



Effect of Superabsorbent Polymer on Water Productivity and Quantitative and Qualitative Traits of Saffron under Deficit Irrigation Conditions

Mohammad Azimi Gandomani^{1*}

Article type:

Research Article

Article history:

Submitted: 23 May 2024

Revised: 8 December 2024

Accepted: 9 July 2025

Available Online: 9 July 2025

How to cite this article:

Azimi Gandomani, M. 2025. Effect of Superabsorbent Polymer on Water Productivity and Quantitative and Qualitative Traits of Saffron under Deficit Irrigation Conditions. *Saffron Agronomy & Technology*, 13(1), 1-20.

DOI: 10.22048/jsat.2025.475014.1538

Abstract

Water deficit regimes and techniques using moisture-absorbing materials are key approaches to achieving sustainable agriculture goals and conserving water resources in arid and semi-arid regions. To evaluate the effect of superabsorbent polymers on water productivity and the quantitative and qualitative traits of saffron under deficit irrigation conditions, a field experiment was conducted over three growing seasons (2020-2021, 2021-2022, and 2022-2023) in agricultural lands of Ziar, a district of Isfahan, Iran. The experiment was designed as a split-plot based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main plots included three levels of irrigation (50%, 75%, and 100% of water requirement), while the subplots consisted of various levels of superabsorbent polymer application (0, 50, and 100 kg.ha⁻¹). The results were analyzed at a 95% significance level. The findings revealed that the highest values for leaf number (25 and 34 leaves per plant), dry leaf yield (3845 and 4926 kg.ha⁻¹), fresh flower yield (1559 and 1912 kg.ha⁻¹), dry stigma yield (11.8 and 17.8 kg.ha⁻¹), corm number (278 and 345 per m²), and corm yield (32.1 and 45.1 t.ha⁻¹) were obtained in the 2021-2022 and 2022-2023 growing seasons under 100% irrigation combined with 100 kg.ha⁻¹ of superabsorbent polymer application. Notably, improvements in these crop parameters were significantly greater when superabsorbent polymers were used under water-deficit conditions compared to full irrigation conditions. Furthermore, the highest water productivity was achieved under the 50% irrigation treatment combined with 100 kg.ha⁻¹ of superabsorbent polymer, yielding 0.005 and 0.007 kg.m⁻³ of water. Additionally, the 75% irrigation treatment along with 100 kg.ha⁻¹ of superabsorbent polymer resulted in the highest concentrations of crocin (13.0% and 12.4%), picrocrocin (6.6% and 5.9%), and safranal (2.6% and 2.4%) during both experimental years. Overall, the results indicated that while the highest quantitative yield of saffron was achieved with full irrigation and the application of superabsorbent polymer, the best outcomes in terms of saffron quality were observed under the 75% irrigation treatment combined with the polymer application. Considering the limited water resources in the studied area and the importance of water productivity, this treatment is recommended as the optimal approach for sustainable saffron production in regions with conditions similar to the experimental site.

Keywords: Crocin, Corm Yield, Flower yield, Safranal, Water productivity.

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



Corresponding author email: Mohammad.azimi@pnu.ac.ir

مقاله پژوهشی

تأثیر بسیار سوپر جاذب بر بهره‌وری آب و خصوصیات کمی و کیفی زعفران در شرایط کم آبیاری

محمد عظیمی گندمانی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۳ خرداد ۱۴۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۸ آذر ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۸ تیر ۱۴۰۴

عظیمی گندمانی، م. ۱۴۰۴. تأثیر بسیار سوپر جاذب بر بهره‌وری آب و خصوصیات کمی و کیفی زعفران در شرایط کم آبیاری. زراعت و فناوری زعفران، ۱۳(۱)، ۱-۲۰.

چکیده

رژیم‌ها و تکنیک‌های کم‌آبیاری با استفاده از مواد جاذب رطوبت، رویکردهای اصلی برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار و حفظ منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. به‌منظور تأثیر بسیار سوپر جاذب بر بهره‌وری آب و خصوصیات کمی و کیفی زعفران در شرایط کم آبیاری آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سه سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در اراضی کشاورزی شهر زیار از توابع شهرستان اصفهان اجرا شد. در این آزمایش کم‌آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) به‌عنوان عامل کرت اصلی و عامل کرت‌های فرعی شامل سطوح مختلف بسیار سوپر جاذب (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. نتایج بر اساس سطوح معنی‌داری ۹۵ درصد محاسبه شد. یافته‌های تحقیق نشان داد که بیشترین مقادیر تعداد برگ گیاه (به ترتیب ۲۵ و ۳۴ عدد)، عملکرد برگ خشک (به ترتیب ۳۸۴۵ و ۴۹۲۶ کیلوگرم در هکتار) عملکرد گل تر (۱۵۵۹ و ۱۹۱۲ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد خشک کالاه (۱۱/۸ و ۱۷/۸ کیلوگرم در هکتار)، تعداد بنه (۲۷۸ و ۳۴۵ عدد) و عملکرد بنه (۳۲/۱ و ۴۵/۱ تن در هکتار) در سال‌های ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲ آزمایش در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به‌دست آمد. بهبود در این پارامترهای محصول زمانی که سوپر جاذب در شرایط کم‌آبیاری در مقایسه با شرایط آبیاری کامل استفاده شد، به‌طور قابل توجهی بیشتر بود. از سوی دیگر، بیشترین بهره‌وری آب در تیمار آبیاری ۵۰ درصد و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب (۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۷ کیلوگرم در متر مکعب) بدست آمد. علاوه بر این، تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، دارای بیشترین غلظت کروسین (۱۳/۰ و ۱۲/۴ درصد)، پیکروکروسین (۶/۶ و ۵/۹ درصد) و سافرانال (۲/۶ و ۲/۴ درصد) را در هر دو سال آزمایش نشان داد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد اگرچه بیشترین عملکرد کمی زعفران از آبیاری کامل همراه با کاربرد سوپر جاذب بدست آمد، بهترین نتیجه از نظر کیفیت زعفران در تیمار آبیاری ۷۵ درصد و کاربرد سوپر جاذب بدست آمد که به دلیل محدودیت منابع آبی در منطقه مورد مطالعه و اهمیت کارایی آب، به‌عنوان بهترین تیمار در تولید پایدار زعفران در مناطقی با شرایط مشابه با محل آزمایش توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: سافرانال، عملکرد بنه، عملکرد گل، بهره‌وری آب، کروسین.

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

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

مقدمه

تغییرات آب و هوایی به عنوان چالش اصلی جهانی در قرن بیست و یکم در نظر گرفته می‌شود. اثرات جبران ناپذیر و برگشت ناپذیری بر پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی طبیعی دارد (Wang et al., 2021). تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین بیشترین تأثیر را بر کشاورزی و امنیت غذایی دارد و تأثیرات منفی شدیدتری در مناطق خشک و نیمه خشک دارد. چالش دسترسی به آب شیرین در سراسر جهان بسیار مهم است. این امر در مناطق خشک حادث‌تر است و با کمبود شدید آب مواجه هستند که مستقیماً جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، رشد جمعیت و افزایش تقاضای آب از موانع اصلی توسعه پایدار است (Gorjian & Ghobadian, 2015).

متوسط مصرف جهانی آب در بخش کشاورزی حدود ۷۰ درصد است در حالی که این میزان در ایران بیش از ۹۰ درصد است (Ahmadian et al., 2024). علاوه بر مصرف بسیار بالاتر آب برای آبیاری، راندمان سیستم‌های آبیاری در ایران بسیار پایین است و به طور متوسط حدود ۳۵ درصد است (Madani, 2014) و در اکثر کشورهای توسعه‌یافته بسیار کمتر از محدوده ۷۰ تا ۹۰ درصد است (FAO, 2016). بنابراین، راهکارهای مدیریت آبیاری با هدف کاهش مصرف آب و افزایش راندمان مصرف آب برای دستیابی به امنیت و پایداری آب در این منطقه حیاتی است.

با توجه به محدودیت دسترسی به آب در ایران، ساکنان مناطق مختلف سال‌هاست که از استراتژی‌های نوآورانه برای سازگاری با شرایط اقلیمی استفاده می‌کنند و سعی می‌کنند بهره‌وری مصرف آب را در شرایط کم‌آبی به حداکثر برسانند. این استراتژی‌ها در طول تاریخ در کشاورزی استفاده شده و برای تولید محصولات مختلف تطبیق داده شده است. برخی از ضروری‌ترین تکنیک‌ها شامل انتخاب گونه‌های گیاهی مقاوم به

خشکی، نوع سیستم کشت، حوضه آبریز و سیستم‌های برداشت و ایجاد شیوه‌های آبیاری مناسب است (Mirzaei et al., 2024). از این نظر، کشت زعفران (*Crocus sativus* L.) در ایران بخصوص در شرق و شمال شرق ایران سابقه بسیار طولانی دارد، بنابراین اشتغال و امرار معاش بسیاری از خانوارها به این محصول ارزشمند وابسته است.

اگرچه ایران از نظر سطح زیر کشت و تولید سالانه در بین کشورهای تولیدکننده زعفران رتبه اول را دارد، اما میانگین عملکرد آن در مقایسه با میانگین جهانی عملکرد این محصول پایین است (Ahmadian et al., 2024). تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین و از همه مهم‌تر خشکسالی‌های مکرر و کمبود منابع آب شیرین، دلایل اصلی این کاهش عملکرد هستند. زعفران در اکثر مناطق کشت زعفران ایران به روش‌های سنتی کشت می‌شود و اراضی زیر کشت زعفران معمولاً در مزارع خرده مالکی اداره می‌شود. یکی از عملیات رایج در کشت زعفران در ایران روش آبیاری است که عمدتاً به صورت آبیاری حوضه‌ای (آبیاری شیاری) انجام می‌شود. همچنین منبع آب بیشتر مزارع زعفران قنات (کانال زیرزمینی) است. به همین دلیل یکی از چالش‌های اصلی کشت زعفران در این مناطق تامین و مدیریت آب آبیاری است. با توجه به محدودیت منابع آبی و گستردگی مزارع زعفران، حتی در صورت وجود آب آبیاری، ممکن است این آب با گذراندن یک چرخه آبیاری بسیار طولانی و با تأخیر طولانی تامین شود. بنابراین مدیریت آبیاری و افزایش راندمان مصرف آب در کشت زعفران باید از اولویت‌های اصلی پژوهشگران، برنامه‌ریزان، کشاورزان و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی ایران باشد.

محققان اخیراً تلاش‌های زیادی برای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی انجام داده‌اند. در انجام این کار، آنها رویکردهای کمی آبی و فراوانی آبیاری، استفاده از ترکیبات جاذب آب و جلوگیری

این حال، کمبود منابع آبی، گسترش سطح زیر کشت و تولید این محصول با ارزش را با چالش جدی مواجه می‌کند. تحقیقات محدودی به بررسی تعامل بین جاذب‌های رطوبت، تهویه‌کننده‌های خاک و رژیم‌های آبیاری روی گیاهان زعفران با تمرکز ویژه بر جنبه‌های کیفی پرداخته است. در این زمینه، این مطالعه با هدف دستیابی به دو هدف اصلی انجام شد: (۱) بررسی اثرات کم‌آبیاری بر عملکرد و شاخص‌های کیفی زعفران. و (۲) ارزیابی اثر کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد، کیفیت و بهره‌وری آب زعفران در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری در یک اقلیم خشک.

مواد و روش‌ها

مکان و سال آزمایش

این پژوهش طی سه سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱، ۱۳۹۹-۱۴۰۰، ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲ در مزرعه شخصی 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.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

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 و به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه پیام نور واحد بروجرد منتقل و اندازه‌گیری شد و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

تیمارهای آزمایش

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 سوپر جاذب استاکوزورب در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰

از هدررفت آب راجه عنوان راهبردهای اصلی در نظر گرفته‌اند (Islam et al., 2011). در مدیریت آبیاری، روش کم‌آبیاری با هدف جلوگیری از اثرات نامطلوب تنش شدید بر رشد گیاه با تکنیک‌های خاص و در عین حال کاهش مصرف آب آبیاری و افزایش بهره‌وری آب است (Rodrigo-Comino et al., 2022; Al-Shammary et al., 2023). در سال‌های اخیر برخی از مواد شیمیایی برای افزایش میزان نگهداشت آب در کشاورزی به کار برده شده و تحقیقاتی در زمینه روش‌هایی مانند کاربرد بسپار (پلیمر)‌های آب‌دوست که به افزایش کارایی مصرف آب منجر می‌شود صورت گرفته است (Mortezavi et al., 2015).

نتایج بسیاری از بررسی‌ها نشان داده‌اند، کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش اثر ناشی از تنش خشکی می‌شود (Jalili et al., 2017). سوپر جاذب‌ها تخلخل، ساختمان و نگهداری آب خاک را بهبود می‌بخشد (Karimi et al., 2009). از پرکاربردترین نوع سوپر جاذب‌های مورد استفاده در کشاورزی بسپارهایی با ماهیت پلی‌اکریل‌آمید هستند. این بسپارها آلی و از پی‌اکریلات پتاسیم و کوبسپارهای پلی‌اکریل‌آمیداند و از نظر بار الکتریکی انواع آنیونی، کاتیونی و خنثی داشته که نوع آنیونی آن در کشاورزی اهمیت دارد. سوپر جاذب‌های آنیونی با داشتن قابلیت بالای ظرفیت تبادل کاتیونی قادرند افزون بر جذب مقادیر زیاد آب، کاتیون‌های موثر و مفید رشد گیاه را در خود جذب کرده و در هنگام لزوم در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Jalili et al., 2017). در پژوهشی به ارزیابی پویایی (دینامیکی) نفوذ آب در خاک با کاربرد سوپر جاذب پرداخته شد و نتایج به‌دست آمده نشان داد، کاربرد سوپر جاذب باعث افزایش حجم آب اشباع خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و نفوذپذیری آب در خاک شد (Han et al., 2012).

زعفران در مناطق خشک و نیمه خشک ایران از اهمیت قابل توجهی برخوردار است و به میزان قابل توجهی در معیشت کشاورزان، توسعه صنعتی و صادرات غیرنفتی کمک می‌کند. با

پلی‌اکریلات سدیم (Sodium Polyacrylate) شناخته می‌شوند. پلیمر سوپرجاذب قبل از کاشت در منطقه بنه و توسعه ریشه در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر اعمال شد. زمان اعمال تیمارهای سوپرجاذب یکبار در زمان کاشت بنه بود (Ahmadian et al., 2024).

کیلوگرم در هکتار) (Jalili et al., 2018) به‌عنوان عامل فرعی بودند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سوپرجاذب استاکوزورب در جدول ۲ آمده است. سوپرجاذب از شرکت دیم گستران سبز آتیه نمایندگی شرکت استاکوزورب در ایران تهیه گردید. ترکیب اصلی آن معمولاً پلیمرهای سوپرجاذب هستند که به نام‌های

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

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

سال Year	بافت خاک Soil texture	نیتروژن در دسترس N _{ava} (%)	فسفر P _{ava} (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K _{ava} (mg.kg ⁻¹)	pH	EC (dS.m ⁻¹)	OC (%)
2021-22	لوم سیلتی (Silt loam)	0.065	13.2	186	7.66	1.79	0.616
2022-23	لوم سیلتی (Silt loam)	0.071	18.4	242	7.71	1.83	0.721

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سوپرجاذب استاکوزورب

Table 2- The physical and chemical properties of Stockosorb superabsorbent

خصوصیات Properties	استاکوزورب Stockosorb
حلالیت Solubility	نامحلول در آب و محلول‌های آلی Insoluble in water and organic solutions
اسیدیته Acidity	7-8
قابلیت جذب آب Water absorption capacity	حداقل ۱۵۰ و حداکثر ۴۰۰ میلی‌لیتر در گرم The minimum 150 and maximum 400 mL per g
اندازه ذرات The size of particles	0.2-0.8 mm
طول و عمر موثر در خاک Effective life span in the soil	۷ تا ۱۵ سال 7-15 years
آب قابل استفاده برای گیاه The water usable for the plant	بیش از ۹۵ درصد More than 95%
سمیت Toxicity	غیر سمی Nontoxic

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.

اعمال تیمار تنش خشکی

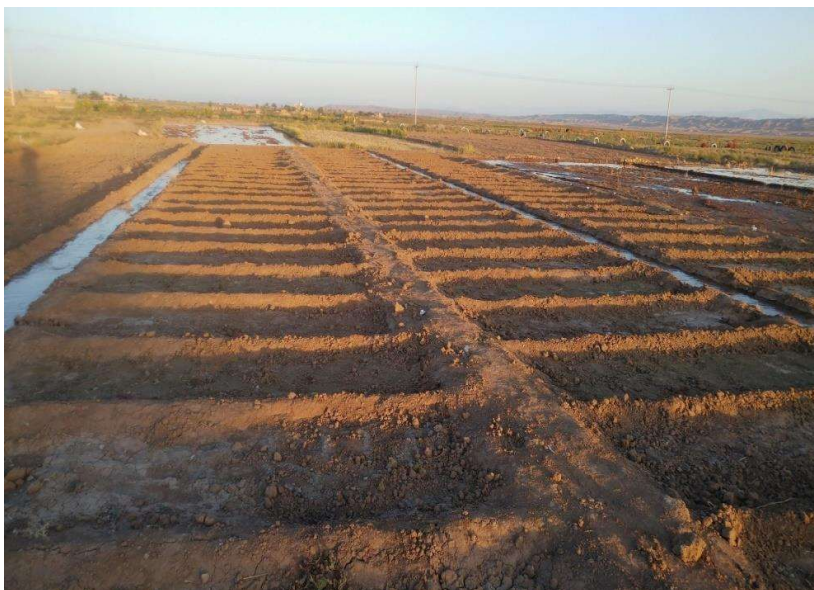
نیاز آبی زعفران با استفاده از نرم افزار Cropwat ۳۴۴۰ مترمکعب در هکتار برآورد شد. از داده‌های هواشناسی بلندمدت ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸ برای این منظور استفاده شده است. آبیاری با

عملیات آماده‌سازی و کاشت

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین در شهریورماه ۱۳۹۹ انجام گردید. بنه زعفران کشت شده در این آزمایش توده تربت حیدریه بود. کشت بنه‌های زعفران در شهریورماه ۱۳۹۹ 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 (شکل ۱). بین هر تکرار یک متر فاصله به عنوان راهرو جهت سهولت در ثبت اطلاعات

شدن کامل آنها ۰/۵۶ می باشد) بود. در سال اول، نخستین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام شد. به طور کلی در هر سال ۴ نوبت آبیاری (قبل از گلدهی، بعد از گلدهی، اواسط اسفند و اواخر فروردین) صورت گرفت. میزان آبیاری تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۷۲۰، ۲۵۸۰ و ۳۴۴۰ متر مکعب در هکتار بود.

استفاده از کنتور و به صورت کرتی انجام گرفت (شکل ۲). ضرایب گیاهی (Crop Coefficients یا Kc) برای زعفران در مراحل مختلف رشد شامل: ۱- مرحله استقرار (این مرحله شامل کاشت تا ظهور برگ‌ها است ۰/۳۴ می باشد)، ۲- مرحله رشد رویشی (از ظهور برگ‌ها تا رشد کامل برگ‌ها ۰/۷۸ می باشد)، ۳- مرحله میانی (شامل حداکثر رشد گیاه و تولید بنه‌ها ۰/۹۷ می باشد) و ۴- مرحله پایانی (از آغاز زرد شدن برگ‌ها تا خشک



شکل ۱- بلوک‌های آزمایش در مزرعه
Figure 1- Field experiment blocks.

دوم و سوم در نظر گرفته شد. گل‌های زعفران هر روز از هر کرت با ابعاد ۵۰ × ۴۰ سانتی‌متر مربع در هر فصل گل‌دهی (شروع گلدهی از ۸ آبان) برداشت می‌شد. بلافاصله پس از برداشت، گل‌ها در یک کیسه پلاستیکی قرار داده شدند و با استفاده از ترازوی دیجیتالی دقیق (۰/۰۰۰۱ گرم) وزن شدند و سپس عملکرد گل تازه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. در ادامه، کلاله‌های زعفران از گل‌ها جدا شد و هر نمونه به مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق خشک شد. سپس کلاله‌ها وزن و بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

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 سه سال آزمایش کنترل علف‌های هرز از طریق وجین دستی در دو نوبت بهمن‌ماه و فروردین‌ماه انجام شد (شکل ۳).

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری

با توجه به اینکه ویژگی‌های رشد و عملکرد زعفران در طول فصل رشد اولیه می‌تواند تحت تأثیر ویژگی‌های بنه به‌ویژه ذخایر غذایی آن باشد، این امر ممکن است بر دقت ارزیابی‌های تجربی تأثیر بگذارد. از این رو، جهت اندازه‌گیری صفات از داده‌های سال



شکل ۲- آبیاری بلوک‌های آزمایشی در مزرعه
Figure 2- Irrigation of experimental blocks in the field.



شکل ۳- وجین علف‌های هرز
Figure 3- Weeding.

تخمین عملکرد بنه اندازه‌گیری شد. ضریب تبدیل گل به کلاله
(Ahmadian et al., 2024) به صورت زیر محاسبه شد:

(۱)

وزن تر گل / وزن خشک کلاله = ضریب تبدیل گل به کلاله
بهره‌وری آب با تقسیم عملکرد کلاله خشک بر میزان آبیاری
استفاده شده در دوره‌های رشد زعفران محاسبه شد. جهت
اندازه‌گیری برای اندازه‌گیری کروسین، پیکروکروسین و ساfranال
نمونه‌ها به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه پیام نور واحد بروجرد

برای اندازه‌گیری تعداد برگ، از هر کرت پنج بوته به طور
تصادفی انتخاب شد (Ahmadian et al., 2024). وزن برگ
خشک در اسفند با برداشت تصادفی برگ گیاه در ۰/۵ متر مربع
از هر کرت، خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه ژرمیناتور
به مدت ۷۲ ساعت و سپس توزین اندازه‌گیری شد. برای
اندازه‌گیری تعداد بنه و عملکرد، بنه‌ها در ۰/۲ × ۰/۲ مترمربع از
هر کرت در خرداد برداشت شدند و پس از شمارش بنه‌ها، به
مدت هفت روز در دمای اتاق خشک شدند. وزن بنه‌ها برای

سوپر جاذب اثرات کمبود آب را در هر دو سال آزمایش به طور تأثیرگذاری کاهش داد. نتایج نشان داد در هر سه سطح آبیاری، بیشترین و کمترین تعداد برگ در بوته و وزن خشک برگ به ترتیب در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب بود. تفاوت بیشترین و کمترین تعداد برگ در بوته برای تیمار سوپر جاذب (صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۴۳، ۴۷ و ۲۵ درصد در سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۲۲، ۱۲ و ۱۷ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود. همچنین، تفاوت بیشترین و کمترین برای وزن خشک برگ به ترتیب ۴۲، ۳۰ و ۱۹ درصد در سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۳۸، ۲۵ و ۱۴ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود. می توان بیان داشت در هر سه سطح تنش خشکی، با اعمال سوپر جاذب بر تعداد برگ در بوته و وزن خشک برگ افزوده شد ولی در شرایط آبیاری ۵۰ درصد اثرات مثبت سوپر جاذب بیشتر بود (جدول ۵ و ۶). این نتیجه نشان می دهد که کم آبیاری، علاوه بر تأثیر مستقیم بر فتوسنتز، با محدود کردن جذب مواد مغذی از ریشه و انتقال آن ها به شاخه های گیاه، باعث کاهش رشد و تولید برگ ها می شود (Lopez-Marín et al., 2017). فیرماندا و همکاران (Firmananda et al., 2023) گزارش داد که ریز منافذ در بسپارها به عناصر میکرو و ماکرو اجازه می دهد تا در بین ذرات پلیمر پخش شوند و بسته به سرعت تجزیه، نوع ماده غذایی و خواص انتشار پلیمر، مواد مغذی به تدریج از آن در خاک آزاد می شوند. همچنین گزارش شده است که سوپر جاذب می تواند آبشویی نیتروژن را تا ۴۵ درصد کاهش دهد (Ahmadian et al., 2024)، که می تواند نقش اساسی در بهبود دسترسی و کارایی نیتروژن داشته باشد.

منتقل و اندازه گیری شد. نمونه های زعفران خشک شده آسیاب شدند و به پودر یکنواختی تبدیل شدند. سپس، مقدار مشخصی از پودر زعفران با استفاده از ترازو وزن شدند و در حلال آب مقطر حل شدند. محلول تهیه شده به مدت مشخصی تحت همزدن قرار گرفت تا ترکیبات مؤثره استخراج شوند. محلول حاصل از مرحله استخراج از طریق کاغذ صافی عبور داده شد تا ذرات معلق جدا شوند. برای شفاف سازی بیشتر، محلول به دستگاه سانتریفیوژ منتقل شد و با سرعت مناسب سانتریفیوژ شد. جهت اندازه گیری متابولیت های ثانویه اصلی کرومین (عامل رنگ) با حداکثر جذب در طول موج ۴۴۰ نانومتر، پیکرو کرومین (عامل طعم) با حداکثر جذب در طول موج ۲۵۷ نانومتر و سافرانال (عامل عطر) با حداکثر جذب در طول موج ۳۳۰ نانومتر به روش اسپکتروفتومتری طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۵۹۹ اندازه گیری شد (ISIRI).

تجزیه و تحلیل داده ها

پس از اندازه گیری شاخص های مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل داده ها و رسم شکل ها با استفاده از نرم افزارهای SAS 9.4 و MS-Excel انجام گرفت. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد برگ و وزن خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد در هر دو سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱، اثر اصلی کم آبیاری و برهمکنش کم آبیاری و سوپر جاذب بر تعداد برگ در بوته و وزن خشک برگ معنی دار بود (جدول ۳ و ۴). همانطور که جدول ۵ و ۶ نشان می دهد، کاهش آبیاری باعث کاهش تعداد برگ در بوته در طول دو سال آزمایش (۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱) شد. از سوی دیگر، استفاده از

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی زعفران در دو سال ۱۴۰۰-۰۱ تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سوپرجاذب
Table 3- Analysis of variance for growth and yield traits of saffron during two years (2021-2022) under the influence of different levels of irrigation and superabsorbent

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)							
		تعداد برگ در بوته Leaf number	وزن خشک برگ Dry leaf yield	عملکرد گل تر Fresh flower yield	عملکرد کالاه خشک Dry stigma yield	تعداد بنه Corm number	عملکرد بنه Corm yield	ضریب تبدیل گل به کالاه Flower-to- stigma conversion factor	بهره‌وری آب Water productivity
بلوک (Block)	2	7.44 ^{ns}	5544 ^{ns}	5030 ^{ns}	0.288 ^{ns}	195 ^{ns}	0.280 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0000001 ^{ns}
سطوح آبیاری (Levels of irrigation)	2	69.3 ^{**}	3771109 ^{**}	273252 ^{**}	12.3 ^{**}	9577 ^{**}	465 ^{**}	0.010 [*]	0.00001 ^{**}
خطای (Error) a	4	3.11	33211	2743	0.221	97.4	0.963	0.001	0.00000004
سوپر جاذب Superabsorbent (B) polymer	2	12.3 ^{ns}	104620 ^{ns}	112687 ^{**}	3.06 [*]	1296 [*]	15.3 [*]	0.006 [*]	0.0000001 ^{ns}
A × B	4	40.8 [*]	551184 ^{**}	195703 ^{**}	8.17 ^{**}	3799 ^{**}	13.8 ^{**}	0.006 [*]	0.000002 ^{**}
خطای کل (Total error)	12	8.89	86189	14641	0.657	324	2.54	0.001	0.0000001
ضریب تغییرات (C.V. (%))	-	14.8	10.0	10.3	8.58	8.04	6.30	4.22	9.36

ns و *، ** به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.
**، * and ns significant at p ≤ 0.01 and p ≤ 0.05 and not significant, respectively.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات رشدی و عملکردی زعفران در دو سال ۱۴۰۱-۰۲ تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سوپرجاذب
Table 4 - Analysis of variance for growth and yield traits of saffron during two years (2022-2023) under the influence of different levels of irrigation and superabsorbent

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)							
		تعداد برگ در بوته Leaf number	وزن خشک برگ Dry leaf yield	عملکرد گل تر Fresh flower yield	عملکرد کالاه خشک Dry stigma yield	تعداد بنه Corm number	عملکرد بنه Corm yield	ضریب تبدیل گل به کالاه Flower-to- stigma conversion factor	بهره‌وری آب Water productivity
بلوک (Block)	2	6.78 [*]	5544 ^{ns}	5003 ^{ns}	0.288 ^{ns}	195 ^{ns}	0.430 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.00000004 ^{ns}
سطوح آبیاری (Levels of irrigation)	2	307 ^{**}	6552152 ^{**}	757602 ^{**}	84.2 ^{**}	15409 ^{**}	778 ^{**}	0.052 ^{**}	0.00001 ^{**}
خطای (Error) a	4	0.778	33211	11153	0.221	97.4	2.56	0.002	0.00000003
سوپر جاذب Superabsorbent (B) polymer	2	4.00 ^{ns}	134242 ^{ns}	111561 [*]	5.52 ^{**}	505 ^{ns}	22.2 [*]	0.004 ^{ns}	0.0000001 ^{ns}
A × B	4	17.0 ^{**}	829498 ^{**}	99652 [*]	17.6 ^{**}	1928 ^{**}	36.6 ^{**}	0.017 ^{**}	0.000004 ^{**}
خطای کل (Total error)	12	2.11	86189	18415	0.657	324	5.91	0.001	0.0000001
ضریب تغییرات (C.V. (%))	-	5.59	7.59	8.32	6.02	5.98	6.68	4.51	7.05

ns و *، ** به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.
**، * and ns significant at p ≤ 0.01 and p ≤ 0.05 and not significant, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات رشدی و عملکردی زعفران تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سوپرجاذب در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱
Table 5 – Mean comparison of growth and yield traits of saffron under the influence of different levels of irrigation and superabsorbent during the 2021-2022 growing season

سطوح آبیاری Levels of) (irrigation	سوپر جاذب Superabsorbent polymer (kg.ha ⁻¹)	تعداد برگ در بوته Leaf number (Leaf plant ⁻¹)	وزن خشک برگ Dry leaf yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد گل تر Fresh flower yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد کلاله خشک Dry stigma yield (kg.ha ⁻¹)	تعداد بنه Corm number (m ⁻²)	عملکرد بنه Corm yield (t.ha ⁻¹)	ضریب تبدیل گل به کلاله Flower- to- stigma (%)	بهره‌وری آب Water productivity (kg.m ⁻³)
۱۰۰ درصد نیاز آبی	0	20	3225	1105	8.90	217	28.3	0.772	0.003
	50	22	3511	1310	9.92	246	30.4	0.837	0.003
100 % Water requirement	100	25	3845	1559	11.8	278	32.1	0.837	0.003
۷۵ درصد نیاز آبی 75 % Water requirement	0	17	2654	915	8.30	203	25.2	0.804	0.003
	50	21	2986	1241	10.3	240	29.4	0.831	0.004
100	25	3445	1492	11.5	272	31.2	0.908	0.004	
۵۰ درصد نیاز آبی 50 % Water requirement	0	14	1854	811	6.80	158	15.9	0.759	0.004
	50	17	2251	969	8.10	186	17.2	0.759	0.005
100	20	2624	1171	9.40	216	18.1	0.806	0.005	
LSD (5 %)		5.30	522	215	1.44	32.0	2.84	0.061	0.0006

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات رشدی و عملکردی زعفران تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سوپرجاذب در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲
Table 6 – Mean comparison of growth and yield traits of saffron under the influence different levels of irrigation and superabsorbent during the 2022-2023 growing season

سطوح آبیاری Levels of) (irrigation	سوپر جاذب Superabsorbent polymer (kg.ha ⁻¹)	تعداد برگ در بوته Leaf number (Leaf plant ⁻¹)	وزن خشک برگ Dry leaf yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد گل تر Fresh flower yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد کلاله خشک Dry stigma yield (kg.ha ⁻¹)	تعداد بنه Corm number (m ⁻²)	عملکرد بنه Corm yield (t.ha ⁻¹)	ضریب تبدیل گل به کلاله Flower- to- stigma (%)	بهره‌وری آب Water productivity (kg.m ⁻³)
۱۰۰ درصد نیاز آبی	0	29	4341	1725	13.2	332	39.8	0.769	0.004
	50	32	4629	1889	15.3	339	43.5	0.815	0.004
100 % Water requirement	100	34	4926	1912	17.8	345	45.1	0.935	0.005
۷۵ درصد نیاز آبی 75 % Water requirement	0	25	3459	1425	13.0	272	35.9	0.893	0.005
	50	26	4102	1668	14.9	312	41.9	0.900	0.006
100	28	4532	1927	17.1	338	44.2	0.919	0.007	
۵۰ درصد نیاز آبی 50 % Water requirement	0	18	2472	1222	7.80	239	23.2	0.640	0.005
	50	20	2962	1334	10.2	257	25.9	0.765	0.006
100	22	3411	1411	11.8	274	28.1	0.837	0.007	
LSD (5 %)		2.59	522	241	1.44	32.1	4.32	0.066	0.0007

عملکرد گل تر و عملکرد کلاله خشک

معنی‌دار بود. در کم آبیاری، بیشترین مقدار عملکرد گل تر در آبیاری ۱۰۰ درصد به دست آمد. کاهش مقدار آب آبیاری مصرفی به تدریج باعث کاهش عملکرد گل تر شد. گزارش شده است که بین تولید گل و دسترسی به آب در کشت زعفران همبستگی

نتایج تجزیه واریانس جدول ۳ و ۴ نشان داد اثرات اصلی کم آبیاری، سوپرجاذب و برهمکنش دوگانه آن‌ها بر عملکرد گل تر و عملکرد کلاله خشک در هر دو سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲

آمد و کمترین عملکرد خشک کلاله در تیمار بدون سوپرچاذب ثبت شد. تفاوت بیشترین و کمترین عملکرد خشک کلاله در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۳۸، ۳۹ و ۳۳ درصد در سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۵۱، ۳۲ و ۳۵ درصد در سال ۲۰۲-۱۴۰۱ بود (جدول ۵ و ۶). با توجه به اینکه آبیاری زعفران از روش حوضچه‌ای استفاده می‌کند که ممکن است منجر به تلفات آب و مواد مغذی از طریق زهکشی شود، استفاده از سوپرچاذب می‌تواند به طور بالقوه این تلفات را کاهش داده و در نتیجه عملکرد کلاله خشک را افزایش دهد (Dehkordi, 2017).

تعداد و عملکرد بنه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، اثرات اصلی کم آبیاری، سوپرچاذب و برهمکنش دوگانه آن‌ها بر تعداد و عملکرد بنه در هر دو سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۲۰۲-۱۴۰۱ معنی‌دار بود (جدول ۳-۴). گیاهان زعفران رشد کرده تحت تیمار آبیاری کامل در طول سال‌های آزمایش بالاترین تعداد بنه را داشتند، در حالی که کمترین تعداد بنه در تیمار آبیاری ۵۰ درصد بود. مشابه نتایج ما، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2016) گزارش کردند که افزایش دسترسی به آب در کشت زعفران از طریق فراهم کردن شرایط بهتر برای تشکیل بنه دختر و بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه منجر به بهبود صفات بنه مانند تعداد بنه‌های دختر شد. بر اساس نتایج، اثرات مثبت کاربرد سوپر چاذب بر بهبود تعداد بنه در شرایط کمبود آب به طور معنی‌داری بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود. تفاوت بیشترین و کمترین تعداد گل در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۳۷، ۳۴ و ۲۸ درصد در سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۵، ۲۴ و ۴ درصد در سال ۲۰۲-۱۴۰۱ بود (جدول ۵ و ۶). با توجه به سازگاری زعفران با اقلیم های خشک و نیمه خشک شرق و شمال شرق ایران و نیاز آبی کمتر نسبت به سایر محصولات زعفران، این محصول گزینه بسیار مناسبی برای اجرای استراتژی های پایدار در فرهنگ کشاورزی در این

بالایی وجود دارد (Esmailian et al., 2022). به عبارت دیگر، برای دستیابی به عملکرد گل تر بالاتر در زعفران، افزایش سطوح آبیاری ضروری است (Behdani et al., 2008). اثر متقابل بین فواصل آبیاری و سوپرچاذب نشان می‌دهد که عملکرد گل تر برای گیاهان با افزایش میزان آبیاری و کاربرد سوپرچاذب بیشتر بود. علاوه بر این، تیمارهای سوپر چاذب افزایش عملکرد گل تر بالاتری نسبت به نمونه‌های بدون سوپرچاذب تحت تیمار آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نشان دادند. نتایج نشان داد در هر سه سطح آبیاری، بیشترین و کمترین عملکرد تر گل و عملکرد کلاله خشک به ترتیب در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر چاذب بود. تفاوت بیشترین و کمترین عملکرد تر گل در تیمار سوپرچاذب (صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۴۴، ۶۳ و ۴۱ درصد در سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۶، ۳۵ و ۱۱ درصد در سال ۲۰۲-۱۴۰۱ بود (جدول ۵ و ۶). یو و همکاران (Yu et al., 2017) بیان کرد که از آنجایی که بیشتر خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک دارای سطوح کم رس و مواد آلی هستند، از ذخیره آب و بهره‌وری پایینی برخوردار هستند و در نتیجه تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد و کاهش بهره‌وری محصول در این مناطق می‌شود. بنابراین، استفاده از سوپرچاذب می‌تواند دسترسی به آب را بهبود بخشد و اثرات منفی خشکی بر محصولات را کاهش دهد.

تغییرات در عملکرد کلاله خشک در پاسخ به تیمارهای تجربی روند مشابهی را با آنهایی که در عملکرد گل تر نشان دادند. کاهش سطوح آبیاری منجر به کاهش عملکرد کلاله خشک در طول دو سال آزمایش شد. این یافته‌ها با دسترنج و سپاسخواه (Dastranj & Sepaskhah, 2019) همخوانی دارد که با کاهش ۷۵ و ۵۰ درصدی آب آبیاری، عملکرد کلاله زعفران را ۲۱ و ۳۷ درصد کاهش دادند. در هر سه سطح آبیاری، بیشترین عملکرد خشک کلاله در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سوپرچاذب بدست

مناطق می باشد. در این راستا، سوپرچاذب می‌تواند با حفظ آب برای کشت زعفران، بنه‌های استاندارد تولید کند (Fallahi et al., 2016).

از سوی دیگر، تنش خشکی ناشی از کمبود آب، در کاهش عملکرد بنه تأثیر بیشتری نسبت به کاهش تعداد بنه داشت. پژوهشگران بهترین فاصله آبیاری برای کشت زعفران را ۲۴ روز گزارش کردند و بیان کردند که افزایش روزهای فواصل آبیاری باعث کاهش عملکرد بنه می‌شود (Azizi Zohan et al., 2008). علاوه بر این، د خوان و همکاران (De Juan et al., 2009) تأکید کردند که آبیاری بهینه زعفران عملکرد گل را با بهبود ویژگی‌های بنه مانند اندازه بنه افزایش می‌دهد. نتایج نشان داد با افزایش سطوح آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد از عملکرد بنه کاسته شد، ولی در هر سه سطح آبیاری، اعمال سوپرچاذب اثرات منفی تنش را کاهش داد. در هر سه سطح آبیاری بیشترین میزان عملکرد بنه در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاذب بدست آمد و کمترین عملکرد بنه در تیمار شاهد ثبت شد. تفاوت بیشترین و کمترین عملکرد بنه در تیمار سوپرچاذب (صفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۱۴، ۲۴ و ۱۰ درصد در سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۲۱، ۲۳ و ۱۳ درصد در سال ۱۴۰۱-۰۲ بود. می‌توان بیان داشت در هر سه سطح آبیاری، با اعمال سوپرچاذب بر عملکرد بنه افزوده شد ولی در شرایط آبیاری ۷۵ درصد اثرات مثبت سوپرچاذب برای عملکرد بنه بیشتر بود (جدول ۵ و ۶). مطالعات دیگر نیز نقش سوپرچاذب را در کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی بر گیاهان تأیید می‌کنند (Satriani et al., 2018; Nassaj-Bokharaci et al., 2021). در این راستا اشاره شده است که سوپرچاذب با ذخیره و رهاسازی تدریجی آنها در دوره هایی که آب خاک در حال کاهش است، جذب آب و انتقال آب و عناصر غذایی را در گیاهان بهبود می بخشد که در نهایت باعث بهبود پارامترهای رشد و نمو گیاه می‌شود (Jnanesha et al., 2021).

ضریب تبدیل گل به کلاله و بهره‌وری آب

تجزیه واریانس صفات نشان داد اثر اصلی آبیاری و برهمکنش آبیاری و سوپرچاذب بر ضریب تبدیل گل به کلاله و بهره‌وری آب در هر دو سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲ معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۴). مقایسه میانگین کم آبیاری با تیمارهای متقابل سوپرچاذب نشان داد که سوپرچاذب به طور قابل توجهی ضریب تبدیل را برای تمام رژیم‌های آبیاری بهبود می‌بخشد. بیشترین مقادیر ضریب تبدیل گل به کلاله در طول سال‌های آزمایش (به ترتیب ۰/۹۰۸ و ۰/۹۳۵) به ترتیب در تیمارهای ۷۵ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاذب و تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاذب به دست آمد (جدول ۵ و ۶). چندین مطالعه نشان داده اند که استفاده از سوپرچاذب، علاوه بر بهبود ظرفیت نگهداری و رهاسازی مواد مغذی، رشد گیاه و پارامترهای عملکرد مرتبط را افزایش می‌دهد (Neethu et al., 2018; Roy et al., 2019).

همچنین نتایج حاکی از افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب زعفران در شرایط کم آبی است. افزایش بهره‌وری آب زعفران به دلیل کم آبیاری گزارش شده است (Dastranj & Sepaskhah, 2019). برخی از محققین بیان کرده اند که شاخص بهره‌وری آب با مقدار کل آب مصرفی گیاه در طول دوره رشد رابطه منفی دارد. به عبارت دیگر، برای دستیابی به بهره‌وری آب بالاتر، لازم است مصرف آب به سطحی کمتر از حد مورد نیاز برای دستیابی به حداکثر بازده کاهش یابد (Zhang et al., 2008). نتایج ما همچنین نشان داد که سوپرچاذب تأثیر قابل توجهی بر بهبود بهره‌وری آب زعفران دارد. افزایش راندمان مصرف آب زعفران به دلیل استفاده از سوپرچاذب در مطالعه دیگری گزارش شده است (Fallahi et al., 2016). علاوه بر این، سوپرچاذب رشد ریشه و ساقه گیاه را بهبود می بخشد (Islam et al., 2011) و در نهایت بهره‌وری آب محصول را بهبود می‌بخشد (El-Asmar et

و ۵) و کروسیین (۱۲/۴ درصد)، پیکروکروسین (۵/۹۰ درصد) و سافرانال (۲/۴۰ درصد) در سال ۱۴۰۱-۰۲ (شکل ۲، ۴ و ۶) در تیمار نیاز آبی ۷۵ درصد و سوپر جاذب ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. سایر محققان نیز تأثیر کاهش نیاز آبی بر کیفیت زعفران را بررسی کرده و ادعا کرده‌اند که با کاهش میزان آبیاری، میزان کروسیین، پیکروکروسین و سافرانال افزایش می‌یابد. این نویسندگان این افزایش در ترکیبات فرار اصلی کلالة زعفران را در پاسخ به محدودیت در دسترس بودن آب به عنوان یکی از مکانیسم‌های سازگاری و مقاومت در برابر تنش در گیاهان زعفران نسبت دادند (Koocheki et al., 2016). از سوی دیگر، تأثیر مثبت کاربرد سوپر جاذب در شرایط کمبود آب بر ترکیبات اصلی اسانس شویید (*Anethum graveolens*) (Javadi et al., 2021) و انیسون (*Pimpinella anisum*) (Arabi et al., 2021) نیز گزارش شده است. همچنین نتایج احمدیان و همکاران (Ahmadian et al., 2024) بر روی خصوصیات کیفی زعفران نشان داد بیشترین میزان کروسیین، پیکروکروسین و سافرانال در دور آبیاری ۳۵ روز و تیمار هیدروژل سوپر جاذب بدست آمد.

با نکه داشتن آب و عناصر غذایی باعث کاهش تلفات از طریق زهکشی عمیق می‌شود (Montesano et al., 2015)، در حالی که رهاسازی تدریجی را در طول دوره‌های خشک فراهم می‌کند (Besharati et al., 2021). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد تفاوت بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری آب در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲ به ترتیب ۶۷ و ۷۵ درصد بود (جدول ۵ و ۶).

ترکیبات فرار کلالة زعفران

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، تفاوت در اثرات تیمارهای آزمایشی و برهمکنش آنها بر روی ترکیبات فرار اصلی کلالة زعفران (کروسین، پیکروکروسین و سافرانال) معنی‌دار بود (جدول ۷ و ۸). به طور کلی، زمانی که گیاهان زعفران به دلیل کم آبیاری در معرض دسترسی کمتر آب قرار گرفتند، ترکیبات کلالة بهبود یافت. با این حال، این تغییرات لندک بود و روند ثابتی را نشان نداد. لندازه‌گیری ترکیبات کلالة زعفران نشان داد که بیشترین میزان کروسیین (۱۳/۰ درصد)، پیکروکروسین (۶/۶۰ درصد) و سافرانال (۲/۶۰ درصد) در سال ۱۴۰۰-۰۱ (شکل ۱، ۳

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات کیفی زعفران در سال ۱۴۰۰-۰۱ تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سوپر جاذب
Table 7- Analysis of variance for saffron quality traits in the year 2021-2022 under the influence of different levels of irrigation and superabsorbent

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)		
		کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانال Safranal
بلوک (Block)	2	0.288 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.001 ^{ns}
سطوح آبیاری (Levels of irrigation) (A)	2	2.77*	0.910**	0.443**
خطای (Error) a	4	0.221	0.001	0.001
سوپر جاذب (Superabsorbent polymer) (B)	2	1.44 ^{ns}	0.670**	0.053**
A × B	4	4.69**	0.440**	0.018**
خطای کل (Total error)	12	0.657	0.008	0.002
ضریب تغییرات (%) C.V.		7.37	1.58	1.93

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

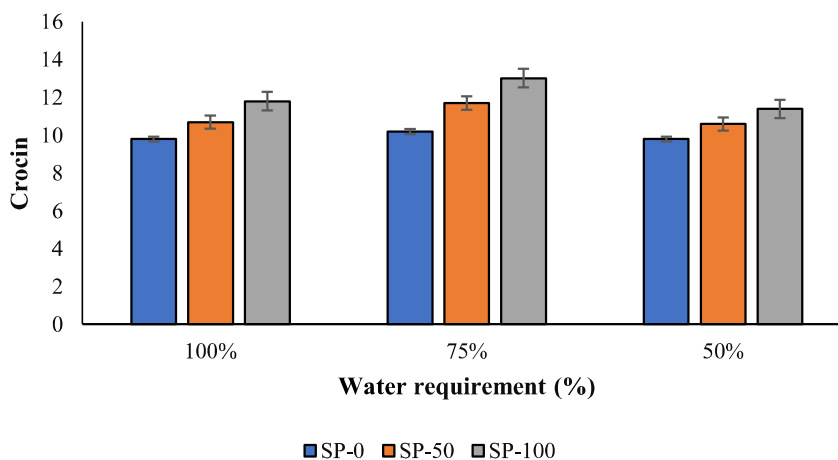
**، * and ns significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$ and not significant, respectively.

جدول ۸- تجزیه واریانس صفات کیفی زعفران در دو سال ۱۴۰۱-۰۲ تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سوپرجاذب
 Table 8- Analysis of variance for saffron quality traits in the year 2022-2023 under the influence of different levels of irrigation and superabsorbent

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)		
		کروسین Crocin	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانا Safranal
بلوک (Block)	2	0.488 ^{ns}	0.008*	0.001 ^{ns}
سطوح آبیاری (A) (Levels of irrigation)	2	2.50*	0.093**	0.143**
خطای a (Error)	4	0.168	0.001	0.001
سوپر جاذب (B) Superabsorbent polymer	2	6.77**	0.143**	0.093**
A × B	4	1.38**	0.313**	0.008*
خطای کل Total error	12	0.224	0.008	0.002
ضریب تغییرات C.V. (%)		4.27	1.60	1.94

**، * 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 at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$ and not significant, respectively.

LSD (5 %) = 1.44



شکل ۱- برهمکنش سطوح آبیاری × سوپرجاذب بر میزان کروسین زعفران در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱

(SP-0: شاهد بدون سوپرجاذب، SP-50: ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و SP-100: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب)

Figure 1- Interaction effects of irrigation levels × superabsorbent polymer on crocin content of saffron during the 2021-2022 growing season.

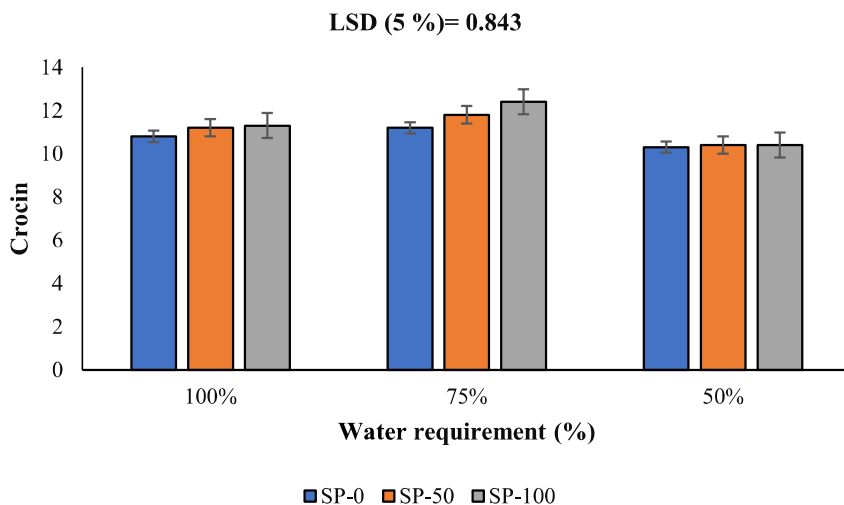
(SP-0: Control without superabsorbent polymer, SP-50: 50 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer, SP-100: 100 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer).

نتیجه گیری

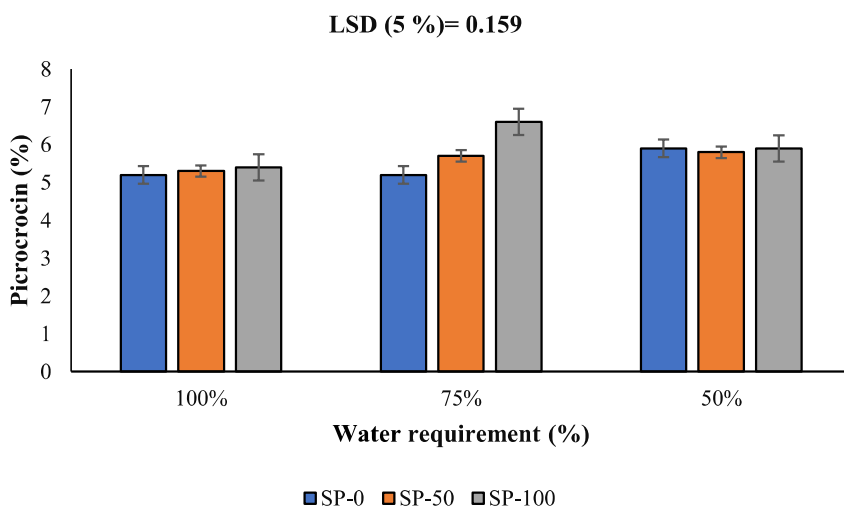
آب مناسب بهبود قابل توجهی را نشان دادند، بنابراین بهترین نتیجه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. مطالعه حاضر همچنین تنوع قابل توجهی را در صفات زعفران به دلیل استفاده از سوپرجاذب در تمام رژیم‌های آبیاری نشان داد. با این حال، پارامترهای اندازه‌گیری شده زعفران در شرایط کم‌آبیاری (۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی) نسبت به آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) بهبود

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پارامترهای رشد (تعداد برگ در بوته و وزن خشک برگ)، عملکرد اقتصادی (عملکرد گل تر و عملکرد خشک کلاله) و شاخص‌های بانه (تعداد و عملکرد بانه) زعفران به‌طور معنی‌داری به کم‌آبیاری و کاربرد بسیار سوپرجاذب پاسخ دادند. صفات مورد مطالعه زعفران به دلیل بر خورداری از

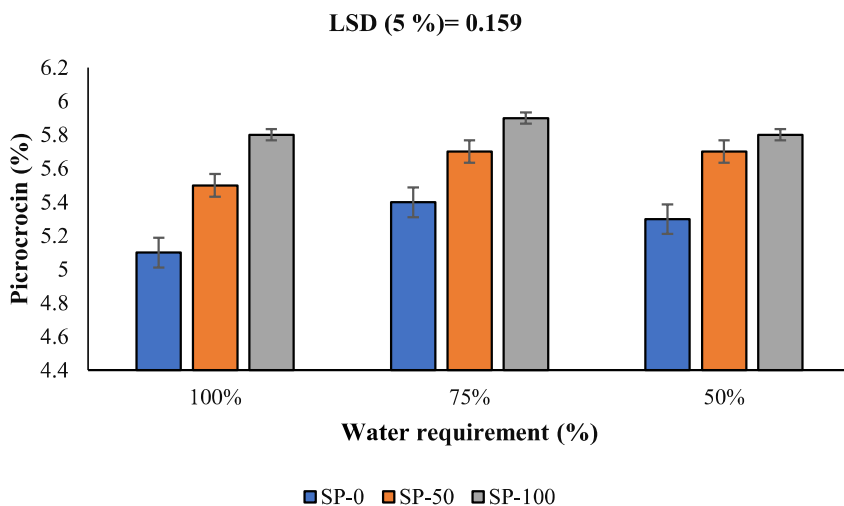
قابل توجه‌تری نشان دادند که نشان‌دهنده تأثیر مثبت این اصلاح غذایی و همچنین کاهش اثرات نامطلوب خشکی بر روی گیاه خاک در بهبود شرایط آبیاری بود. دسترسی گیاه به آب و مواد زعفران.



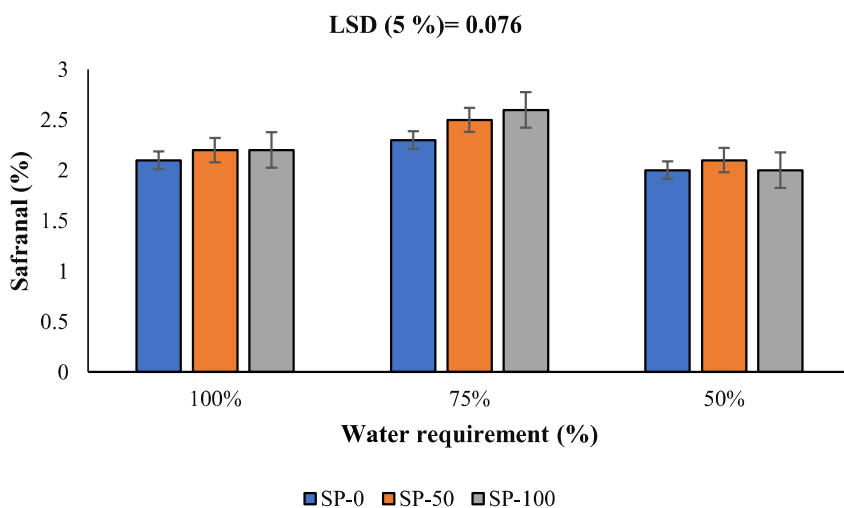
شکل ۲- برهمکنش سطوح آبیاری × سوپرجاذب بر میزان کروسین زعفران در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ (SP-0: شاهد بدون سوپرجاذب، SP-50: ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و SP-100: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب)
 Figure 2- Interaction effects of irrigation levels × superabsorbent polymer on crocin content of saffron during the 2022-2023 growing season.
 (SP-0: Control without superabsorbent polymer, SP-50: 50 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer, SP-100: 100 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer).



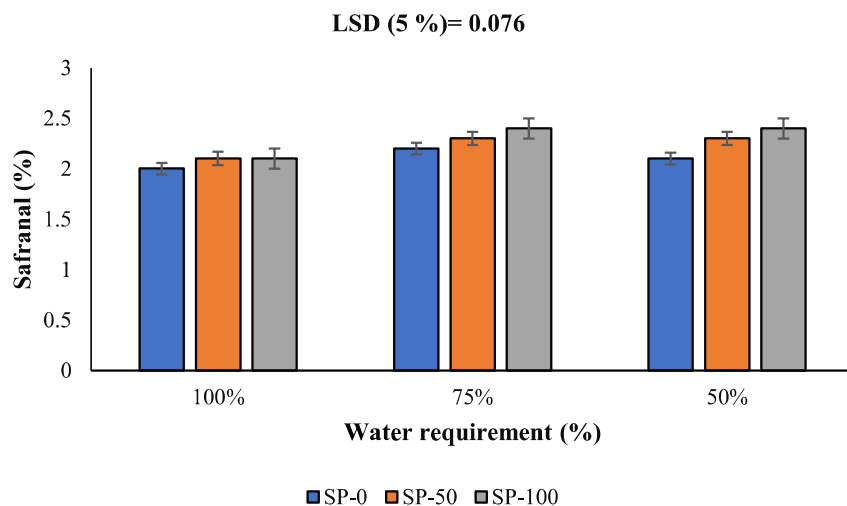
شکل ۳- برهمکنش سطوح آبیاری × سوپرجاذب بر میزان پیکروکروسین زعفران در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ (SP-0: شاهد بدون سوپرجاذب، SP-50: ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و SP-100: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب)
 Figure 3- Interaction effects of irrigation levels × superabsorbent polymer on Picrocrocin content of saffron during the 2021-2022 growing season.
 (SP-0: Control without superabsorbent polymer, SP-50: 50 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer, SP-100: 100 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer).



شکل ۴- برهمکنش سطوح آبیاری × سوپرجاذب بر میزان پیکروکروسین زعفران در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ (SP-0: شاهد بدون سوپرجاذب، SP-50: ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و SP-100: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب)
 Figure 4- Interaction effects of irrigation levels × superabsorbent polymer on Picrocrocin content of saffron during the 2022-2023 growing season.
 (SP-0: Control without superabsorbent polymer, SP-50: 50 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer, SP-100: 100 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer).



شکل ۵- برهمکنش سطوح آبیاری × سوپرجاذب بر میزان سافرانال زعفران در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ (SP-0: شاهد بدون سوپرجاذب، SP-50: ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و SP-100: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب)
 Figure 5- Interaction effects of irrigation levels × superabsorbent polymer on Safranal content of saffron during the 2021-2022 growing season.
 (SP-0: Control without superabsorbent polymer, SP-50: 50 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer, SP-100: 100 kg ha⁻¹ of superabsorbent polymer).



شکل ۶- برهمکنش سطوح آبیاری × سوپرجاذب بر میزان سافرانال زعفران در سال زراعی ۲۰۲۱-۱۴۰۱ (SP-0: شاهد بدون سوپرجاذب، SP-50: ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و SP-100: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب)
Figure 6- Interaction effects of irrigation levels × superabsorbent polymer on Safranal content of saffron during the 2022-2023 growing season.
 (SP-0: Control without superabsorbent polymer, SP-50: 50 kg.ha⁻¹ of superabsorbent polymer, SP-100: 100 kg.ha⁻¹ of superabsorbent polymer).

زعفران از آبیاری کامل همراه با کاربرد سوپرجاذب بدست آمد، بهترین نتیجه از نظر کیفیت زعفران از فاصله آبیاری ۷۵ درصد و کاربرد سوپرجاذب بدست آمد که به دلیل محدودیت منابع آبی در منطقه مورد مطالعه و اهمیت کارایی آب، به عنوان بهترین تیمار در تولید پایدار زعفران در مناطقی با شرایط مشابه با محل آزمایش توصیه می‌شود.

بهره‌وری آب زعفران افزایش قابل توجهی در رژیم‌های کم‌آبیاری نشان داد. شاخص‌های کیفیت کلاله، از جمله کروسین، پیکروکروسین و سافرانال، زمانی که گیاهان زعفران در شرایط کم‌آبیاری ۷۵ درصد قرار گرفتند، در مقایسه با آبیاری کامل، بهبود قابل توجهی را تجربه کردند. استفاده از سوپرجاذب بیشتر به بهبود قابل توجه شاخص‌های کیفیت زعفران در شرایط کمبود آب کمک کرد. در نتیجه، اگرچه بیشترین عملکرد کمی

منابع

- Ahmadian, A., Esmailian, Y., Tavassoli, A., Fernández-Gálvez, J., & Caballero-Calvo, A. (2024). Application of a superabsorbent hydrogel for improving water productivity and quality of saffron (*Crocus sativus* L.) under water deficit conditions. *Scientia Horticulturae*, 336, 113411. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113411>.
- Al-Shammery, A. A. G., Lahmod, N. R., Fernández-Gálvez, J., & Caballero-Calvo, A. (2023). Effect of tillage systems combined with plastic film mulches and fertilizers on soil physical properties in a wheat-agricultural site in southern Iraq. *Cuadernos de Investigacion Geografica*, 49(2), 1-13. <http://doi.org/10.18172/cig.5544>.
- Arabi, Z., Kaboosi, K., Rezvantalab, N., & Torke Lalebagh, J. (2016). Effects of irrigation and super-absorbent hydrogels on morphological characteristics, yield and essential oil of anise

- (*Pimpinella anisum* L.). *Crop Production*, 8 (4), 51–66. (In Persian with English Abstract). <http://doi.org/20.1001.1.2008739.1394.8.4.3.9>.
- Azizi Zohan, A. A., Kamgar Haghghi, A. A., & Sepaskhah, A. R. (2008). Crop and pan coefficient for saffron in a semiarid region of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72, 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.06.001>.
- Behdani, M. A., Koocheki, A., Nassiri, M., & Rezvani, P. (2008). Models to predict flowering time in the main saffron production region of Khorasan province. *Journal of Applied Sciences*, 8, 907–909. <https://doi.org/10.3923/jas.2008.907.909>.
- Besharati, J., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., Dehestani Ardakani, M., & Ghorbanpour, M. (2021). Changes in growth and quality performance of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in response to soil amendments with hydrogel and compost under drought stress. *South African Journal of Botany*, 145, 334–347. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.018>.
- Dastranj, M., & Sepaskhah, A. R. (2019). Saffron response to irrigation regime, salinity and planting method. *Scientia Horticulturae*, 251, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.027>.
- De Juan, J. A., Lopez Corcoles, H., Munoz, R. M., & Picornell, M. R. (2009). Yield and yield components of saffron under different cropping systems. *Industrial Crops & Products*, 30, 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.03.011>.
- Dehkordi, K. D. (2017). Effect of super-absorbent polymer on salt and drought resistance of Eucalyptus globulus. *Applied Ecology & Environmental Research*, 15 (4), 1791–1802. https://doi.org/10.15666/aeer/1504_17911802.
- El-Asmar, J., Jaafar, H., Bashour, I., Farran, M. T., & Saoud, I. P. (2017). Hydrogel banding improves plant growth, survival, and water use efficiency in two calcareous soils. *Clean - Soil, Air, Water*, 45 (7), 1700251. <https://doi.org/10.1002/clen.201700251>.
- Esmailian, Y., Amiri, M. B., Tavassoli, A., Caballero-Calvo, A., & Rodrigo-Comino, J. (2022). Replacing chemical fertilizers with organic and biological ones in transition to organic farming systems in saffron (*Crocus sativus*) cultivation. *Chemosphere*, 307, 135537. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135537>.
- Fallahi, H. R., Zamani, G., Mehrabani, M., Aghhavan-Shajari, M., & Samadzadeh, A. (2016). Influence of superabsorbent polymer rates on growth of saffron replacement corms. *Journal of Crop Science & Biotechnology*, 19 (1), 77–84. <https://doi.org/10.1007/s12892-015-0083-z>.
- FAO. (2016). Country Water Report. Retrieved from. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org>.
- Firmanda, A., Fahma, F., & Syamsu, K. (2023). Factors Influencing the Biodegradability of Agro-biopolymer Based Slow or Controlled Release Fertilizer. *Journal of Polymers & the Environment*, 31, 1706–1724. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02718-5>.
- Gorjian, S., & Ghobadian, B. (2015). Solar desalination: a sustainable solution to water crisis in Iran. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 48, 571–584.
- Han, Y., Yu, X., Yang, P., Li, B., & Wang, C. (2012). Dynamic on water diffusivity of soil with superabsorbent polymer application. *Environmental Earth Sciences*, 69, 289–296. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1956-9>.
- Islam, M. R., Hu, Y., Mao, S., Mao, J., Eneji, A. E., & Xue, X. (2011). Effectiveness of a watersaving super-absorbent polymer in soil water conservation for corn (*Zea mays* L.) based on eco-physiological parameters. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 91, 1998–2005. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4408>.

- Jalili, S., Hadi, M., & Majnooni Heris, A. (2017). Effect of superabsorbent polymer using on irrigated and rainfed wheat yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48 (4), 923-931. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.223031.654237>.
- Javadi, H., Moosavi, S. G. R., Seghatoleslami, M. J., & Kermani, F. (2021). Effect of organic and chemical improver's application on yield and essential oil percentage of dill (*Anethum graveolens* L.) under water deficit stress conditions. *Plant Products*, 44 (2), 283-294. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.30621.1806>.
- Jnanasha, A. C., Kumar, A., & Lal, R. K. (2021). Hydrogel application improved growth and yield in Senna (*Cassia angustifolia* Vahl.). *Industrials & Crops Production*, 174, 114175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114175>.
- Karimi, A., Noshadi, M., & Ahmadzadeh, M. (2009). Effects of super absorbent polymer (igeta) on crop, soil water and irrigation interval. *Science & Technology of Agriculture & Natural Resources*, 12, 415-420. <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1132-en.html>.
- Koocheki, A., Ebrahimian, E., & Seyyedi, S. M. (2016). How irrigation rounds and mother corm size control saffron yield, quality, daughter corms behavior and phosphorus uptake. *Scientia Horticulturae*, 213, 132-143. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.028>.
- Lopez-Marín, J., Galvez, A., Del Amor, F. M., Albacete, A., Fernandez, J. A., Egea Gilabert, C., & Perez-Alfocea, F. (2017). Selecting vegetative/generative/dwarfing rootstocks for improving fruit yield and quality in water stressed sweet peppers. *Scientia Horticulturae*, 214, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.012>.
- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies & Sciences*, 4, 315-328. <https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z>.
- Mirzaei, M., Anari, M. G., Cherubin, M. R., Saronjic, N., Mousavi, S. M. N., Rooien, A., & Caballero-Calvo, A. (2024). Crop residues stimulate yield-scaled greenhouse gas emissions in maize-wheat cropping rotation in a semi-arid climate. *Geography & Environment*, 16 (4), 125-132. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2023-2629>.
- Montesano, F. F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A., & Serio, F. (2015). Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture & Agricultural Science Procedia*, 4, 451-458. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>.
- Mortezavi, S. M., Tavakoli, A., Mohammadi, M. H., & Afsahi, K. (2015). Effect of superabsorbent on physiological traits and yield of wheat Azar2 cultivar under dry farming condition. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 104, 118-125. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2015.105731>.
- Nassaj-Bokharai, S., Motesharezadeh, B., Etesami, H., & Motamedi, E. (2021). Effect of hydrogel composite reinforced with natural char nanoparticles on improvement of soil biological properties and the growth of water deficit-stressed tomato plant. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 223, 112576. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112576>.
- Neethu, T. M., Dubey, P. K., & Kaswala, A. R. (2018). Prospects and applications of hydrogel technology in agriculture. *International Journal of Current Microbiology & Applied Sciences*, 7, 3155-3162. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.369>.
- Rodrigo-Comino, J., Caballero-Calvo, A., Salvati, L., & Senciales-Gonzalez, J. M. (2022). Sostenibilidad de los cultivos subtropicales: claves para el manejo del suelo, el uso agrícola y la Ordenacion del Territorio. *Cuadernos*

- Geograficos*, 61 (1), 150–167. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i1.22284>.
- Roy, T., Kumar, S., Chand, L., Kadam, D. M., Bihari, B., Shrimali, S. S., & Singh, L. (2019). Impact of Pusa hydrogel application on yield and productivity of rainfed wheat in North West Himalayan region. *Current Science*, 116, 1246–1251. <https://doi.org/10.18520/cs/v116/i7/1246-1251>.
- Satriani, A., Catalano, M., and Scalcione, E. 2018. The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: a case-study in Southern Italy. *Agricultural Water Management*, 195, 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.008>.
- Wang, W., Zhao, X., Li, H., & Zhang, Q. (2021). Will social capital affect farmers' choices of climate change adaptation strategies? Evidences from rural households in the Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Journal of Rural Studies*, 83, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.02.006>.
- Yu, J., Shi, J. G., Ma, X., Dang, P. F., Yan, Y. L., Mamedov, A. I., Shainberg, I., & Levy, G. J. (2017). Superabsorbent polymer properties and concentration effects on water retention under drying conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 81, 889–901. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.07.0231>.
- Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Pei, D., & Wang, Y. (2008). Dry matter, harvest index, grain yield and water use efficiency as affected by water supply in winter wheat. *Irrigation Science*, 27, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0131-2>.
- Jalili, S., Hadi, M., & Majnooni Heris, A. (2018). Effect of superabsorbent polymer on yield and yield components of irrigated and rainfed wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48 (4), 923-931. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.223031.654>