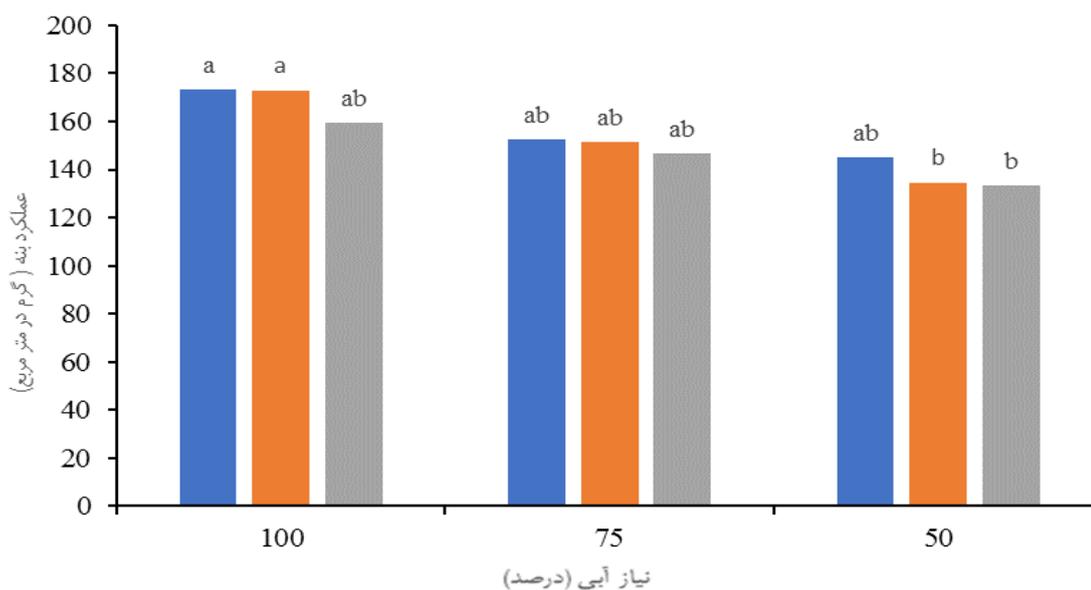
طبق بررسی پژوهشگران، هنگام تنش خشکی شاهد کاهش تعداد بنه زعفران مشاهده می‌شود، در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با عدد ۷/۱ و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی با عدد ۳/۹ به ترتیب شاهد بیشترین و کمترین تعداد بنه در متر مربع مشاهده می‌شود (Kiani-Manesh et al., 2021). در صورت کمبود رطوبت و کاهش میزان آب آبیاری، کاهش در خصوصیات گیاه مانند وزن خشک کالاه مشاهده می‌شود (نوری و همکاران، ۱۴۰۰). 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 می‌کند (بهدانی و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثرات اصلی آبیاری ($p \leq 0.01$)، اثر اصلی کود دامی ($p \leq 0.01$) و برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود دامی × زئولیت ($p \leq 0.05$) بر بهره‌وری آب زعفران برحسب عملکرد گل معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین صفات

یکی از عوامل بسیار مهم در جریان فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه تأثیر تنش خشکی و نتایج حاکی از آن است (اصل زعیب و همکاران، ۱۳۹۷). در اثر اعمال تیمار کود دامی در مزرعه به دنبال افزایش ماده آلی، شاهد افزایش فتوسنتز گیاه، افزایش گل‌آوری و در نهایت افزایش وزن خشک کالاه خواهیم بود (Garcia Caparros et al., 2019). با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، تنها برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود دامی ($p \leq 0.05$) بر عملکرد بنه زعفران معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین صفات نشان داد آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی به همراه ۲۷ تن در هکتار کود دامی (۱۷۳/۴۰ گرم در مترمربع) نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی به همراه ۹ تن در هکتار کود دامی (۱۳۳/۱۵ گرم در مترمربع) سبب افزایش ۳۰ درصدی وزن بنه در مترمربع گردید. همچنین شرایط آبیاری کامل و کود دامی ۲۷ تن در هکتار نسبت به آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد به ترتیب به میزان ۱۳ و ۱۶ درصد تعداد بنه در مترمربع افزایش یافت (شکل ۵).

(۰/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب)، افزایش ۲۰۰ درصدی در بهره‌وری آب برحسب عملکرد گل مشاهده شد (شکل ۶).

نشان داد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۲۷ تن در هکتار کود دامی و ۶ تن در هکتار زئولیت (۰/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب)، نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و ۹ تن در هکتار کود دامی و بدون زئولیت



■ ۲۷ تن در هکتار کود دامی ■ ۱۸ تن در هکتار کود دامی ■ ۹ تن در هکتار کود دامی

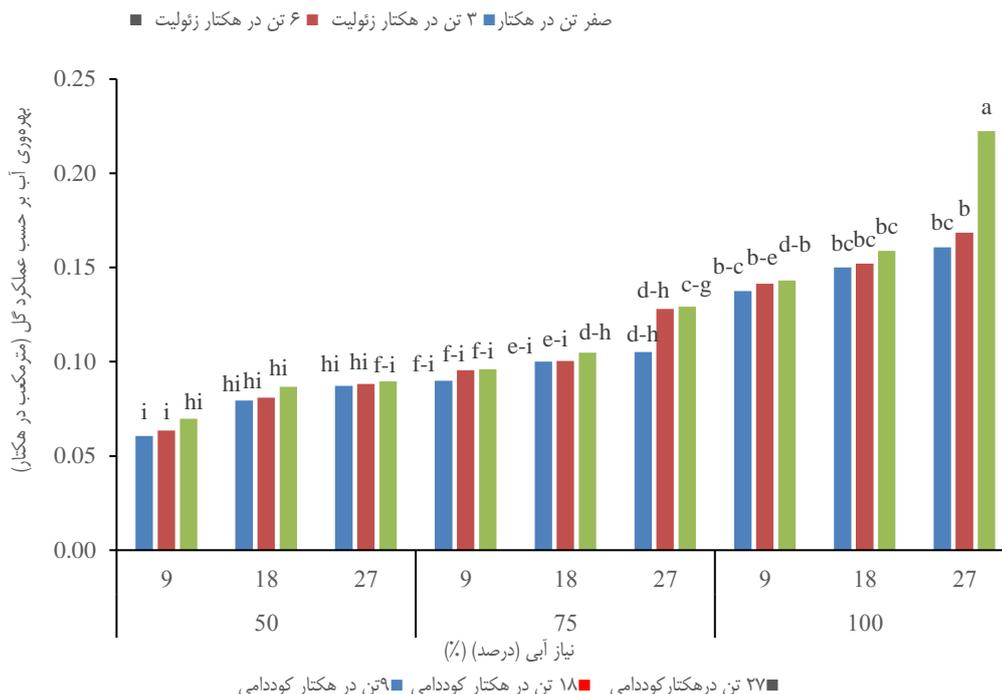
شکل ۵- برهم‌کنش آبیاری × کود دامی بر عملکرد بنه زعفران

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج‌درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- تجزیه واریانس بهره‌وری آب زعفران تحت تأثیر تیمارهای مختلف

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
بهره‌وری آب برحسب عملکرد گل	بهره‌وری آب برحسب عملکرد بنه		
**۰.۰۶۹/۰	ns۰.۰۷۱/۰	۲	بلوک (R)
**۰.۴۳۳/۰	**۰.۲۳۲۴/۱	۲	آبیاری (A)
۰/۰.۰۰۳	۰/۰.۰۰۸۲	۴	خطای R × A
*۰.۰۳۹/۰	ns۰.۱۰۲/۰	۲	کود دامی (B)
ns۰.۰۰۷/۰	*۰.۴۸۷/۰	۴	آبیاری × کود دامی
۰/۰.۰۰۰۶	۰/۱۳۷	۱۲	خطای R × B(A)
ns۰.۰۰۳/۰	ns۰.۰۴۷/۰	۲	زئولیت (C)
ns۰.۰۰۶/۰	*۰.۴۶۳/۰	۴	آبیاری × زئولیت
ns۰.۰۱۱/۰	**۰.۴۴۵/۰	۴	کود دامی × زئولیت
*۰.۰۱۳/۰	ns۰.۲۱۴/۰	۸	آبیاری × کود دامی × زئولیت
۰/۰.۰۰۰۶	۰/۰.۱۱۲	۳۶	خطای کل
۲۱/۰۹	۱۶/۶۶	-	ضریب تغییرات (%)

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

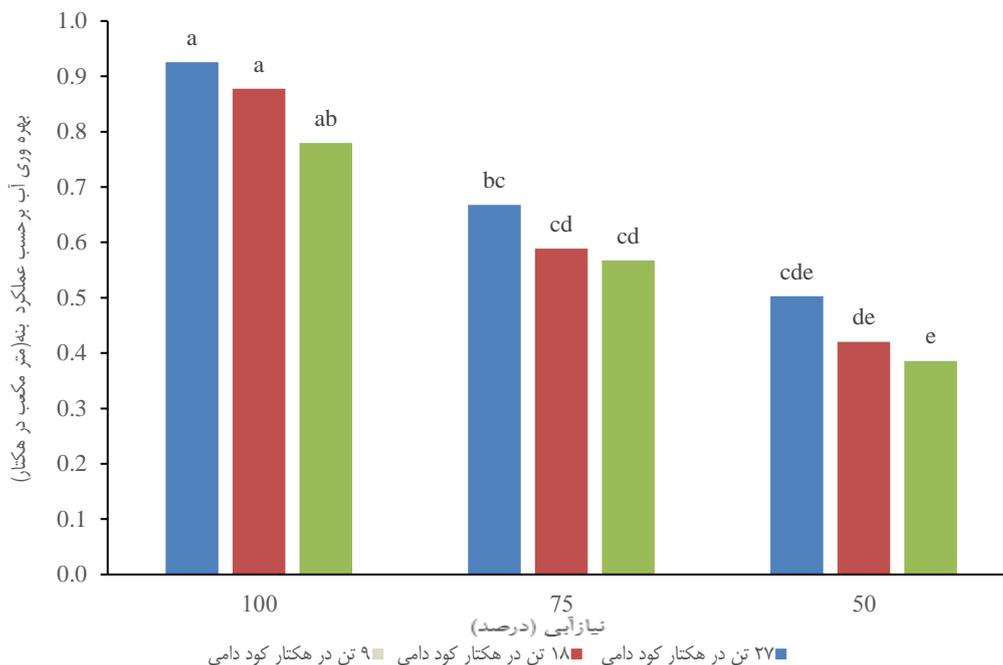


شکل ۶- برهم کنش سه‌گانه آبیاری، کود دامی و زئولیت بر بهره‌وری آب بر حسب عملکرد گل میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج‌درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

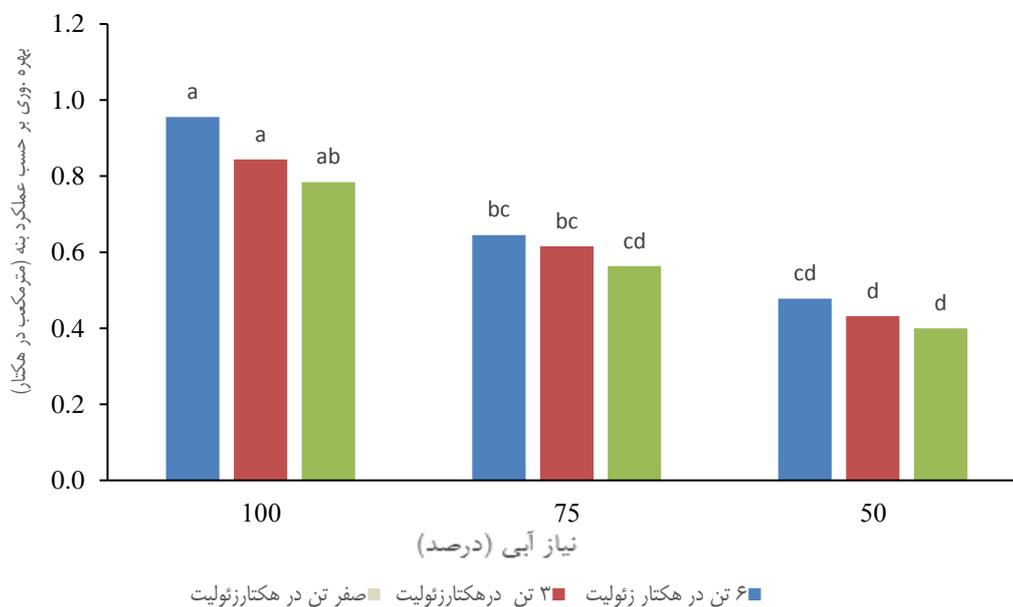
نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف کود دامی و زئولیت بر عملکرد و بهره‌وری آب زعفران در شرایط کم‌آبیاری انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که در شرایط آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، صفات گل‌دهی از جمله تعداد گل، وزن تر گل و وزن خشک کلاله، در مقایسه با سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، به‌طور معناداری افزایش یافت. همچنین، بیشترین مقادیر این صفات در تیمار حداکثری کود دامی (۲۷ تن در هکتار) و زئولیت (۶ تن در هکتار) نسبت به سطوح پایین‌تر مشاهده شد. با توجه به اهمیت مدیریت زراعی در کاهش اثر کم‌آبیاری بر عملکرد زعفران که سبب اثرات منفی قابل توجهی بر عملکرد گل، بنه و بهره‌وری آب می‌شود، کاربرد همزمان کود دامی (با خاصیت اصلاح‌کنندگی فیزیکی) و زئولیت (با خاصیت افزایش نگهداشت آب) موجب شده تا اثرات منفی ناشی از تنش خشکی بر ویژگی‌های زراعی زعفران کاهش یافته و در نهایت به افزایش عملکرد، بهبود کیفیت محصول و ارتقاء بازده اقتصادی کشت زعفران کمک شود. نتایج حاضر با یافته‌های اسمی و همکاران (۱۳۹۶) که گزارش نمودند اعمال کود دامی سبب افزایش عملکرد گل و کلاله زعفران در شرایط کم‌آبیاری می‌گردد هم‌راستا است.

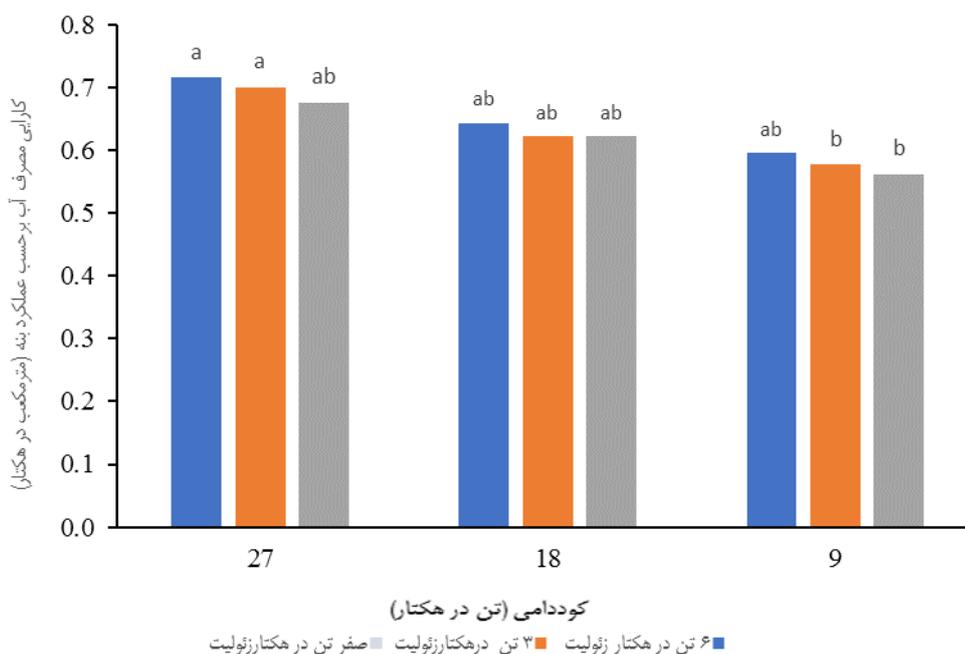
بهره‌وری آب به معنی مقدار تولیدی گیاه به ازای مقدار آب مصرفی است (Lu et al., 2016). در بررسی عملکرد کمی گل و بنه زعفران و بهره‌وری آب در پاسخ به مدارهای مختلف و حجم‌های مختلف آب آبیاری بالاترین عملکرد گل و بنه زعفران در تیمار آبیاری به میزان ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار حاصل گردید (Parkash and Singh, 2020). با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثر اصلی آبیاری ($p \leq 0.01$) و برهم‌کنش دوگانه آبیاری \times کود دامی ($p \leq 0.05$)، آبیاری \times زئولیت و کود دامی \times زئولیت ($p \leq 0.01$) بر بهره‌وری آب زعفران بر حسب عملکرد بنه معنی‌دار بود (جدول ۵). در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۲۷ تن کود دامی (۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب)، نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و ۹ تن در هکتار کود دامی (۰/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب)، افزایش ۱۳۹ درصدی در بهره‌وری آب بر حسب عملکرد بنه مشاهده شد (شکل ۷). در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۶ تن در هکتار زئولیت (۰/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب)، نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی بدون زئولیت (۰/۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، افزایش ۱۳۹ درصدی در بهره‌وری آب بر حسب عملکرد بنه مشاهده شد (شکل ۱۱). در تیمار ۲۷ تن در هکتار کود دامی و ۶ تن در هکتار زئولیت (۰/۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب)، نسبت به تیمار ۹ تن در هکتار کود دامی بدون زئولیت (۰/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب)، افزایش ۲۴ درصدی در بهره‌وری آب بر حسب عملکرد بنه مشاهده شد (شکل ۹).



شکل ۷- برهم کنش دوگانه آبیاری × کود دامی بر بهره‌وری آب بر حسب عملکرد بنه عملکرد بنه میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج‌درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۸- برهم کنش دوگانه آبیاری × زئولیت بر بهره‌وری آب بر حسب عملکرد بنه میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج‌درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۹- برهم کنش دو گانه کود دامی × زئولیت بر بهره‌وری آب بر حسب عملکرد بنه میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارد.

ابراهیمی، م.، پویان، م. و مهدی نژاد، م. ۱۳۹۹. بررسی امکان جایگزینی کود دامی با سایر بهبود دهنده‌های رشد آلی در زراعت زعفران (*Crocus sativus* L.) در وزن‌های مختلف بنه مادری. زراعت و فناوری زعفران. ۸(۱): ۵۷-۳۷.

احمدی، م.، خاشعی سیوکی، ع. و سیاری، م. ح. ۱۳۹۷. اثر نوع و مقدار زئولیت بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت زعفران. نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه). ۶(۱): ۱-۱۵.

احمدی، م.، خاشعی سیوکی، ع. و سیاری، م. ح. ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر نوع و مقدار زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت بر سبز شدن زعفران (*Crocus sativus* L.). نشریه پژوهش‌های زعفران. ۱(۲): ۹۷-۱۰۹.

اسمی، ر. ۱۳۹۶. مطالعه خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی بنه و گل زعفران در پاسخ به روش‌های مختلف آبیاری، اندازه بنه و کود گاوی. رساله دکتری رشته بوم‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

اصل زعیم، ف.، نیکنام، و.، ابراهیم‌زاده معبود، ح. و شریفی، گ. ا. ۱۳۹۷. مقایسه تأثیر متقابل تنش خشکی و سالیسیلیک‌اسید در برگ جمعیت‌های مختلف زعفران مزروعی. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران). ۳۱(۳): ۵۵۴-۵۶۹.

بهدانی، م. ع. و فلاحی، ح. ر. ۱۳۹۴. زعفران. دانش فنی مبتنی بر هیافت‌های پژوهشی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه بیرجند.

در همین راستا، وزن کل بنه نیز در تیمارهای با آبیاری کامل، بالاترین سطح کود دامی و بیشترین میزان زئولیت، در بیشینه مقدار خود قرار داشت که نشان دهنده اهمیت مدیریت تلفیقی تغذیه و اصلاح خاک در بهبود رشد اندام‌های ذخیره‌ای و افزایش بهره‌وری آبی و اقتصادی کشت زعفران است. از منظر بهره‌وری آب بر اساس عملکرد گل و بنه، مشخص شد که تیمارهای با آبیاری کامل، همراه با بیشترین سطوح کود دامی و زئولیت، بالاترین بهره‌وری آب را فراهم آوردند. این امر بیانگر نقش مؤثر مدیریت تلفیقی تغذیه‌ای در بهبود بهره‌وری آب در شرایط تنش رطوبتی است و با پژوهش‌های ذوالفقاران و همکاران (۱۴۰۱) هم‌راستا است. با توجه به چندین ساله بودن گیاه زعفران، اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد کمی آن کم‌تر بوده و بنابراین پیشنهاد می‌گردد از سال دوم به بعد اثر تیمارهای ذکر شده بر عملکرد کیفی نیز مطالعه گردد. همچنین با توجه به آزادسازی تدریجی عناصر از کودهای گاوی، لازم است در سال‌های بعد نیز این آزمایش بررسی شود.

منابع

ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، احمدی، م.، اگدرنژاد، ا. و خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل Aqua Crop در شبیه‌سازی عملکرد زعفران تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری و مصرف زئولیت. حفاظت منابع آب و خاک. ۸(۱): ۱۳۲-۱۱۷.

خشک-کویری بیرجند. پژوهش‌های زعفران. ۸(۱): ۱۶۱-۱۷۲.

doi: 10.22077/jsr.2019.2515.1101

کریمی فرزقی، م.، خزاعی، ح.ر.، کافی، م. و نظامی، ا. ۱۳۹۷. تأثیر روش‌ها و سطوح آبیاری بر سطح برگ و تولید بنه دختری (*Crocus sativus* L.). زراعت و فناوری زعفران. ۶(۳): ۲۹۰-۲۷۹.

ماهرخ، ع.، قطبی، و.، عزیززی، ف.، مقدم، ع. و غلامحسینی، م. ۱۳۹۸. کاربرد ژئولیت‌های طبیعی راهکاری در جهت بهینه کردن مصرف نهاده‌ها در راستای کشاورزی پایدار. نشریه علمی-ترویجی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی. ۸(۱): ۸۹-۷۷.

مسافری ضیال‌الدینی، ح.، علیزاده، ا. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۹۹. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب زعفران در خراسان رضوی. (منطقه باخرز). زراعت و فناوری زعفران. ۸(۴): ۴۹۷-۵۱۰.

مفاخری، س. و اصغری، ب. ۱۴۰۳. مطالعه محتوای فیتوشیمیایی و خواص آنتی‌اکسیدانی زعفران برداشت شده از چهار منطقه ایران. پژوهش‌های پیشرفته در گیاهان دارویی. ۱(۱): ۶۵-۷۵. doi: 10.30479/armp.2024.17264.1001

نوری، ا.، بانژاد، ح. و کریمی فرزقی، م. ۱۴۰۰. تأثیر روش‌های مختلف آبیاری در شرایط تنش آبی بر خصوصیات بنه دختری و سطح فتوسنتزی گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.). نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۸(۲): ۲۶-۱۵.

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):57-68.

Cataldo, E., Salvi, L., Paoli, F., Fucile, M., Masciandaro, G., Manzi, D., Masini, C.M. and Mattii, G.B. 2021. Application of zeolites in agriculture and other potential uses: A review. Agronomy. 11:1547.

Cerri, G., Farina, M., Brundu, A., Daković, A., Giunchedi, P., Gavini, E. and Rasso, G. 2016. Natural zeolites for pharmaceutical formulations: Preparation and evaluation of a clinoptilolite-based material. Microporous Mesoporous Mater. 223:58-67.

Dos Santos, T.B., Ribas, A.F., de Souza, S.G.H., Budzinski, I.G.F. and Domingues, D.S. 2022. Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: A review. Stresses. 2:113-135.

چوپان، ی.، هزارجریبی، ا.، قربانی، خ.، حسام، م. و خاشعی سیوکی، ع. ۱۴۰۱. اثر مدیریت منابع، روش و زمان آبیاری بر عملکرد کمی گل و خصوصیات کیفی زعفران. نشریه پژوهش‌های زعفران، ۱۰(۱): ۴۴-۲۸.

خاشعی سیوکی، ع.، احمدی، م.، هاشمی، س. ر. و چالاک، ا. ۱۳۹۴. اثر مقدار ژئولیت و مدیریت آبیاری بر برخی خصوصیات بنه زعفران. زراعت و فناوری زعفران. ۴(۳): ۲۱۳-۲۰۱.

خندان‌ده ارباب، س.، امینی‌فرد، م.، ح.، فلاحی، ح. ر. و کاوه، ح. ۱۳۹۸. تأثیر سطوح مختلف کود محرک زیستی نوافل و وزن بنه مادری بر رشد رویشی، گلدهی و محتوی کلروفیل زعفران. زراعت و فناوری زعفران. ۷(۴): ۴۴۱-۴۵۵.

ذوالفقاران، ا. ۱۴۰۱. تعیین آب آبیاری و بهره‌وری مصرف آب در مزارع زعفران استان خراسان رضوی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب. ۲(۱): ۳۸-۵۱.

سادات حسین زاده، م. و مودی، م. ۱۴۰۱. مروری بر ترکیبات موثره گیاه زعفران و اثرات دارویی آن بر بیماری‌های تحلیل برنده سیستم عصبی. نشریه پژوهش‌های زعفران. ۱۰(۲): ۲۷۵-۲۵۸.

سیاری زهان، م.، ح.، جامی‌الاحمدی، م. و هلال‌بیک، ی. ۱۳۹۷. تأثیر فعالیت ریشه زعفران و سطوح کود حیوانی بر فراهمی عناصر غذایی در خاک. پژوهش‌های زعفران. ۶(۲): ۲۶۲-۲۸۹.

شریعتمداری، ز.، شور، م.، رضوانی مقدم، پ.، تهرانی‌فر، ع. و احمدیان، ا. ۱۳۹۷. مطالعه اثر کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های بنه‌های دختری و گل زعفران (*Crocus sativus* L.). زراعت و فناوری زعفران. ۶(۳): ۳۰۸-۲۹۱.

صحابی، ح. و معلم بنهنگی، ف. ۱۴۰۰. ارزیابی تاثیر پارامترهای اقلیمی بر رفتار گلدهی و عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.) در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی. زراعت و فناوری زعفران. ۹(۴): ۳۵۷-۳۷۳.

غلامی، م.، کافی، م.، خزایی، ح.ر. و ابرقوئی، ح. ۱۴۰۲. بررسی رقابت درون گیاهی در تخصیص مواد فتوسنتزی بین بنه‌های زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کودهای آلی. نشریه زراعت و فناوری زعفران. ۱۱(۱): ۲۱-۱.

قوام‌سعیدی نوقابی، س.، خاشعی سیوکی، ع.، حمامی، ح.، شهیدی، ع. و یعقوب‌زاده، م. ۱۳۹۹. تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی زعفران (*Crocus sativus* L.) با استفاده از روش لایسیمتری در اقلیم

- Lu, Y., Zhang, X., Chen, S., Shao, L. and 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.
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P.K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P. and, A. 2021. Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*. 11:448.
- Rayne, N. and Aula, L. 2020. Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Syst.* 4:64 . [Incomplete reference]. *Reviews*. 37(2).
- Rezaie, A., Moradi, R. and Feizi, H. 2019. Influence of the last irrigation cut-off time and various fertilizer resources on corm characteristics of saffron. *Saffron Agron. Technol.* 7(3):287–300.
- Sangeetha, C. and Baskar, P. 2016. Zeolite and its potential uses in agriculture: A critical review. *Agric. Rev.* 37(2).
- Yan, B., Hou, J., Cui, J., He, C., Li, W., Chen, X., Li, M. and Wang, W. 2019. The effects of endogenous hormones on the flowering and fruiting of *Glycyrrhiza uralensis*. *Plants (Basel)*. 8(11):519.
- Garcia-Rodriguez, M.V., Moratalla-Lopez, N., Lopez-Corcoles, H. and Alonso, G.L. 2021. Saffron quality obtained under different forcing conditions, considering various vegetative stages of corms. *Scientia Horticulturae*. 277:109811.
- . 8(1):161–172. (In Persian).
- GirijaVeni, V., Reddy, K.S., Sharma, K.L., Shankar, K.S. and Rohit, J. 2021. Role of zeolites in improving nutrient and water storage capacity of soil and their impact on overall soil quality and crop performance. In: Rakshit, A., Singh, S., Abhilash, P. and Biswas, A. (Eds). *Soil Science: Fundamentals to Recent Advances*. Springer, Singapore.
- He, Z.L., Calvert, D.V., Alva, A.K., Li, Y.C. and Banks, D.J. 2002. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant Soil*. 247:253–260.
- Hourani, W. 2023. Effect of fertilizers on growth and productivity of saffron: A review. *Agronomy Journal*. 21(1).
- Jarosz, R., Szerement, J., Gondek, K. and Mierzwa-Hersztek, M. 2022. The use of zeolites as an addition to fertilisers – A review. *Catena*. 213:106125.
- Kianimanesh, K., Lebaschi, M.H., Jaimand, K., Abdosi, V. and Tabaei Aghdai, S.R. 2021. The changes in yield, biochemical properties and essential oil compounds of saffron.

Effect of Manure and Zeolite on Yield and Water Efficiency of Saffron (*Crocus sativus* L.) under Deficit Irrigation Conditions

J. Rahmanian¹, M. Goldani^{2*}, F. Yaghoubi³

Received: Jul.16, 2025

Accepted: Sep.02, 2025

Abstract

Saffron is one of the valuable plants of Khorasan and is resistant to water shortage. Due to the shortage of water resources in the country, the cultivation of strategic plants with low water requirements and high economic value, such as saffron, is of interest. Therefore, the main purpose of this research is to determine the water productivity of saffron at different levels of manure and zeolite under water shortage conditions.

To investigate the water use efficiency (WUE) of saffron (*Crocus sativus* L.) under varying levels of manure and zeolite application in deficit irrigation conditions, a field experiment was conducted during the 2022–2023 growing season at the Agricultural Research Farm of Ferdowsi University of Mashhad. The experiment was arranged as a split-split plot based on a randomized complete block design with three replications. The main plot included three irrigation levels (50%, 75%, and 100% of crop water requirement), the sub-plot comprised three levels of manure (9, 18, and 27 tons per hectare), and the sub-sub-plot included three levels of zeolite (0, 3, and 6 tons per hectare). Crop water requirements were calculated using the Cropwat software. Evaluated traits included the number of flowers, fresh flower weight, dry stigma weight, and total corm weight per plot. The results showed that the highest levels of traits (number of flowers, fresh flower weight, stigma dry weight, total corm weight per plot) were obtained in irrigation treatments of 100% water requirement, 27 tons per hectare of manure and 6 tons per hectare of zeolite, respectively (317.60, 163.36, 1.5 and 5.60 grams per square meter) and the lowest levels of these traits were obtained in the treatment of 50% water requirement and 9 tons per hectare of manure and without zeolite, respectively (311.33, 145.56, 1.2, 4.51 grams per square meter). The highest water use efficiency based on flower yield (0.22 kg/m³) was achieved under full irrigation with 27 t/ha manure and 6 t/ha zeolite. The maximum WUE based on corm yield (0.93 kg/m³) occurred under full irrigation and 27 t/ha of manure. These results suggest that applying 27 tons per hectare of manure and 6 tons per hectare of zeolite, along with full irrigation, significantly enhances the yield and economic performance of saffron cultivation.

Keywords: Corm weight, Crop water requirement, Flower number, Saffron stigma, Water stress

1- M.Sc. 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. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2547-8014>

3- Postdoctoral Researcher, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2735-3837>

(* - Corresponding Author Email: goldani@ferdowsi.um.ac.ir)