"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و ششم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

اثر مصرف سوپرجاذب بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد کلاله زعفران (*Crocus sativus* L.) در شرایط کم‌آبیاری

Effect of superabsorbent application on physiological traits and stigma yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in deficit irrigation conditions

محمد عظیمی گندمانی[1] و مصطفی علی‌نقی‌زاده[2]

چکیده

عظیمی گندمانی، م. و م. علی‌نقی‌زاده. ۱۴۰۳. اثر مصرف سوپرجاذب بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد کلاله زعفران (*Crocus sativus* L.) در شرایط کم‌آبیاری. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۶ (۳): ۳۳۲ -۳۱۶.**

استفاده از مواد جاذب رطوبت یکی از شیوه‌های ی مقابله با کمبود آب و حفظ منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود. آزمایش حاضر با هدف ارزیابی اثر مصرف مواد جاذب رطوبت در شرایط کم‌آبیاری بر صفات گیاهی و عملکرد کلاله زعفران به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سه سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در اراضی کشاورزی منطقه زیار از توابع شهرستان اصفهان انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کم‌آبیاری در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی (به‌ترتیب تنش شدید، تنش متوسط و بدون تنش) به‌عنوان کرت اصلی و مقادیر سوپرجاذب استاکوزورب صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. صفات گیاهی شامل: محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد گل و کلاله زعفران در سال دوم و سوم اندازه گیری شدند. نتایج آزمایش نشان داد که در هر دو سال آزمایش با افزایش مقدار آب آبیاری از ۵۰ درصد به ۱۰۰ درصد نیاز آبی، محتوای کلروفیل کل افزایش یافت. در هر دو سال آزمایش، در هر سه سطح آبیاری، افزایش مقدار مصرف سوپرجاذب نیز باعث افزایش محتوای کلروفیل کل شد (۱۰/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر). بیشترین مقدار عملکرد گل تر در هر دو سال آزمایش (۱۵۵/۹ گرم در مترمربع در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۹۲/۷ گرم در مترمربع در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی) همراه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بدست آمدند. بیشترین مقدار عملکرد کلاله خشک در هر دو سال آزمایش (۱/۱۸ گرم در مترمربع در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱/۷۸ گرم در مترمربع در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی همراه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بدست آمدند. در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی همراه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب عملکرد کلاله خشک ۰/۹۴ گرم در مترمربع و در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱، ۱/۱۸ گرم در مترمربع بود که نشان دهنده اثر مثبت مصرف سوپرجاذب در رفع اثر منفی کاهش مقدار آب آبیاری است. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف سوپرجاذب باعث کاهش اثر منفی کمبود آب در زراعت زعفران می‌شود و می‌توان این روش را به‌عنوان یک راهکار امیدوارکننده برای مدیریت بهینه منابع آب در زراعت زعفران در مناطق خشک در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، زعفران، رنگدانه‌های فتوسنتزی، عملکرد کلاله و عملکرد گل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۳ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۶۱۹۱/۱۰/۱۱/د/۴۰۱ مصوب دانشگاه پیام نور می باشد

۱- استادیار گروه کشاورزی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (مکاتبه کننده، Mohammad.azimi@pnu.ac.ir ✉)

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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

Effect of superabsorbent application on physiological traits and stigma yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in deficit irrigation conditions

Azimi Gandomani, M.[1] and Alinaghizadeh, M.[2]

ABSTRACT

Azimi Gandomani, M. and Alinaghizadeh, M. 2025. Effect of superabsorbent application on physiological traits and stigma yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in deficit irrigation conditions. **Iranian Journal of Crop Sciences. 26(1): 316-332. (In Persian).**

Introduction: Saffron, an important crop in Iran's arid and semi-arid regions, plays a significant role in the livelihoods of farmers, and increasing the non-oil exports' incomes of the country (Ahmadian *et al.*, 2024). However, the limitation of water resources has imposed some challenges on expanding the cultivation and production of this valuable crop. Limited studies have explored the interactive effects of moisture-absorbing materials, soil conditioners, and irrigation regimes on saffron, particularly on product quality. This experiment aims to address two main objectives: (1) to assess the impact of water deficit on photosynthetic pigments, antioxidant enzymes, and saffron yield, and (2) to evaluate the effect of superabsorbents on photosynthetic pigments, antioxidant enzymes, and yield under various irrigation regimes in deficit irrigation conditions.

Materials and Methods: This field experiment was conducted over three growing sesaons (2020-21, 2021-22, and 2022-23) in the Ziayar region, in Isfahan Province, Iran. The experimental design was split-plot arrangements in randomized complete block design with three replications. Irrigation levels (50%, 75%, and 100% of the water requirements, which was severe, mild and non-stress, respectively) were assigned to the main plots, and the superabsorbent, Stockosorb, applied at three rates (0, 50, and 100 $kg.ha^{-1}$), was randomized to sub-plots. Saffron's water requirement, estimated using the Cropwat software, was 3280 cubic meters per hectare, calculated based on long-term meteorological data from 1994 to 2018. Irrigation was carried out using a counter-meter system and applied to furrows. In the first growing season, the first irrigation was done immediately after planting, with four irrigations per growing season (pre-flowering, post-flowering; mid-March, and late April). Irrigation rate for the 50%, 75%, and 100% levels were 1720, 2580, and 3440 m^3, respectively. Measurements of photosynthetic pigments, antioxidant enzymes, proline content, and membrane stability were taken during the growing season from the young developed leaves in December at the saffron vegetative growth stage.

Results: Water deficit reduced $chlorophyll_a$, $chlorophyll_b$, carotenoids, and total pigments over the two years of the experiment (2021-22 and 2022-23). In contrast, the application of superabsorbents significantly mitigated the adverse effects of water stress in both years. Results showed that under all irrigation levels, the highest amounts of $chlorophyll_a$, $chlorophyll_b$, carotenoids, total pigments, antioxidant enzymes, and membrane stability were obtained in the 100% irrigation levle and application of 100 $kg.ha^{-1}$ of superabsorbent. Additionally, as water deficit intensified, proline content also increased, while the superabsorbent application reduced leaf proline content under all irrigation regimes. The results demonstrated that the highest $chlorophyll_a$ levels (5.60 and 5.30 $mg.g^{-1}$ fresh weight in 2021-22 and 2022-23, respectively), $chlorophyll_b$ (1.40 and 1.37 $mg.g^{-1}$ fresh weight), carotenoids (3.10 and 3.40 $mg.g^{-1}$ fresh weight), catalase enzyme activity (3.81 and 3.69 $\mu mol.min^{-1}.mg^{-1}$ protein), superoxide dismutase (27.6 and 26.1 $\mu mol.min^{-1}.mg^{-1}$ protein), peroxidase (29.2 and 27.4 $\mu mol.min^{-1}.mg^{-1}$ protein), fresh flower yield (155.9 and 191.7 $g.m^{-2}$), and dry stigma yield (1.18 and 1.78 $g.m^{-2}$) were measured and recorded in 100% irrigation level and application of 100 $kg.ha^{-1}$ superabsorbent.

Conclusion: The results of this experiment indicated the positive effect of irrigation and superabsorbent application levels on the physiological traits, antioxidant enzymes, and economic yield of saffron. Physiological parameters such as chlorophyll, carotenoids, membrane stability, and proline were also improved. Irrigation and superabsorbent application levels enhanced antioxidant enzyme activities (catalase, superoxide dismutase, and peroxidase). These improvements were particularly remarkable in full irrigation (100% of water requirement). However, even under water deficit conditions (50% and 75% of water requirement), superabsorbents reduced the negative effects of water deficit stress and improved saffron leaf physiological responses. The results also showed that in water deficit conditions, the application of superabsorbents reduced the negative effects of water deficit stress and contributed to enhancing saffron yield. These results suggest that superabsorbents can be a beneficial soil amendment under drought stress conditions, improving saffron growth and yield.

Key words: Antioxidant enzymes, Flower yield, Photosynthetic pigments, Saffron and Stigma yield

Received: October, 2024 **Accepted**: **January, 2025**

1. Assistant Prof., Agriculture Department, Faculty of Technical and Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran (Corresponding author, ✉ Mohammad.azimi@pnu.ac.ir)

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

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

مقدمه

تغییرات آب و هوایی به‌عنوان یکی از چالش‌های بزرگ جهانی در قرن بیست و یکم شناخته می‌شود که تأثیرات عمیق و غیرقابل برگشتی بر پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی و طبیعی دارد (Yang *et al.*, 2021). آثار این تغییرات به‌ویژه در حوزه کشاورزی بسیار گسترده بوده و مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک بیشتر از سایر نقاط جهان از پیامدهای آن آسیب می‌بینند. کمبود شدید آب، جوامع انسانی را نیز به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. رشد جمعیت و افزایش نیاز به آب از جمله موانع کلیدی در مسیر توسعه پایدار به شمار می‌آید (Gorjian and Ghobadian, 2015). در مقیاس جهانی، حدود ۷۰ درصد از منابع آب به بخش کشاورزی اختصاص داده می‌شود و این میزان در ایران به بیش از ۹۰ درصد می‌رسد. بر اساس اطلاعات موجود، میانگین کارایی روش‌های آبیاری در ایران حدود ۵۶ درصد است که در مقایسه با کشورهای توسعه یافته که کارایی آبیاری آن‌ها ۷۰ تا ۹۰ درصد می‌باشد، کمتر است. این تفاوت نشان‌دهنده نیاز به بهینه‌سازی شیوه‌های آبیاری در ایران برای افزایش بهره‌وری مصرف آب است (Ahmadian *et al.*, 2024). بر این اساس استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری برای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری، برای امنیت آبی این مناطق حیاتی به شمار می‌رود.

زراعت زعفران (*Crocus sativus* L.) به‌عنوان یکی از گیاهان مهم کشاورزی در ایران، به‌ویژه در مناطق شرقی و شمال شرقی، سابقه طولانی داشته و معیشت بسیاری از خانوارهای این مناطق با تولید زعفران گره خورده است. ایران از نظر سطح زیر کشت و تولید سالانه زعفران رتبه اول جهان را دارد، اما میانگین عملکرد زعفران در مقایسه با سایر کشورهای تولیدکننده پایین‌تر است. زعفران به‌عنوان یک گیاه متحمل به خشکی، به‌طور معمول در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود، اما افزایش دما و کاهش بارش‌ها در اثر تغییرات اقلیمی می‌تواند باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول آن شود. افزایش دما به‌ویژه در دوره رشد گیاه، باعث کاهش میزان گلدهی و کوچک‌تر شدن کلاله‌های زعفران می‌شود. کاهش میزان بارش‌ها و خشکسالی‌های مداوم باعث کاهش رطوبت خاک می‌شود که این موضوع بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه اثر منفی گذاشته و به کاهش مقاومت گیاه نسبت به بیماری‌ها و آفات می‌شود. خشکسالی باعث تغییر در زمان گلدهی زعفران و تغییر در الگوهای برداشت محصول می‌شود. بنابراین، برای مقابله با اثرات منفی تغییرات اقلیمی، استفاده از روش‌های بهینه آبیاری و انتخاب ارقام متحمل به خشکی اهمیت ویژه‌ای دارد (Ahmadian *et al.*, 2024).

در سال‌های اخیر، تلاش‌های گسترده‌ای برای افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی به کار گرفته شده است. در این راستا، رویکردهای کم‌آبیاری و مدیریت دفعات آبیاری مورد توجه قرار گرفته است. به‌علاوه جلوگیری از هدررفت آب با استفاده از ترکیبات جاذب آب به‌عنوان یک راهکار کلیدی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از مواد سوپرجاذب یک روش مفید برای مقابله با تنش خشکی و کاهش اثرات مضر آن در گیاهان زراعی است (Smagin *et al.*, 2014). سوپرجاذب‌ها به‌عنوان مواد نگهدارنده قادر هستند مقدار زیادی آب و عناصر غذایی را ذخیره کرده و در شرایط نیاز گیاهان آنها را به‌تدریج آزاد کنند. استفاده از سوپرجاذب‌ها باعث حفظ آب و عناصر غذایی خاک شده و دسترسی آسان گیاهان به آنها را امکان پذیر می‌کند. این مواد باعث کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش تولید زیست توده گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود. نتایج یک آزمایش نشان داد که مصرف مواد سوپرجاذب باعث افزایش قابل توجه رشد گیاه، محتوای کلروفیل، راندمان فتوسنتز و محتوای آب نسبی آب بوته‌های گوجه‌فرنگی در شرایط تنش

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

خشکی شده و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز افزایش یافتند (Li *et al.*, 2018). نتایج آزمایش خرم‌دل و همکاران (Khorramdel *et al.*, 2013) روی گیاه زعفران نشان داد که مصرف پلیمر سوپرجاذب باعث افزایش وزن خشک کلاله شد. صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2018) گزارش کردند که مصرف سوپرجاذب با اصلاح خاک، باعث بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی و صفات عملکردی زعفران در شرایط تنش خشکی شد. حیدری و همکاران (Heidari *et al.*, 2018) گزارش دادند که استفاده از سوپرجاذب‌ها همراه با کود زیستی نیتروکسین باعث بهبود قابل توجه ویژگی‌های عملکردی گیاه زعفران در شرایط تنش خشکی شد. خوش‌پیک و همکاران (Khoshpeyk *et al.*, 2022) گزارش دادند که مصرف سوپرجاذب‌ها همراه با نانوسیلیکون‌ها باعث بهبود قابل توجه ویژگی‌های کمی و کیفی زعفران شد.

این آزمایش با هدف ۱- بررسی اثر کم‌آبیاری بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد کلاله زعفران و ۲- ارزیابی اثر مصرف سوپر جاذب‌ها بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد کلاله زعفران در تیمارهای آبیاری در یک اقلیم خشک اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر طی سه سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در اراضی کشاورزی شهر زیار از توابع شهرستان اصفهان، با مختصات طول و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و ۵۱ درجه شرقی و ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریا اجرا شد. ویژگی‌های آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و عناصر معدنی خاک تعیین شدند (جدول ۲). زمین محل اجرای آزمایش در فصل قبل زیر کشت گندم بود و سابقه زراعت زعفران نداشت. با توجه به پایین بودن ماده آلی خاک و همچنین اهمیت استفاده از کود دامی، کود دامی پوسیده به مقدار ۲۰ تن در هکتار به خاک داده شد. بر اساس نیاز کودی زعفران و نتایج تجزیه خاک، مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاس از منبع سولفات پتاسیم قبل از کاشت به خاک افزوده و مخلوط شدند. با توجه به عدم تعریف کود نیتروژن در زراعت زعفران (Ahmadian *et al.*, 2024)، از مصرف کود نیتروژن خودداری شد. آزمایش در هر سه سال در همان قطعه زمین اجرا شده و محل کرت‌های آزمایشی در هر سه سال ثابت بود و کودهای شیمیایی نیز در هر سال به خاک اضافه شدند. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کم‌آبیاری در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی (به‌ترتیب تنش شدید، تنش متوسط و بدون تنش) به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر سوپرجاذب استاکوزورب (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند (Jalili *et al.*, 2018). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سوپرجاذب استاکوزورب که از شرکت دیم گستران سبز آتیه نمایندگی شرکت استاکوزرب در ایران تهیه شد، در جدول ۳ ارائه شده است. ترکیب اصلی پلیمرهای سوپرجاذب، پلی‌اکریلات سدیم (Sodium Polyacrylate) هستند. در آزمایش حاضر پلیمر سوپرجاذب یک بار در زمان کاشت در اطراف بنه‌ها و ناحیه توسعه ریشه در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر به خاک افزوده شد (Ahmadian *et al.*, 2024).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱)

Table 1. Meteorological information of the experiment site (2020-2021, 2021-2022, and 2022-2023)

		Min. temperature (°C) دمای حداقل			Max. temperature (°C) دمای حداکثر			Rainfall (mm) بارندگی		
		۱۳۹۹-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۱۴۰۱-۱۴۰۲	۱۳۹۹-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۱۴۰۱-۱۴۰۲	۱۳۹۹-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۴۰۱	۱۴۰۱-۱۴۰۲
Month	ماه	2020-21	2021-22	2022-23	2020-21	2021-22	2022-23	2020-21	2021-22	2022-23
Sep. 23 – Oct. 22	مهر	9.2	10.1	9.6	19.3	20	18.5	0.2	0.5	0
Oct. 23 – Nov. 21	آبان	3.4	5.2	4.8	15.6	16.8	17.2	3.2	4	3.8
Nov. 22 – Dec. 21	آذر	0.1	1.0	1.2	12.2	13.5	14.2	10.3	12.1	14.7
Dec. 22 – Jan. 20	دی	-1.5	-2.0	-0.72	8.2	9	9.5	5.23	6.5	10.2
Jan. 21 – Feb. 19	بهمن	0.68	0.5	.72	7.9	8.5	9.2	14.5	15.2	10.8
Feb. 20 – Mar. 20	اسفند	2.3	3.0	3.2	13.8	14.2	14.7	28.2	27.5	24.5
Mar. 21 – Apr. 20	فروردین	9.82	10.5	10.7	23.8	24.5	25.7	6.63	7	9.22
Apr. 21 - May 21	اردیبهشت	14.9	15.3	15.5	29.1	29.8	29.6	17.2	16.5	11.4
May 22 – Jun. 21	خرداد	21.1	21.5	21.8	37.1	36.9	37.2	0.2	0.3	1.1
Jun. 22 – Jul. 22	تیر	22.4	22.7	23.1	37.4	37	37.5	1.5	0.8	2.1
Jul. 23 – Aug. 22	مرداد	21.7	21.9	22.3	36.2	35.8	34.9	0	0	0
Aug. 23 – Sept. 22	شهریور	14.3	14.5	14.8	25.6	25.2	24.8	0	0	0

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties of the soil at the experiment site

Year	سال	بافت Texture	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Available K ($mg.kg^{-1}$)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)
2021-22	۱۴۰۰-۱۴۰۱	Silty loam لوم سیلتی	0.065	13.2	186	7.66	1.79	0.616
2022-23	۱۴۰۱-۱۴۰۲	Silty loam لوم سیلتی	0.071	18.4	242	7.71	1.83	0.721

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سوپرجاذب استاکوزورب

Table 3. Physical and chemical properties of Stockosorb superabsorbent

Solubility	حلالیت	Insoluble in water and organic solvents	نامحلول در آب و حلال‌های آلی
pH	اسیدیته	7 - 8	۷ تا ۸
Water absorption capacity	قابلیت جذب آب	Min. 150 and Max. 400 $ml.g^{-1}$	حداقل ۱۵۰ و حداکثر ۴۰۰ میلی‌لیتر در گرم
The size of particles	اندازه ذرات	0.2 - 0.8 mm	۰/۲ تا ۰/۸ میلی‌متر
Effective life span in the soil	طول عمر موثر در خاک	7-15 years	۷ تا ۱۵ سال
Available water content	مقدار آب قابل استفاده	>95%	بیش از ۹۵ درصد
Toxicology and ecology	سم‌شناسی و اکولوژی	Nontoxic	غیر سمی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

عملیات تهیه زمین در شهریور ماه ۱۳۹۹ انجام شد. برای مصرف سوپرجاذب، شیارهایی به عمق تقریبی ۱۰ سانتی‌متر در امتداد عرض کرت‌ها ایجاد و سوپرجاذب درون شیارها ریخته شده و روی آنها خاک ریخته شد. بنه‌های زعفران مورد استفاده در این آزمایش توده تربت حیدریه بودند. بنه‌های زعفران در دوم شهریور ماه ۱۳۹۹ در کرت‌هایی به طول سه متر و عرض یک متر، شامل ۱۵ ردیف با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر کاشته شدند. بین هر کرت ۵۰ سانتی‌متر و بین هر تکرار یک متر فاصله در نظر گرفته شد. وزن بنه‌های مورد استفاده ۱۰ تا ۱۵ گرم بود که پس از حذف فلس‌های خارجی با دست در عمق ۱۵ سانتی‌متری کاشته شدند. نیاز آبی زعفران بر اساس اطلاعات هواشناسی بلندمدت (۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸) با استفاده از نرم‌افزار Cropwat ۳۲۸۰، مترمکعب در هکتار برآورد شد. آبیاری با استفاده از کنتور و به صورت شیاری انجام شد. در سال اول، نخستین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت بنه‌ها انجام شد. در هر سال چهار نوبت آبیاری (قبل از گلدهی، بعد از گلدهی، اواسط اسفند و اواخر فروردین) انجام شد. مقدار آب آبیاری در تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۱۷۲۰، ۲۵۸۰ و ۳۴۴۰ مترمکعب بود. در هر سه سال آزمایش کنترل علف‌های هرز با وجین دستی در دو نوبت (بهمن و فروردین) انجام شد.

با توجه به اثر ویژگی‌های بنه به‌ویژه ذخایر غذایی آن بر رشد و عملکرد زعفران، برای اندازه‌گیری صفات از داده‌های سال دوم و سوم استفاده شد. گل‌های زعفران در ماه آبان به‌صورت روزانه از مساحت ۰/۲ مترمربع از هر کرت برداشت شده و وزن آنها بلافاصله با استفاده از ترازوی دیجیتالی دقیق اندازه‌گیری شدند. پس از آن کلاله‌های زعفران جدا شده و به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق خشکانده شدند. برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین و پایداری غشای سلولی در مرحله رشد رویشی گیاه، در دی ماه از آخرین برگ‌های جوان توسعه یافته نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری در ساعات اولیه صبح انجام گرفت. محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها با استفاده از روش آرنون اندازه‌گیری شدند (Arnon, 1967). اندازه‌گیری آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز با استفاده از روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1981) انجام شد. اندازه‌گیری پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973) و اندازه‌گیری پایداری غشای سلول با استفاده از روش سایرام و سریوستاوا (Sairam and Srivastava, 2001) انجام شدند.

بر اساس نتایج آزمون بارتلت و ناهمگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی، داده‌های هر سال به‌صورت جداگانه تجزیه شدند. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و MS-Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و برهمکنش آبیاری و سوپرجاذب در هر دو سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱ بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاهش مقدار آب آبیاری، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها و کلروفیل کل در هر دو سال آزمایش کاهش یافتند (جدول‌های ۴ و ۵). مصرف سوپر جاذب اثر کمبود آب را در هر دو سال آزمایش به طور معنی‌داری کاهش داد. نتایج نشان داد که در هر سه سطح آبیاری، بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها و کلروفیل کل به‌ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بود. تفاوت میزان کلروفیل a در سه سطح تیمار آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

درصد به‌ترتیب ۴۲، ۵۳ و ۵۱ درصد در سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۴۶، ۵۰ و ۳۶ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود. تفاوت بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b به‌ترتیب ۲۵۵، ۱۳۳ و ۸۷ درصد در سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۲۶۲، ۱۵۴ و ۵۹ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود. این تفاوت برای محتوای کاروتنوئیدها در سال اول به‌ترتیب ۵۸، ۹۴ و ۱۰۷ درصد و در سال دوم به‌ترتیب ۳۱، ۶۱ و ۱۰۰ درصد بود. بیشترین و کمترین میزان کلروفیل کل به‌ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بود. تفاوت بیشترین و کمترین میزان کلروفیل کل در سه سطح تیمار آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۵۶، ۷۵ و ۷۰ درصد در سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۴۴، ۶۳ و ۵۶ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود. در هر سه سطح تیمار آبیاری، با مصرف سوپرجاذب بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی افزوده شد، اما در تیمار آبیاری ۵۰ درصد، کلروفیل b، در تیمار ۷۵ درصد کلروفیل a و تیمار ۱۰۰ درصد برای کاروتنوئیدها اثر مثبت سوپرجاذب بیشتر بود. در هر دو سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۲ با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد، نسبت کلروفیل a/b افزایش یافت. در هر سه سطح تنش خشکی، با افزایش مقادیر سوپر جاذب از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، از نسبت کلروفیل a/b کاسته شد (جدول‌های ۴ و ۵).

فخری و همکاران (Fakhri *et al.*, 2024) گزارش کردند که در گیاه آویشن معمولی (*Thymus vulgaris* L.)، بیشترین میزان کلروفیل a در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد و کمترین میزان کلروفیل a و b به تیمار آبیاری یک در میان جویچه‌ای ثابت اختصاص داشت. آن‌ها اظهار داشتند که بیشترین میزان کلروفیل a از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به دست آمد و کمترین میزان کلروفیل a و b مربوط به تیمار بدون مصرف سوپرجاذب بود. گزارش شده است که گیاهانی که نسبت به خشکی حساس‌تر هستند، ساختارهای کلروفیل-پروتئین و لیپید ناپایدارتری دارند. تنش خشکی باعث کاهش تشکیل پلاستیدهای جدید و کاهش تولید کلروفیل a و b شده و نسبت کلروفیل a به b را تغییر می‌دهد (Yang *et al.*, 2021). کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی احتمالاً به دلیل افزایش تخریب این رنگیزه‌ها، کاهش سنتز آن‌ها یا اختلال در عملکرد آنزیم‌های مرتبط با سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی است (Zia *et al.*, 2021). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که محتوای کلروفیل برگ زعفران در واکنش به افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد و کمترین میزان کلروفیل مربوط به تیمار آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود. این کاهش احتمالاً ناشی از اختلال در جذب عناصر غذایی مورد نیاز برای سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی است. یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2021) نیز گزارش کردند که برگ‌های زعفران با شاخص کلروفیل بالاتر، پایداری بیشتری دارند و مدت زمان بیشتری از تابش برای فتوسنتز بهره‌مند می‌شوند. گزارش شده است که تنش کم‌آبی کلیه صفات گیاهی از جمله محتوای کلروفیل را کاهش می‌دهد، اما استفاده از سوپرجاذب‌ها باعث بهبود این صفات می‌شود (Yang *et al.*, 2023). نتایج آزمایش رازبان و پیرزاد (Razban and Pirzad, 2012) روی بابونه آلمانی نشان داد که محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی شدید، کاهش قابل توجهی نسبت به تیمار آبیاری کامل داشت. با ادامه تنش شدید خشکی، مقادیر کلروفیل a، b و کل به حداقل رسید و بیشترین مقدار کلروفیل با استفاده از بیشترین میزان سوپرجاذب حاصل شد. نتایج آزمایش دیگری نشان داد که در زعفران با مصرف پلیمر سوپرجاذب با نسبت حجمی ۱۰:۹۰ در شرایط تنش شوری، محتوای کلروفیل a و کلروفیل b افزایش یافتند (Khoshpeyk *et al.*, 2022).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و برهمکنش آبیاری و سوپرجاذب در هر دو سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱ بر فعالیت آنزیم‌های

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

جدول ۴- مقایسه میانگین محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی زعفران در تیمارهای آبیاری و مصرف سوپرجاذب (۱۴۰۱-۱۴۰۰)

Table 4. Mean comparison of photosynthetic pigments content of saffron in irrigation and superabsorbent application treatments (2021-2022)

Treatments تیمارهای آزمایشی						
آبیاری Irrigation	سوپر جاذب Superabsorbent ($kg.ha^{-1}$)	کلروفیل a Chl_a ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل b Chl_b ($mg.g^{-1}$ FW)	کاروتنوئیدها Carotenoids ($mg.g^{-1}$ FW)	نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll a/b ratio	کلروفیل کل Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	0	3.70	0.75	1.50	4.93	5.95
	50	4.90	1.00	2.40	4.89	8.30
	100	5.60	1.40	3.10	4.00	10.1
۷۵ درصد نیاز آبی 75% water requirement	0	3.20	0.60	1.70	5.33	5.50
	50	4.70	0.85	2.20	5.52	7.75
	100	4.90	1.40	3.30	3.50	9.60
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	0	2.40	0.31	1.20	7.73	3.91
	50	3.10	0.50	1.60	6.80	5.50
	100	3.40	1.10	1.90	2.82	6.10
$LSD_{5\%}$		0.58	0.09	0.30	0.37	0.38

جدول ۵- مقایسه میانگین محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی زعفران در تیمارهای آبیاری و مصرف سوپرجاذب (۱۴۰۲-۱۴۰۱)

Table 5. Mean comparison of photosynthetic pigments content of saffron in irrigation and superabsorbent application treatments (2022-2023)

Treatments تیمارهای آزمایشی						
آبیاری Irrigation	سوپر جاذب Superabsorbent ($kg.ha^{-1}$)	کلروفیل a Chl_a ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل b Chl_b ($mg.g^{-1}$ FW)	کاروتنوئیدها Carotenoids ($mg.g^{-1}$ FW)	نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll a/b ratio	کلروفیل کل Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	0	3.90	0.860	1.70	4.55	6.46
	50	4.60	1.06	2.20	4.35	7.86
	100	5.30	1.37	3.40	3.87	10.1
۷۵ درصد نیاز آبی 75% water requirement	0	3.40	0.52	1.80	6.58	5.72
	50	4.30	0.91	2.00	4.74	7.21
	100	5.10	1.32	2.90	3.86	9.32
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	0	2.20	0.29	1.30	7.75	3.79
	50	2.70	0.54	1.50	5.98	5.24
	100	3.20	1.05	1.70	2.57	5.45
$LSD_{5\%}$		0.59	0.11	0.57	1.64	0.14

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

آنتی‌اکسیدانی برگ معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاهش مقدار آب آبیاری، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز در هر دو سال آزمایش کاهش یافتند. مصرف سوپر جاذب باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش اثر منفی کمبود آب در هر دو سال آزمایش شد. نتایج نشان داد که در هر سه سطح آبیاری، بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بود. تفاوت بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در سه سطح تیمار آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۲۴۷، ۷۳ و ۶۰ درصد در سال ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۷۶، ۳۶ و ۵۹ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود. تفاوت بین بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب ۹۱، ۲۴۷ و ۱۳۲ درصد در سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۲۶، ۱۶۸ و ۱۱۱ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود. تفاوت بین بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در سه سطح تیمار آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۱۳۲، ۱۳۰ و ۸۴ درصد در سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۴۳، ۸۱ و ۹۳ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود. بدین ترتیب می‌توان بیان داشت که در هر سه سطح تیمار آبیاری، با مصرف سوپرجاذب بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزوده شد، ولی در تیمار آبیاری ۵۰ درصد، فعالیت آنزیم کاتالاز و در تیمار آبیاری ۷۵ درصد، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز اثر مثبت مصرف سوپرجاذب بیشتر بود (جدول‌های ۶ و ۷).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده رشد گیاهان است که باعث ایجاد اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز نقش مهمی در حفاظت از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو دارند. در شرایط تنش خشکی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) افزایش یافته و باعث آسیب به ساختارهای سلولی، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Juan *et al.*, 2021). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز، که به‌ترتیب پراکسید هیدروژن و رادیکال سوپراکسید را تجزیه می‌کنند، سازوکار دفاعی مهمی برای گیاهان در شرایط تنش خشکی محسوب می‌شود. پراکسیدازها نیز از جمله آنزیم‌های کلیدی در خنثی کردن پراکسیدهای تولید شده در گیاه هستند که به حفظ پایداری سلولی کمک می‌کنند (Jomova *et al.*, 2024). با این حال، اگر تولید گونه‌های فعال اکسیژن بیش از حد و بالاتر از ظرفیت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه شود، گیاه با تنش اکسیداتیو مواجه می‌شود که باعث کاهش کارایی سیستم آنتی‌اکسیدانی می‌شود. در چنین شرایطی، تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن باعث آسیب به خود آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز می‌شود، زیرا پروتئین‌ها و ساختارهای سلولی آنزیم‌ها نیز تحت تأثیر اکسیداسیون قرار می‌گیرند. این موضوع می‌تواند باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شود. در نتیجه، تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن باعث کاهش ظرفیت دفاعی گیاه و در نتیجه آسیب بیشتر به سلول‌ها می‌شود (Zia-ur-Rehman *et al.*, 2023). گزارش شده است که در گیاه گندم در شرایط تنش شدید خشکی، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در مراحل پیشرفته خشکی کاهش یافتند. در چنین شرایطی، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن نه تنها باعث تخریب مستقیم ساختارهای سلولی می‌شود، بلکه باعث مهار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز می‌شود. این کاهش فعالیت می‌تواند به دلیل اکسیداسیون پروتئین‌های آنزیمی یا کاهش توانایی گیاه

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

در سنتز این آنزیم‌ها در شرایط تنش شدید باشد (Jomova *et al.*, 2024). گزارش شده است که در گیاه کینوا با فزایش شدت تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز کاهش یافتند (Alinaghizadeh and Azimi Gandomani, 2025). در گیاه مریم گلی نیز با افزایش شدت تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش یافته و پس از آن در تیمار تنش شدید خشکی کاهش یافت (Ghias *et al.*, 2022). سوپرجاذب‌ها در شرایط تنش خشکی بر کارکردهای گیاهان اثر مثبتی داشته و باعث کاهش اثر منفی تنش اکسیداتیو ناشی از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند. این مواد با توانایی جذب و نگهداری آب در خاک به مدت طولانی، باعث افزایش فراهمی رطوبت برای ریشه‌های گیاه شده و کاهش اثر منفی تنش خشکی می‌شوند. در نتیجه با دسترسی بهتر گیاه به آب، سامانه‌های دفاعی گیاه بهبود یافته و شدت تنش کاهش می‌یابد (Sepehri *et al.*, 2023). سوپرجاذب‌ها به تنظیم بهتر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز کمک می‌کنند. در شرایط تنش خشکی، فعالیت این آنزیم‌ها در ابتدا برای خنثی کردن اثر منفی گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد، اما با شدت گرفتن تنش و تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن، کارایی این آنزیم‌ها کاهش می‌یابد. سوپرجاذب‌ها با کاهش اثر منفی تنش خشکی و متعادل کردن میزان رطوبت، باعث می‌شوند که گونه‌های فعال اکسیژن بطور موثرتری خنثی شده و از کاهش فعالیت این آنزیم‌ها جلوگیری شود (Malik *et al.*, 2023).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب و برهمکنش آنها در هر دو سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱ بر محتوای پرولین معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر دو سال آزمایش با کاهش مقدار آب آبیاری (افزایش شدت تنش، محتوای پرولین برگ افزایش یافت. در هر سه سطح آبیاری، با افزایش مقادیر سوپرجاذب از میزان پرولین برگ کاسته شد. تفاوت بین بیشترین و کمترین میزان پرولین در سه سطح تیمار آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۵۵، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد در سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۶۷، ۱۷۵ و ۶۰ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود. نتایج نشان داد که در هر سه سطح تیمار آبیاری، با مصرف سوپرجاذب بر میزان پرولین برگ افزوده شد، ولی در تیمار آبیاری ۷۵ درصد، اثر مثبت سوپرجاذب بیشتر بود (جدول‌های ۶ و ۷). پرولین یکی از ترکیبات محافظ غشاهای سلولی است که نقش مهمی در حفاظت از گیاهان در برابر تنش خشکی دارد. با مواجهه گیاه با تنش خشکی، تجمع پرولین در بافت‌های گیاهی افزایش یافته و باعث کاهش اثر منفی تنش می‌شود (Kijowska-Oberc *et al.*, 2023). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که در هر سطح تیمار آبیاری، مصرف سوپر جاذب باعث کاهش محتوای پرولین گیاه شد. این موضوع نشان می‌دهد که سوپرجاذب می‌تواند اثر منفی تنش خشکی بر گیاه زعفران را تعدیل کند. به‌عبارت دیگر، مصرف سوپر جاذب باعث کاهش تجمع پرولین در گیاه می‌شود. سوپر جاذب‌ها با تامین تدریجی آب برای گیاه، از وقوع نوسانات رطوبتی و بروز تنش کم‌آبی جلوگیری کرده و به همین دلیل باعث کاهش میزان تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی می‌شوند. این یافته با نتایج سایر آزمایش‌ها نیز مطابقت دارد (Oyebamiji *et al.*, 2024).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب بر پایداری غشای سلول معنی‌دار بود. با کاهش مقدار آب آبیاری (افزایش شدت تنش) از میزان پایداری غشاء کاسته شد، به‌طوری‌که تفاوت بین بیشترین و کمترین میزان پایداری غشاء در تیمارهای آبیاری برای دو سال آزمایش به‌ترتیب ۲۹ و

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

جدول ۶- مقایسه میانگین فعالیت آنزیمی زعفران در تیمارهای آبیاری و مصرف سوپرجاذب (۱۴۰۱-۱۴۰۰)

Table 6. Mean comparison of enzymatic activity of saffron in irrigation and superabsorbent application treatments (2021-2022)

Treatments تیمارهای آزمایشی		کاتالاز Catalase ($\mu mol.min^{-1}.mg^{-1}$ protein)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase ($\mu mol.min^{-1}.mg^{-1}$ protein)	پراکسیداز Peroxidase ($\mu mol.min^{-1}.mg^{-1}$ protein)	پرولین Proline ($mg.g^{-1}$ FW)
آبیاری Irrigation	سوپر جاذب Superabsorbent ($kg.ha^{-1}$)				
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	0	2.38	11.9	15.9	0.080
	50	2.91	18.3	24.3	0.070
	100	3.81	27.6	29.2	0.040
۷۵ درصد نیاز آبی 75% water requirement	0	1.78	7.6	10.2	0. 100
	50	2.39	13.1	18.8	0.090
	100	3.08	26.6	23.5	0.050
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	0	0.83	4.3	5.0	0.170
	50	1.11	5.5	7.2	0.110
	100	2.88	8.3	11.8	0. 110
$LSD_{5\%}$		0.48	4.1	2.8	0.023

جدول ۷- مقایسه میانگین فعالیت آنزیمی زعفران در تیمارهای آبیاری و مصرف سوپرجاذب (۱۴۰۲-۱۴۰۱)

Table 7. Mean comparison of enzymatic activity of saffron in irrigation and superabsorbent application treatments (2022-2023)

Treatments تیمارهای آزمایشی		کاتالاز Catalase ($\mu mol.min^{-1}.mg^{-1}$ protein)	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase ($\mu mol.min^{-1}.mg^{-1}$ protein)	پراکسیداز Peroxidase ($\mu mol.min^{-1}.mg^{-1}$ protein)	پرولین Proline ($mg.g^{-1}$ FW)
آبیاری Irrigation	سوپر جاذب Superabsorbent ($kg.ha^{-1}$)				
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	0	2.32	12.4	14.2	0.080
	50	3.11	16.7	22.8	0.060
	100	3.69	26.1	27.4	0.050
۷۵ درصد نیاز آبی 75% water requirement	0	1.94	9.20	11.8	0.110
	50	2.33	11.6	17.2	0.100
	100	2.63	24.7	21.3	0.040
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	0	0.95	5.65	7.21	0.150
	50	1.04	5.92	7.92	0.100
	100	2.62	7.12	10.3	0.090
$LSD_{5\%}$		0.49	4.6	3.5	0.025

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

۲۷ درصد بود (جدول ۸). با افزایش مصرف سوپرجاذب میزان پایداری غشاء افزوده شد و تفاوت بین بیشترین و کمترین میزان پایداری غشاء برای تیمارهای سوپرجاذب در دو سال آزمایش به‌ترتیب ۲۵ و ۱۵ درصد بود (جدول ۸). گزارش شده است که تخریب غشاهای سلولی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌شود، در حالی که واکنش‌های نوری و انتقال الکترون ادامه پیدا می‌کنند. در این شرایط، موجودی NADP برای پذیرش الکترون محدود است و اکسیژن به‌عنوان یک گیرنده الکترون جایگزین عمل می‌کند. این موضوع باعث تجمع گونه‌های سمی اکسیژن، نظیر رادیکال‌های سوپر اکسید، هیدروژن پراکسید و رادیکال هیدروکسید می‌شود. تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش، باعث وارد شدن آسیب به ترکیبات سلولی مانند لیپیدها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک شده و در اثر پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، به غشای سلولی آسیب می‌زنند (Sachdev *et al.*, 2021). به‌علاوه تنش خشکی باعث اختلال در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی می‌شود که این موضوع باعث افزایش اکسیداسیون لیپیدهای غشایی و وارد شدن خسارت به غشاهای سلولی می‌شود (Khaleghi *et al.*, 2019). گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، گیاهان با افزایش تولید ترکیبات حفاظتی مانند پرولین به تنش واکنش نشان می‌دهند، اما مصرف سوپر جاذب‌ها باعث کاهش نیاز به تولید بیش از حد پرولین می‌شود، زیرا آب مورد نیاز گیاه به‌صورت مداوم و پایدار در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. این موضوع باعث حفظ غشاهای سلولی و افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی می‌شود (Malik *et al.*, 2022).

جدول ۸- مقایسه میانگین پایداری غشای سلولی زعفران در تیمارهای آبیاری و مصرف سوپرجاذب (۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲)

Table 8. Mean comparison of cell membrane stability of saffron in irrigation and superabsorbent application treatments (2021-2022 and 2022-2023)

	پایداری غشای سلول Cell membrane stability (%)	
تیمارهای آزمایشی Treatments	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2022-2023
آبیاری Irrigation		
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	67.6	68.9
۷۵ درصد نیاز آبی 75% water requiremen	55.5	56.1
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	52.6	54.2
$LSD_{5\%}$	6.65	6.71
سوپر جاذب Superabsorbent ($kg.ha^{-1}$)		
0	52.7	56.6
50	59.4	57.7
100	65.6	65.0
$LSD_{5\%}$	7.4	7.0

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری، سوپرجاذب و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد گل تر و عملکرد کلاله خشک در هر دو سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱ معنی‌دار بود. بیشترین مقدار عملکرد گل تر در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد به دست آمد و با کاهش مقدار آب آبیاری عملکرد گل تر کاهش یافت (جدول ۹). گزارش شده است که در زراعت زعفران بین میزان تولید گل و دسترسی به آب همبستگی بالایی وجود دارد و برای دستیابی به عملکرد بالاتر گل، افزایش میزان آبیاری ضروری است (Esmaeilian *et al.*, 2022). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که با افزایش میزان آب آبیاری و مصرف سوپرجاذب، عملکرد گل تر نیز افزایش یافت. در تیمارهای مصرف سوپرجاذب و تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، افزایش عملکرد گل تر نسبت به تیمارهای بدون مصرف سوپرجاذب بیشتر بود. در هر سه سطح آبیاری، بیشترین و کمترین عملکرد گل تر و عملکرد کلاله خشک به‌ترتیب در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بدست آمد. تفاوت بین بیشترین و کمترین عملکرد گل تر در سه سطح تیمار آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۴۴، ۶۳ و ۴۱ درصد در سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۱۶، ۳۵ و ۱۱ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود (جدول ۹). بنابر نظر یو و همکاران (Yu *et al*, 2017) میزان رس و مواد آلی در اکثر خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک پایین و ظرفیت نگهداری آب نیز در آنها پایین است در این مناطق وقوع تنش خشکی باعث کاهش عملکرد گیاهان شده و مصرف مواد سوپرجاذب باعث کاهش اثرات منفی خشکی بر گیاهان می‌شود.

نتایج نشان داد که تغییر در عملکرد کلاله خشک در تیمارهای آبیاری و سوپرجاذب روند مشابهی را با عملکرد گل تر داشتند. کاهش مقدار آب آبیاری باعث کاهش عملکرد کلاله خشک در دو سال آزمایش شد. این یافته با نتایج آزمایش اسماعیلیان و همکاران (Esmaeilian *et al.*, 2022) مطابقت دارد بدین ترتیب که با کاهش مقدار آب آبیاری تا ۷۵ و ۵۰ درصد، عملکرد کلاله زعفران ۲۱ و ۳۷ درصد کاهش یافت. در هر سه سطح آبیاری، بیشترین عملکرد کلاله خشک در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم سوپرجاذب بدست آمد و کمترین عملکرد کلاله خشک نیز در تیمار بدون مصرف سوپرجاذب ثبت شد. تفاوت بین بیشترین و کمترین عملکرد کلاله خشک در سه سطح تیمار آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۳۸، ۳۹ و ۳۳ درصد در سال ۰۱-۱۴۰۰ و ۵۱، ۳۲ و ۳۵ درصد در سال ۰۲-۱۴۰۱ بود (جدول ۹). با توجه به اینکه در آبیاری زعفران از روش حوضچه‌ای استفاده می‌شود و این موضوع ممکن است باعث تلفات آب و مواد غذایی از طریق آبشویی شود، استفاده ازمواد سوپرجاذب می‌تواند به طور بالقوه باعث کاهش این تلفات شده و در نتیجه عملکرد کلاله خشک زعفران افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان‌دهنده اثر تیمارهای آبیاری و اثر مثبت مصرف سوپرجاذب بر صفات فیزیولوژیک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد گل و کلاله زعفران است. به‌طور خاص، بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند محتوای کلروفیل، کاروتنوئیدها، پایداری غشای سلولی و پرولین و همچنین بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز) با مدیریت آبیاری و مصرف سوپرجاذب مشاهده شد. این بهبود به‌ویژه در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی (آبیاری کامل؛ بدون تنش) معنی‌دار بود. در تیمارهای کم‌آبیاری (۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی) نیز مصرف سوپرجاذب با بهبود پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه باعث کاهش اثر منفی ناشی از تنش خشکی شد. به عبارت دیگر، در

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد گل و عملکرد کلاله زعفران در تیمارهای و مصرف سوپرجاذب (۱۴۰۲-۱۴۰۱ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲)

Table 9. Mean comparison of flower yield and stigma yield of saffron in irrigation and superabsorbent application treatments (2021-2022 and 2022-2023)

تیمارهای آزمایشی Treatments		عملکرد گل تر Fresh flower yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد کلاله خشک Dry stigma yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد گل تر Fresh flower yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد کلاله خشک Dry stigma yield ($g.m^{-2}$)
آبیاری Irrigation	سوپر جاذب Superabsorbent ($kg.ha^{-1}$)	۱۴۰۲-۱۴۰۱ 2021-2022		۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2022-2023	
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	0	110.5	0.89	172.5	1.32
	50	131.0	0.99	188.9	1.53
	100	155.9	1.18	191.2	1.78
۷۵ درصد نیاز آبی 75% water requirement	0	91.5	0.83	142.5	1.30
	50	124.1	1.03	166.8	1.49
	100	149.2	1.15	192.7	1.71
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	0	81.1	0.68	122.2	0.78
	50	96.9	0.81	133.4	1.02
	100	117.1	0.94	141.1	1.18
$LSD_{5\%}$		21.5	0.144	24.1	0.144

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

شرایط کم‌آبی، استفاده از سوپرجاذب باعث کاهش اثر منفی خشکی ناشی از کم‌آبیاری و بهبود عملکرد زعفران شد. بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد کلاله خشک در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی(آبیاری کامل؛ بدون تنش) و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب در میانگین دو سال ۰/۴۳ میلی‌گرم بر مترمکعب بود که در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی(تنش شدید) و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب در میانگین دو سال به ۰/۶۱۶ میلی‌گرم بر مترمکعب افزایش یافت (۴۲ درصد افزایش). این نتایج نشان می‌دهد که مصرف مواد جاذب رطوبت (سوپرجاذب‌ها) می‌تواند به عنوان اصلاح‌کننده خاک در شرایط کم‌آبی، باعث بهبود رشد و عملکرد زعفران و افزایش بهره‌وری آب آبیاری در مناطق خشک شود.

منابع مورد استفاده

References

Alinaghizadeh, M. and Azimi Gandomani, M. 2025. Effect of silicon application on physiological traits and seed yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under drought stress conditions. *Iranian Joiurnal of Crop Sciences*, 26(1), pp. 1-20. [In Persian]. doi: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

Ahmadian, A., Esmaeilian, Y., Tavassoli, A., Fernández-Gálvez, J., and 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

Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, pp.112-121.

Bates, L.S., Waldern, R.P., and Tear, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, pp.205-207.

Esmaeilian, Y., Amiri, M.B., Tavassoli, A., Caballero-Calvo, A., and 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

Fakhri, K., Sayfzadeh, S., Sarajooghi, M., Valad Abadi, S.A., and Hadidi Masouleh, E. 2024. The effect of biochar application and planting pattern on the physiological and biochemical traits of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) at different levels of irrigation. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 13(4), pp.999-1015. https;//doi.org/10.22034/jmpb.2023.363598.1610

Ghias, S., Shirmardi, M., Meftahizadeh, H., and Dehestani Ardakani, M. 2022. Effect of biochar and hydrogel on morphophysiological characteristics of common sage (*Salvia officinalis* L.) under drought stress. *Plant Production*, 45(1), pp.67-89. [In Persian]. doi: 10.22055./ppd.2021.36030.1962

Gorjian, S., and Ghobadian, B. 2015. Solar desalination: a sustainable solution to water crisis in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, pp.571–584. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.009

Heidari, S., Azizi, K., and Ismaili, A. 2018. Effects of Nitroxin bio-fertilizer, superabsorbent polymer and planting method on yield of flower and corm of saffron (*Crocus sativus* L.) in rainfed-farming condition of Khorramabad, Iran. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*, 6(4), pp.461-472. [In Persian]. doi:

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

10.22048/jsat.2017.81060.1221

Jalili, S., Hadi, M., and 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), pp.923-931. [In Persian]. doi: 10.22059/ijfcs.2017.223031.654237

Jomova, K., Alomar, S.Y., and Alwasel, S.H. 2024. Several lines of antioxidant defense against oxidative stress: antioxidant enzymes, nanomaterials with multiple enzyme-mimicking activities, and low-molecular-weight antioxidants. *Archives of Toxicology,* 98, pp.1323–1367. https://doi.org/10.1007/s00204-024-03696-4

Juan, C.A., Pérez de la Lastra, J.M., Plou, F.J., and Pérez-Lebeña, E. 2021. The Chemistry of Reactive Oxygen Species (ROS). Revisited: Outlining their role in biological macromolecules (DNA, lipids and proteins) and induced pathologies. *International Journal of Molecular Sciences,* 22, 4642. https://doi.org/10.3390/ijms22094642

Khaleghi, A., Naderi, R., and Brunetti, C. 2019. Morphological, physiochemical and antioxidant responses of *Maclura pomifera* to drought stress. *Scientific Reports,* 9, 19250. https://doi.org/10.1038/s41598-019-55889-y

Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafori, A., and Esmaielpour, B. 2013. Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research,* 1(2), pp.120-135. [In Persian]. doi: 10.22077/jsr.2013.439

Khoshpeyk, S., Sadrabadi Haghghi, R., and Ahmadian, A. 2022. The effect of irrigation water quality and application of silicon, nanosilicon and superabsorbent polymer on the yield and active ingredient of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research,* 10(1), pp.64-83. [In Persian]. doi: 10.22077/jsr.2021.4461.1163

Kijowska-Oberc, J., Dylewski, Ł., and Ratajczak, E. 2023. Proline concentrations in seedlings of woody plants change with drought stress duration and are mediated by seed characteristics: a meta-analysis. *Scientific Reports,* 13, 15157. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40694-5

Li, J., Liu, L., Zhou, H., and Li, M. 2018. Improved viability of tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings under drought stress using a superabsorbent polymer. *Horticultural Science,* 53(12), pp.1872-1876. doi.org/10.21273/HORTSCI13586-18

Malik, S., Chaudhary, K., Malik, A., Punia, H., Sewhag, M., Berkesia, N., Nagora, M., Kalia, S., Malik, K., Kumar, D., Kumar, P., Kamboj, E., Ahlawat, V., Kumar, A., and Boora, K. 2022. Superabsorbent polymers as a soil amendment for increasing agriculture production with reducing water losses under water stress condition. *Polymers (Basel),* 29;15(1):161. doi: 10.3390/polym15010161

Nakano, Y., and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by accurate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology,* 22, pp.867-880.

Oyebamiji, Y.O., Adigun, B.A., Shamsudin, N.A.A., Ikmal, A.M., Salisu, M.A., Malike, F.A., and Lateef,

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]

A.A. 2024. Recent advancements in mitigating abiotic stresses in crops. *Horticulturae,* 10, 156. https://doi.org/10.3390/horticulturae10020156

Razban, M., and Pirzad, A. 2012. Evaluate the effect of varying amounts of super absorbent under different irrigation regimes on growth and water deficit tolerance of German chamomile (*Matricaria Chamomilla*), as a second crop. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production,* 21(4), pp.123-138. [In Persian].

Sachdev, S., Ansari, S.A., Ansari, M.I., Fujita, M., and Hasanuzzaman, M. 2021. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants (Basel),* 11;10(2):277. doi: 10.3390/antiox10020277

Safari, M., Khajoueinejad, G.R., Maghsoudi Moud, A.A., and Mohammadinejad, Gh. 2018. Effect of different rates and application methods of super-absorbent polymer in saffron cultivation under different irrigation levels. *Journal of Saffron Research,* 5(2), pp.231-246. doi: 10.22077/jsr.2017.799.1031

Sairam, R.K., and Srivastava, G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.): variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science,* 186(1), pp.63-70. http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00461.x

Sepehri, S., Abdoli, S., and Asgari Lajayer, B. 2023. Changes in phytochemical properties and water use efficiency of peppermint (*Mentha piperita* L.) using superabsorbent polymer under drought stress. *Scientific Reports,* 13, 21989. https://doi.org/10.1038/s41598-023-49452-z

Smagin, A., Sadovnikova, N., and Nikolaeva, E. 2014. Thermodynamic analysis of the effect of strongly swelling polymer hydrogels on the physical state of soil and sediment samples. *Eurasian Soil Science,* 47(2), pp.78-88. https://doi.org/10.1134/S1064229314020100

Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., and Chen, S. 2021. Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae,* 7, 50. https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050

Yang, Y., Nan, R., Mi, T., Song, Y., Shi, F., Liu, X., Wang, Y., Sun, F., Xi, Y., and Zhang, C. 2023. Rapid and nondestructive evaluation of wheat chlorophyll under drought stress using hyperspectral imaging. *International Journal of Molecular Sciences,* 24(6), 5825. https://doi.org/10.3390/ijms24065825

Yu, J., Shi, J.G., Ma, X., Dang, P.F., Yan, Y.L., Mamedov, A.I., Shainberg, I., and Levy, G.J. 2017. Superabsorbent polymer properties and concentration effects on water retention under drying conditions. *Soil Science Society of America Journal,* 81, pp.889–901. https://doi.org/10.2136/sssaj2016.07.0231

Zia, R., Nawaz, M.S., Siddique, M.J., Hakim, S., and Imran, A. 2021. Plant survival under drought stress: Implications, adaptive responses, and integrated rhizosphere management strategy for stress mitigation. *Microbiological Research,* 242, 126626. https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126626

Zia-ur-Rehman, M., Anayatullah, S., Irfan, E., Hussain, S.M., Rizwan, M., Sohail, M.I., Jafir, M., and Alharby H.F. 2023. Nanoparticles assisted regulation of oxidative stress and antioxidant enzyme system in plants under salt stress: A review. *Chemosphere,* 314, 137649. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137649

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2025-12-10]