نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد دهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱
شماره صفحه: ۸۳-۶۴
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2021.4461.1163

مقاله پژوهشی:

تاثیر کیفیت آب آبیاری و کاربرد سیلیکون، نانوسیلیکون و پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و ماده موثره زعفران (*Crocus sativus* L.)

سمیه خوش پیک[۱]، رضا صدرآبادی حقیقی[۲*] و احمد احمدیان[۳]
۱ - دانشجوی دکتری زراعت، گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.
۲ - استاد، گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.
۳- استادیار، گروه تولیدات گیاهی و پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه، ایران.
*نویسنده مسئول: *Email: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴

چکیده
کشور ما به‌دلیل تکیه برکشاورزی فاریاب، به شدت در معرض شورشدن اراضی و منابع آب قراردارد. شوری عموماً اثر قابل‌توجهی روی صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و آناتومیک گیاهان گذاشته و بر رشد و نمو، بقا و تولیدات گیاهی اثر منفی می‌گذارد. به منظور مطالعه تاثیر کیفیت آب آبیاری و کاربرد سیلیکون، نانوسیلیکون و پلیمر ابرجاذب بر عملکرد و میزان ماده موثره زعفران (*Crocus sativus* L.) آزمایش به‌صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و سه سال زراعی (۹۹-۱۳۹۶) در مزرعه‌ای واقع در روستای ضیاء الدین شهرستان تربت حیدریه انجام شد. فاکتور اصلی کیفیت آب آبیاری در دو سطح (شامل آب با هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد و آب با هدایت الکتریکی ۶ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور فرعی کاربرد سیلیکون وسوپرجاذب در شش سطح (شامل عدم مصرف به‌عنوان شاهد، سیلیکون، نانوسیلیکون هر کدام با غلظت ۱/۵ در هزار، سوپرجاذب (۰/۴ گرم به ازای هرکیلوگرم وزن خشک خاک)، سیلیکون با سوپرجاذب و نانوسیلیکون با سوپرجاذب). صفات مورد مطالعه شامل خصوصیات مورفولوژیکی از جمله تعداد برگ، بنه، گل و کلاله در هکتار، عملکرد برگ، بنه، گل و کلاله در هکتار، طول برگ و پهنای برگ، متوسط وزن بنه و گل، طول کلاله و خصوصیات فیزیولوژیکی شامل مقادیر کلروفیل، ترکیبات سافرانال، کروسین وپیکروکروسین بود. نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش و مصرف سیلیکون و بلورآب در هر دو تیمار شوری و عدم تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار صفات مهم رشد زایشی شامل تعداد گل، متوسط طول کلاله، متوسط وزن تک گل، عملکرد گل و کلاله ، میزان مواد موثره کلاله (کروسین، پیکروکروسین و سافرانال)، در هر سه سال آزمایش بود. اثر تیمارها روی صفات رشد رویشی برگ زعفران شامل تعداد برگ، طول و پهنای برگ، عملکرد برگ، میزان کلروفیل *a* و *b* و همچنین روی صفات بنه‌های دختری تولید شده شامل تعداد کل بنه دختری، متوسط وزن بنه‌های دختری، میزان ماده خشک و عملکرد بنه در هر ۳ سال آزمایش معنی‌دار بود. مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرجاذب در شرایط شوری باعث افزایش ۴۶/۸ ٪ و ۵۴/۳ ٪ به ترتیب در عملکرد گل و کلاله زعفران سال دوم نسبت به سال اول و همچنین افزایش۶۰/۱ ٪و ۵۷/۸ ٪ عملکرد گل و کلاله سال سوم نسبت به سال دوم شد. نتایج آزمایش نشان داد، که کاربرد تلفیقی نانو سیلیکون و سوپرجاذب باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی زعفران در شرایط شوری گردید. بنابراین توصیه می‌شود جهت افزایش عملکرد و تولید زعفران از ترکیبات مذکور استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: بلورآب آ، تنش شوری، زعفران.

مقدمه

اکثر مناطق زراعی ایران مستعد شوری هستند و بزرگترین مناطق مستعد شوری در مرکز ایران قراردارند. تخمین زده می‌شود که در مناطق شور، میانگین کاهش عملکرد به بیش از ۵۰ درصد برسد (Qureshi et al., 2007). شوری عموماً اثر قابل توجهی روی تمام صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و آناتومیکی اکثر گیاهان گذاشته و بر رشد و نمو، بقا و تولیدات گیاهی اثر منفی می‌گذارد و اجزای عملکرد را بسته به اینکه تنش در چه زمانی بر گیاه وارد شده باشد، تحت تأثیر قرار می‌دهد (Munns & Tester, 2008). گزینش گونه و ارقام مقاوم مهم‌ترین راه مقابله با شوری است، با این‌حال گاهی در انتخاب ارقام محدودیت وجود دارد و باید در جستجوی روش‌های دیگر بود که در این میان گزینش راهکارهای صحیح مدیریت می‌تواند گره‌گشا باشد. از آنجا که اصلاح و آبشویی خاک‌های شور بسیار هزینه‌بر بوده و به علت تبخیر بالا در مناطق خشک و نیمه خشک احتمال شور شدن مجدد این خاک‌ها وجود دارد و همچنین تنش شوری، تنش خشکی را نیز در پی دارد لذا رفع این مسئله از دیرباز مورد توجه کشاورزان بوده است. یکی از راهکارهای کاهش اثرهای زیان‌بار تنش شوری و خشکی ناشی از آن استفاده از روش‌های صحیح تغذیه گیاهان است که نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش عملکرد دارند. در همین ارتباط، نقش برخی عناصر نظیر سیلیکون و پلیمرهایی از جمله سوپرجاذب‌ها مورد توجه برخی متخصصین تغذیه قرار گرفته است. پلیمرهای سوپرجاذب به‌عنوان اصلاح کننده خاک می‌باشند، این پلیمرها ترکیباتی هیدروکربنی و جاذب آب بوده که به‌دلیل داشتن اتصالات عرضی در شبکه پلیمری خود، جذب آب و تورم در آن‌ها باعث انحلال و یا تغییر ساختمان آن‌ها نمی‌شود (Abedi and Mesforoush, 2009)، همچنین این ترکیبات قادرند آب جذب شده در ساختمان خود را در اختیار ریشه قرار داده و از تنش خشکی ناشی از شوری بدین طریق جلوگیری کنند (Nykanen et al., 2011). پلیمرهای سوپرجاذب دارای انواع کاتیونی و آنیونی بوده و نوع آنیونی آن به علت دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا در کشاورزی کاربرد دارد و قادر است یون سدیم را در ساختمان خود تا حدی نگه‌داشته و از غلظت این یون در اطراف ریشه گیاه بکاهد و تنش شوری را کاهش دهد (Mikkelsen, 1999). با توجه به اینکه بسیاری از اثرات فیزیولوژیک شوری در گیاه ممکن است در اثر تغییر در توازن هورمون‌های گیاهی به وجود آید، سیلیکون و برخی تنظیم کننده‌های رشد مانند سالیسیلیک‌اسید، با ایجاد توازن در محتوای هورمون‌های گیاهی، در کنترل پاسخ‌های گیاه به شوری نقش مهمی دارند (Pirasteh-Anosheh et al., 2012). سیلیکون بعد از اکسیژن فراوان‌ترین عنصر پوسته زمین است، هرچند که در اکثر گیاهان، عنصر ضروری رشد محسوب می‌شود (Epstein, 1994). با این حال مشاهده شده است که می‌تواند در گیاهان به طرق مختلف، ازجمله ضخیم شدن لایه کوتیکول در اثر تغذیه گیاه با سیلیکون و کاهش از دست دادن آب (Ma, 2004)، کمک به تنظیم اسمزی و حفظ محتوی آن (Sonobe et al., 2010), حفظ ساختار غشاء (Lianget al., 2003) و کاهش جذب سدیم سبب افزایش تحمل به تنش‌های محیطی شود. شوری باعث کاهش غلظت قند در بنه‌های زعفران می‌گردد، با توجه به اینکه قندهای احیا شونده اولین مواد تولید شده در جریان فتوسنتز می‌باشند بنابراین کاهش آن‌ها می‌تواند نشان دهنده کاهش ظرفیت فتوسنتزی با افزایش شوری باشد (Gholami Touranposhti et al., 2005). همچنین افزایش شوری باعث کاهش عملکرد، اجزای عملکرد، طول برگ و کاهش روزهای گلدهی در زعفران می‌گردد (Ghoreishi et al., 2019). کاربرد انواع پلیمرهای ابرجاذب روی گیاه زعفران باعث بهبود رشد رویشی شامل طول برگ و افزایش اندازه بنه‌های دختری، و رشد زایشی مانند عملکرد گل‌تر، کلاله خشک و کارایی مصرف آب گردید (Abedini & Abedikopayi, 2017). بررسی اثر نانوذرات سیلیکون توام با تیمار شوری بر برخی فاکتورهای رشدی در گیاه زعفران نشان داد، کاربرد نانوسیلیکون از طریق محلول پاشی توانست، تا حدود زیادی اثرات منفی ناشی از تنش شوری بر فاکتورهای رشدی زعفران را بهبود بخشد (Aseme & Poorakbar, 2016).

زعفران (*Crocus sativus* L.) از جمله گیاهانی است که کشت آن در مناطقی که دارای محدودیت کمیت و کیفیت آب است رایج است. سطح کشت ان در سال‌های اخیر با توجه به ارزش اقتصادی آن در حال افزایش است. جهت استفاده از آب‌هایی با کیفیت کمتر لازم است راهکارهایی جهت کاهش اثرات منفی تنش شوری بر رشد

و عملکرد زعفران یافت شود. با توجه به اهمیت و جایگاه زعفران به عنوان یک گیاه دارویی در این تحقیق علاوه بر اثر مدیریت آبیاری، هم‌زمان تاثیر کاربرد سیلیکون، نانوسیلیکون، و پلیمر ابرجاذب ریز ترکیب سوپرجاذب و ترکیب آن‌ها روی خصوصیات رشد و نمو گیاه زعفران شامل رشد رویشی برگ و بنه‌های دختری، رشد زایشی گیاه و تولید مواد موثره دارویی آن مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در روستای ضیاءالدین شهرستان تربت حیدریه با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۱ درجه شرقی و با ارتفاع ۱۴۳۰ متر از سطح دریا با میانگین تبخیر سالیانه ۳۶۰/۵ میلی‌متر، میانگین بارندگی بلند مدت ۱۷۵/۸ میلی‌متر، میانگین حداقل و حداکثر دمای سالیانه به ترتیب ۸/۵ و ۲۳/۸ درجه سانتیگراد، طی سه سال زراعی ۹۹-۱۳۹۶ بصورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک به‌طور تصادفی نمونه‌گیری انجام شد. پس از انجام مراحل مقدماتی از قبیل خشک کردن، کوبیدن و الک کردن و به آزمایشگاه خاک انتقال داده شد. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی خاک نشان داد که خاک محل آزمایش دارای بافت لومی- شنی با هدایت الکتریکی عصاره اشباع ۱/۷۳ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته ۸ می‌باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table1. Physical and chemical properties of soil

بافت texture	شاخص واکنش pH	کربن آلی OC	نیتروژن کل N	فسفر قابل دسترس p	پتاسیم قابل دسترس k	آهک Lime	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	هدایت الکتریکی EC
		(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)	($ds.m^{-1}$)
لوم-شنی loam sand	8.02	0.51	0.05	28	360	17.5	13	53	34	1.73

عامل اصلی کیفیت آب آبیاری در دو سطح (شامل آب با هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد و آب با هدایت الکتریکی ۶ دسی‌زیمنس بر متر) و عامل فرعی کاربرد سیلیکون و پلیمرسوپرجاذب بلورآب آ در شش سطح (شامل عدم مصرف به‌عنوان شاهد، سیلیکون، نانوسیلیکون هر کدام با غلظت ۱/۵ در هزار، سوپرجاذب (به میزان ۰/۴ گرم به ازای هرکیلوگرم وزن خشک خاک)، سیلیکون با سوپرجاذب و نانوسیلیکون با سوپرجاذب) می‌باشد. پلیمر سوپرجاذب بلورآب آ به مقدار مورد نیاز از شرکت بلورآب شیروان و سیلیکون و نانوسیلیکون از نمایندگی شرکت تولیدکننده در مشهد تهیه گردید. پس از آماده سازی زمین و در هنگام خواب حقیقی بنه ها (شهریور ۱۳۹۶)، بنه‌های استاندارد در گروه وزنی متوسط ۸ -۱۰ گرم براساس تراکم ۵۰ بنه در یک مترمربع در ردیف‌هایی به فواصل ۲۵cm ×۸cm در کرت‌هایی به ابعاد ۲/۵ در ۳ متر و در عمق ۲۰ سانتی-متر در شهریور ۹۶ کشت شد. فاصله بین کرت‌های فرعی، ۵۰ سانتی‌متر و کرت‌های اصلی یک متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که پلیمر سوپرجاذب ریز ترکیب بلورآب آ به‌منظور حداکثر استفاده بنه ازآن قبل از کاشت در سال اول، در داخل شیارهای کاشت بنه پخش گردید. محلول‌پاشی سیلیکون و نانوسیلیکون در دو مرحله دی ماه و اسفند ماه در هر سه سال زراعی انجام گرفت. آب مورد استفاده از دو چاه نزدیک به مزرعه دارای شوری‌هایی به ترتیب ۱/۹۶ و ۶/۰۴ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد که با توجه به عرف منطقه و داشتن تبخیر وتعرق بالقوه گیاه مرجع و مقدار ضریب گیاهی برای دوره‌های متفاوت رشد گیاه زعفران (Azizi-Zohan et al., 2008; Kafi et al., 2002) ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار در ۵ نوبت و بصورت غرقاب توسط تانکر دارای کنتور حجمی به مزرعه منتقل شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده

Table 2. chemical properties of water used in the experiment

هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم S.A.R	کلسیم+ منیزیم Ca+Mg (meq/lit)	سدیم Na (meq/lit)	سولفات SO_4^{-2} (meq/lit)	کلر Cl (meq/lit)	بی کربنات Hco^{-3} (meq/lit)
1.96	7.2	1.9	14	5.1	8.4	3.7	5.3
6.04	7.4	8.4	20.6	27	20	16.8	13.2

جدول ۳. مشخصات فیزیکو شیمیایی نانو سیلیکون

Table3. Physical and chemical properties of nano silicon

Sio^2	اندازه ذرات APS (nm)	کلسیم Ca(ppm)	سدیم Na(ppm)	آهن Fe (ppm)	چگالی density (g/cm^3)
>99%	11-13	<70	<50	<20	2.4

جدول ۴. خصوصیات فیزیکو شیمیایی پلیمر ابر جاذب ریز ترکیب

Table 4. Physical and chemical properties of nanocomposite superabsorbent polymer (N.S.A.P)

پلیمر ابر جاذب ریز ترکیب (N.S.A.P)	ماده حامل (Career)	محتوای عناصر غذایی Nutrient elements content ٪ فسفر P پتاس K نیتروژن N			چگالی Density (g.cm-3)	اندازه ذرات Particle size (µm)	حداکثر دوام Maximum durability (year)	پتانسیل جذب آب مقطر Potential of deionized water absorption(g.g-1)	پتانسیل جذب محلول کلرید سدیم ۰.۲٪ Potential for solution absorption of 0.2%NaCl(g.g-1)
بلورآبآ BolourabA	زئولیت Zeolite	3.75	6.6	19	0.85	25-45	4-6	320	220

همچنین در طی دوران رشد و نمو، عملیات وجین و مبارزه با علف‌های هرز در دو مرحله، پس از اتمام گل‌دهی (اوایل آذر ماه) و یک ماه پس از آن بصورت دستی انجام گرفت. صفات مورد مطالعه شامل خصوصیات مورفولوژیکی از جمله تعداد برگ، بنه، گل و کلاله در هکتار، وزن تر و خشک و عملکرد برگ، بنه، گل و کلاله در هکتار، طول برگ و پهنای برگ و خصوصیات فیزیولوژیکی شامل مقادیرکلروفیل، ترکیبات سافرانال، کروسین وپیکروکروسین بود. لازم به‌ذکر است به‌دلیل عادت رشدی ویژه گیاه زعفران شامل پیش گلده بودن آن و اینکه عملکرد زایشی سال اول پس از کاشت به شرایط محیطی و تغذیه‌ای مزرعه‌ای که گیاه سال زراعی قبل در آن مستقر بوده دارد و نیز عدم فرصت کافی جهت تاثیر تیمارها روی شاخص‌های رشد زایشی، از عملکرد زایشی سال اول پس از کاشت چشم‌پوشی شده و نمونه برداری گل از سال دوم آزمایش شروع گردید. برای ارزیابی صفات گل پس از ظهور گل‌ها (اواخر مهر تا پایان گل‌دهی در اوایل آذرماه) روزانه قبل از طلوع آفتاب، عملیات برداشت با حذف اثر حاشیه ای (نیم متر فاصله از طرفین کرت) از واحدهای آزمایشی انجام گرفت و گل-ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و پس از شمارش و توزین با ترازوی دیجیتال (با دقت یک هزارم گرم) و ثبت وزن تر گل‌ها، بلافاصله کلاله از بقیه اجزای گل جدا شده و وزن تر آن اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین طول کلاله تر اندازه‌گیری شد. سپس کلاله‌ها در خشک‌کن الکتریکی در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد تا میزان رطوبت ۱۰ درصد خشک شده سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال (با دقت یک هزارم گرم) اندازه‌گیری و ثبت شد. بعد از اتمام دوره گلدهی میزان مواد موثره کلاله‌های خشک شامل کروسین، پیکروکروسین و سافرانال درآزمایشگاه به روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) با استفاده از دستگاه مدل *GC/ MS - 5975 Agilent* مطابق روش ارایه شده توسط لوزانو و همکاران (Lozano et al., 1999) اندازه‌گیری شد. خصوصیات برگ در اردیبهشت ماه قبل از اینکه برگ‌ها زرد شده باشد اندازه-گیری شد. در هر نمونه برداری سه بوته از هر واحد

آزمایشی به‌صورت تصادفی و با در نظرگرفتن اثر حاشیه-ای از زمین انتخاب شد. طول برگ توسط خط‌کش، عرض برگ توسط دستگاه قطرسنج اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد بنه در اردیبهشت هر سال سطح نیم متر مربع از هر کرت را با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت کرده و جهت اندازه‌گیری خصوصیات کمی وکیفی و میزان ماده خشک بنه‌های دختری تولید شده به آزمایشگاه منتقل شد. تعیین میزان کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل *UNICO) 2000, Germany*) و به-روش Arnon (1967) انجام گرفت. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 و آزمون چند دامنه ای دانکن ($P\leq 0.05$) در هر سه سال بصورت مجزا مورد تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین قرارگرفتند.

نتایج و بحث

وضعیت رشد اندام هوایی

صفات سه گانه تعداد، طول و پهنای برگ در تمام گیاهان به‌ویژه زعفران مهم‌ترین اجزای تعیین کننده سطح سبز گیاه بوده و میزان آن ظرفیت فتوسنتزی و رشد و نمو گیاه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ramezani, 2018). نتایج تجزیه واریانس اثرات سطوح مختلف شوری و کاربرد کودهای سیلیکون و بلورآب بر تعداد، طول و پهنای برگ زعفران در جدول ۵ نشان داده شده است. بر اساس جدول مذکور مشاهده گردید تعداد، طول و پهنای برگ در هر سه سال آزمایش تحت تأثیر شوری و مصرف سیلیکون و سوپرجاذب قرار گرفتند و برهمکنش تیمارها نیز در هر سه سال آزمایش معنی‌دار بود. در حالیکه پهنای برگ در سال سوم تحت تأثیر برهمکنش تیمارها قرار نگرفت. جدول ۶ نشان داد آبیاری با آب شور باعث کاهش معنی‌دار صفات فوق گردید که این کاهش در هر سه سال آزمایش مشاهده شد. کاهش پتانسیل تورژسانس در نتیجه شوری مهم‌ترین عامل بازدارندگی رشد گیاهان تحت شرایط شوری است چون رشد سلول-ها در ابتدا با پتانسیل تورژسانس در ارتباط است، کاهش فشار تورژسانس روی تقسیم سلولی و طویل شدن و همچنین بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان حساس به شوری اثر می‌گذارد و تبادل گازی (فتوسنتز و تنفس) کاهش می‌یابد و درنتیجه باعث جلوگیری از رشد می شود (Maas & Hoffman, 1977).سایر محققین نیز کاهش رشد و اندازه برگ در اثر اعمال تنش شوری را گزارش داده اند. بیشترین تعداد برگ در تیمار کاربرد نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط عدم تنش شوری در هر سه سال آزمایش مشاهده شد. تعداد برگ در شرایط عدم شوری و عدم مصرف کود با تیمار مصرف نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط تنش شوری در سال دوم و سوم اختلاف معنی‌داری نداشت. مصرف توام نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط شور باعث افزایش ۳۸/۸۶، ۵۶/۱۳ و۳۰/۳۲ درصدی تعداد برگ نسبت به شاهد در سال اول تا سوم آزمایش گردید (Sabet (Teimouri et al., 2010

نتایج نشان داد که ترکیب توام نانوسیلیکون با پلیمرهای سوپرجاذب ریز ترکیب از طریق افزایش آب قابل دسترس در خاک در حد ظرفیت زراعی، افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ گیاه، موجبات افزایش رشد رویشی گیاه از طریق تولید برگ بیشتر و با اندازه بزرگ‌تر را فراهم آورده است و از این طریق زمینه افزایش سطح فتوسنتزی گیاه و به‌دنبال آن میزان رشد رویشی بیشر را فراهم کرده است. در زعفران حفظ رطوبت خاک باعث افزایش آماس سلولی شده که در نتیجه بهبود سرعت تولید برگ را به‌دنبال دارد (Shabahang et al., 2013).

وزن خشک برگ

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثرات تیمارها بر وزن خشک برگ جدول ۵ مشاهده گردید، تنش شوری در سال اول و دوم در سطح یک درصد و در سال سوم در سطح پنج درصد بر میزان وزن خشک برگ زعفران اثر معنی‌داری داشت. تأثیر کاربرد سیلیکون و بلورآب بر میزان وزن خشک برگ‌های زعفران در هر سه سال آزمایش در سطح یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش تیمارها در سال اول در سطح یک درصد و در سال‌های دوم و سوم در سطح پنج درصد نیز معنی‌دار بود (جدول ۵). مصرف سیلیکون و سوپرجاذب در هر دوتیمار شوری و عدم تنش شوری باعث افزایش وزن خشک برگ زعفران نسبت به شاهد در هر سه سال آزمایش شده است (جدول ۶). مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرجاذب باعث شد تا بیشترین وزن خشک برگ در شرایط شوری و عدم

جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات مصرف تنش شوری و سیلیکون و سوپرجاذب بر عملکرد برگ زعفران

Table 5. Analysis of variance (mean of squares) of effects of Salinity, Silicon and Super absorbent on yield of Saffron leaves

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	تعداد برگ Number of leaf			متوسط طول برگ Medium Leaf length			متوسط پهنای برگ Leaf width medium			عملکرد برگ yield of leaf		
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year
تکرار Replication	2	0.17	1.06	1.22	13.196	12.32	6.50	0.001	0.02	0.0006	105562.59	418615.00	13642.79
تنش شوری Salt stress	1	91.77**	394.75**	519.01*	558.45**	575.28**	617.68**	5.46**	4.23**	5.82 *	4177459.08**	3708699.22**	9043452.32*
خطای اصلی main error	2	0.44	0.61	15.39	0.92	0.57	0.58	0.163	0.01	0.11	16513.57	1752.62	122293.35
کود Fertilizer	5	5.44**	32.16**	23.77**	45.528**	49.87**	38.70**	0.344**	0.59 **	0.33 **	338074.94**	356535.85**	922488.82**
تنش شوری* کود Salt stress* Fertilizer	5	0.2**	1.26*	1.15**	2.255**	2.32**	1.35**	0.012*	0.022 *	0.008 ns	5110.55**	5524.98*	81733.65*
خطای فرعی Sub error	20	0.04	0.46	0.246	0.234	0.15	0.307	0.004	0.007	0.004	1164.629	6549.867	22167.46
ضریب تغییرات cv (%)		2.03	3.44	1.87	1.68	1.13	1.45	2.10	2.94	2.11	1.52	1.55	3.95

* و ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

*, ** and ns are significant at the 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

شوری در هر سه سال آزمایش بدست آید و تیمار شاهد کم‌ترین وزن خشک برگ را به خود اختصاص دهد.
در واقع سیلیکون و سوپرجاذب توانسته‌اند با افزایش مقاومت گیاه به شوری و حفظ توان تولید و رشد رویشی گیاه، باعث کاهش افت عملکرد در شرایط شوری و به‌عبارت دیگر باعث افزایش عملکرد نسبت به شاهد در شرایط شوری گردد. به‌طوریکه افزایش ۲۹/۵درصدی وزن خشک برگ در سال دوم ازمایش نسبت به سال اول آزمایش و افزایش ۳۵/۱ درصدی در میزان وزن خشک برگ سال سوم نسبت به سال دوم، در شرایط آبیاری با آب شور مشاهده شد. همچنین مصرف توام نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط شور باعث افزایش ۴۵/۷، ۳۲/۶و۴۹/۲ درصدی عملکرد برگ نسبت به شاهد در سال اول تا سوم آزمایش گردید. سیلیکون به دلیل رسوب در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ توانایی گیاه برای استفاده موثر از نور را بالا می‌برد و باعث افزایش عملکرد می‌گردد (Rodrigues et al., 2003).
اثر کاربرد سیلیکون و همچنین پلیمرهای سوپرجاذب جاذب در افزایش عملکرد و رشد رویشی گیاه توسط سایر محققین نیزگزارش شده است (Liang, 1999; Daneshmandi & Azizi, 2009; Nabati et al., 2013 and Mobasser et al., 2008).

شاخص‌های مرتبط با رشد بنه

تعداد کل بنه برداشت شده

نتایج تجزیه واریانس اثرات سطوح مختلف شوری و کاربرد کودهای سیلیکون و سوپرجاذب بر تعداد بنه زعفران جدول ۷ نشان داد تنش شوری و کود و همچنین برهمکنش تیمارها بر تعدادکل بنه زعفران در هر سه سال آزمایش در سطح یک درصد معنی‌دار بود (برهمکنش تیمارها در سال دوم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود). بیشترین تعداد بنه در تیمار کاربرد نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط عدم تنش شوری در هر سه سال آزمایش مشاهده شد که با تیمار مصرف سیلیکون و سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری نداشت. در حالیکه عدم مصرف کود در شرایط تنش شوری کم‌ترین تعداد بنه را به خود اختصاص داده بود. تعداد بنه در شرایط عدم شوری و عدم مصرف کود با تیمار مصرف نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط تنش شوری در سال دوم و سوم اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۸).
شوری باعث کاهش تعداد بنه در گیاه زعفران گردید اما مصرف انواع سیلیکون و سوپرجاذب تا حدی مانع کاهش شدید تعداد بنه شد. کاربرد نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط شوری باعث افزایش ۴۰/۹ درصدی تعداد بنه سال دوم نسبت به سال اول و ۴۱/۷ درصدی در تعداد بنه برداشت شده سال سوم نسبت به سال دوم آزمایش گردید. همچنین ۲۸، ۳۳/۳ و ۳۱/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد به‌ترتیب در سال اول تا سوم آزمایش داشت. بنابراین می‌توان گفت مصرف توام نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایطی که تنش شوری وجود داشته باشد، با بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک، بهبود تخلل و افزایش تهویه و دردسترس قرار دادن بهتر عناصر غذایی ضروری مورد نیازگیاه در محیط ریزوسفر (Wu et al., 2008) شرایط مناسبی را برای تولید بنه‌های دختری بیشتر مهیا نموده است و باعث افزایش تعداد بنه و به‌عبارت بهتر مانع کاهش تعداد بنه در گیاه زعفران می‌گردد.

وزن متوسط بنه دختری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس جدول ۷ نشان داد اثر تنش شوری و کودهای سیلیکون و بلورآب در هر سه سال آزمایش بر متوسط وزن بنه دختری زعفران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش تیمارهای این آزمایش نیز در هر سه سال متوالی بر متوسط وزن بنه دختری زعفران در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مصرف کودهای آزمایش شامل انواع سیلیکون و سوپرجاذب در هر دو وضعیت تنش و عدم تنش شوری باعث افزایش متوسط وزن بنه دختری زعفران نسبت به شاهد در هر سه سال آزمایش شده است (جدول ۸). مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرجاذب باعث شد تا بیشترین متوسط وزن بنه دختری در شرایط شوری و عدم شوری در هر سه سال آزمایش به‌دست آید و شاهد کم‌ترین مقدار صفت مذکور را به خود اختصاص دهد. بیشترین متوسط وزن بنه دختری به مقدار ۲۵/۱۴ گرم مربوط به تیمار نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط عدم شوری در سال سوم و کم‌ترین مقدار متوسط وزن بنه

دختری ۹/۴۱ گرم در تیمار شاهد و شوری در سال اول آزمایش بود.

جدول ۶. مقایسه میانگین سطوح مختلف شوری و کود سیلیکون و سوپرجاذب بر عملکرد برگ زعفران

Table 6. Means comparison of effects of Salinity, Silicon and Super absorbent on yield of Saffron leaves

کیفیت آب ابیاری Irrigation water quality	کود Fertilizer	تعداد برگ Number of leaf			متوسط طول برگ Medium Leaf length(cm)			متوسط پهنای برگ medium Leaf width(mm)			عملکرد برگ yield of leaf (kg/ha)		
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year
عدم شوری No Salinity	شاهدControl	11.07d	19.70e	27.78d	29.91e	36.24d	39.95d	2.74de	2.77d	3.16c	2325.47e	2937.17e	3799.37d
	سیلیکون silicon	11.40cd	22.32d	29.53bc	31.11d	37.43c	41.15bc	2.86d	2.87d	3.27bc	2422.70d	3077.03d	4174.73bc
	نانو سیلیکون nano silicon	11.76c	23.62bc	31.25ab	32.07c	38.40b	42.12b	2.97bcd	3.23c	3.38b	2513.03c	3176.40c	4410.67ab
	بلورآب آ Bolourab A	12.41b	22.64cd	29.37bc	33.23b	37.11c	41.08c	3.08abc	3.10c	3.23bc	2641.57b	3069.50d	4141.67bc
	سیلیکون و بلور آب silicon And Bolourab	12.87ab	24.77ab	31.94a	34.92a	41.25a	44.63a	3.19ab	3.50b	3.59a	2795.00a	3413.40b	4493.67a
	نانو سیلیکون و بلورآب nano silicon and Bolourab	13.05a	25.15a	33.22a	35.36a	41.69a	45.10a	3.25a	3.65a	3.66a	2867.80a	3508.67a	4593.67a
شوری Salinity	شاهدControl	7.26h	12.47h	19.36g	20.25j	26.58h	30.29h	1.83i	2.02g	2.23f	1533.93k	2186.10i	2628.47g
	سیلیکون silicon	8.13g	14.57g	22.08f	22.48i	28.82g	32.79fg	2.01ih	2.32f	2.42ef	1723.20j	2437.27h	2982.83f
	نانو سیلیکون nano silicon	8.77f	16.34f	22.31f	23.90h	30.22f	33.68f	2.19gh	2.57e	2.60e	1853.27i	2584.44g	3374.43e
	بلورآب Bolourab	9.07f	16.41f	21.83f	25.48g	28.64g	32.26g	2.34fg	2.55e	2.42ef	1987.73h	2404.63h	2949.13f
	سیلیکون و بلور آب silicon And Bolourab	9.95e	19.20e	25.70e	28.29f	34.63e	37.51e	2.50f	2.75d	2.87d	2144.03g	2823.37f	3754.43d
	نانو سیلیکون و بلور آب nano silicon and Bolourab	10.22e	19.47e	25.2de	28.94f	35.27e	37.80e	2.56ef	2.80d	2.93d	2235.63f	2894.77ef	3910.00dc

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column means with same letter according to Duncan test are not significantly different at 5% level of probability.

جدول ۷. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تنش شوری، سیلیکون و سوپرجاذب بر عملکرد بنه زعفران

Table 7. Analysis of variance (mean of squares) of effects of Salinity, Silicon and Super absorbent on yield of Saffron corm

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	تعداد کل بنه دختری Number of doughter corm			وزن متوسط بنه های دختری Average weight of daughter corms			عملکرد بنه yield of corm		
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year
تکرار Replication	2	234.716	283.82	750.81	2.323	0.46	9.31	108491.2	4205359.5	193520315
تنش شوری Salt stress	1	22980.53**	18554.52**	22872.52**	59.77**	121.51**	241.18**	623012416.0**	728049999.7**	3390356745**
خطای اصلی main error	2	173.07	129.71	11.79	1.212**	5.01	0.95	77644.1	2959314.7	5087218
کود Fertilizer	5	526.57**	1366.60**	1930.93**	2.597**	10.66**	10.32**	14538697.0**	42070136.2**	270177206**
تنش شوری * کود Salt stress* Fertilizer	5	31.024**	106.65*	304.70**	0.632*	0.92*	0.96*	181090.6*	2101782.4*	10393142 *
خطای فرعی Sub error	20	3.71	26.38	53.11	0.185	0.29	0.34	57537.7	560918.7	3346907
ضریب تغییرات CV (%)		1.24	2.5	2.52	3.58	3.02	2.74	1.33	1.98	2.84

* و ** و ns بترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و عدم معنی دار می باشد.

*, ** and ns are significant at the 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

عملکرد بنه

بررسی سه ساله در جدول ۷ نشان داد تنش شوری در سطح یک درصد بر میزان عملکرد بنه زعفران اثر معنی-داری داشت. تأثیر کاربرد سیلیکون و سوپرجاذب نیز بر میزان عملکرد بنه زعفران در هر سه سال آزمایش در سطح یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش تیمارها در هر سه سال زراعی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. مصرف سیلیکون و سوپرجاذب در هر دو تیمار شوری و عدم تنش شوری باعث افزایش عملکرد بنه زعفران نسبت به شاهد در هر سه سال آزمایش شده است (جدول ۸). مصرف توام نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط استفاده از آب شور باعث افزایش ۳۲/۶٪ ، ۳۰/۵٪ و ۴۸/۷٪ عملکرد بنه نسبت به شاهد در سال‌های اول تا سوم آزمایش گردید. در واقع سیلیکون و سوپرجاذب توانسته اند با افزایش مقاومت گیاه به شوری و حفظ توان تولید و رشد رویشی گیاه، باعث کاهش افت عملکرد در

شرایط شوری و به‌عبارت دیگر باعث افزایش عملکرد نسبت به شاهد در شرایط شوری گردند.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثرات تنش شوری، سیلیکون و سوپرجاذب بر عملکرد بنه زعفران

Table 8. Means comparison of effects of Salinity, Silicon and Super absorbent on yield of Saffron corm

کیفیت آب آبیاری Irrigation water quality	کود Fertilizer	تعداد کل بنه دختری Number of doughter corm (n/m2)			وزن متوسط بنه های دختری Average weight of daughter corms(g)			عملکرد بنه yield of corm (ton/ha)		
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year
عدم شوری No Salinity	شاهد Control	170.34d	213.63e	296.74c	12.47bc	18.67cd	22.55d	19.61e	39.08c	65.91d
	سیلیکون silicon	178.30c	222.13cd	311.62b	13.07ab	19.38cd	23.33cd	20.75d	42.10b	71.63c
	نانو سیلیکون nano silicon	181.34bc	229.07bc	320.63ab	13.08ab	19.72bc	23.98bc	22.26c	42.51b	75.80b
	بلورآب Bolourab	182.96abc	223.46cd	311.16b	13.97a	19.07cd	23.47cd	22.74b	41.17b	71.95c
	سیلیکون و بلور آب silicon And Bolourab	187.88ab	238.95ab	323.11ab	13.72a	20.85ab	24.72ab	23.69a	44.40a	78.79ab
	نانو سیلیکون و بلورآب nano silicon and Bolourab	190.56a	244.63a	326.40a	13.57a	21.26a	25.14a	23.96a	45.26a	81.01a
شوری Salinity	شاهد Control	114.45i	154.97h	222.51g	9.41e	13.66f	16.42h	11.77k	28.44f	43.67h
	سیلیکون silicon	123.15h	177.10g	255.64f	10.77d	15.33e	18.32fg	12.80j	32.03e	51.62g
	نانو سیلیکون nano silicon	130.00gh	177.65g	276.87e	10.37d	15.94e	18.89f	13.69i	33.25e	57.46f
	بلورآب Bolourab	133.83fg	180.44g	257.62f	10.43d	15.91e	17.35gh	14.13h	33.41e	49.46g
	سیلیکون و بلور آب silicon And Bolourab	140.20ef	202.74f	281.80de	11.72c	17.87d	20.41e	15.07g	36.33d	61.47e
	نانو سیلیکون و بلور آب nano silicon and Bolourab	146.56e	206.54ef	292.74cd	11.71c	18.19dc	20.74e	15.61f	37.10d	64.95d

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column means with same letter according to Duncan test are not significantly different at 5% level of probability.

جدول ۹. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تنش شوری، سیلیکون و سوپرجاذب بر اجزای عملکرد گل زعفران

Table 9. Analysis of variance (mean of squares) of effects of Salinity, Silicon and Super absorbent on yield components Saffron flower

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	تعداد گل Flower number			متوسط طول کلاله Average stigma length			وزن متوسط تک گل Average weight of a single flower			عملکرد گل Yield of flower			عملکرد کلاله خشک Yield of dry stigma		
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year
تکرار Replication	2	90.66	17.71	80.97	1.84	10.71	4.02	0.0003	0.0001	0.0002	1307.09	1261.22	1943.31	0.18	0.05	0.23
تنش شوری Salt stress	1	7935.5**	8252.5*	10195.9**	314.11*	250.01*	640.17**	0.06 **	0.054**	0.05 **	468008.8**	404493.9**	935601.6 **	62.09**	54.68**	125.17**
خطای اصلی main error	2	63.22	111.48	1.12	4.35	2.24	5.58	0.0003	0.0003	0.00003	2019.98	2090.05	1166.10	0.15	0. 51	0.13
کود Fertilizer	5	461.2**	578.4**	1057.9**	19.45**	24.13**	52.08**	0.005 **	0.007**	0.01 **	29019.19**	8524.01**	139597.7**	3.67**	1.45**	19.66**
تنش شوری* کود Salt stress* Fertilizer	5	67.7**	22.5*	136.6**	1.37 *	1.82**	1.71*	0.0003 ns	0.0005**	0.0004 *	1710.14*	574.59**	7557.6 **	0.22*	0.09**	1.01**
خطای فرعی Sub error	20	16.01	7.97	26.66	0.47	0.46	0.59	0.0001	0.0001	0.0001	589.33	102.88	760.17	0.07	0.01	0. 11
ضریب تغییرات cv (%)		4.4	1.94	2.53	3.74	2.82	2.8	2.24	1.93	2.14	5.2	1.57	2.8	5.11	1.55	2.9

* و ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و عدم معنی‌دار می باشد.

*, ** and ns are significant at the 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

صفات مرتبط با رشد زایشی

تعداد متوسط گل

گل‌دهی درزعفران، بیش از هر چیز متاثر از وزن بنه مادری است، لذا رشد رویشی و انتقال مواد غذایی ناشی از فتوسنتز برگ‌ها به بنه می‌تواند مهم‌ترین عامل تعیین کننده وزن بنه و عملکرد در سال بعد باشد (Latifi & Mashayekhi, 1996). نتایج تجزیه واریانس جدول ۹ نشان داد تنش شوری و کود و همچنین برهمکنش تیمارها بر تعداد گل گیاه زعفران در هر سه سال آزمایش معنی‌دار بود. به‌طوریکه اثر تنش شوری و برهمکنش تیمارها در سال اول و سوم در سطح یک درصد و در سال دوم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

جدول ۱۰ نشان داد استفاده از هر نوع کود در شرایط تنش و عدم تنش باعث افزایش تعداد متوسط گل در آزمایش گردید. بیشترین تعداد متوسط گل در تیمار کاربرد نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط عدم تنش شوری در هر سه سال آزمایش بود و عدم مصرف کود در شرایط تنش شوری کم‌ترین تعداد متوسط گل را به خود اختصاص داده بود. این آزمایش نشان داد شوری باعث کاهش تعداد متوسط گل در گیاه زعفران گردید اما مصرف انواع سیلیکون و سوپرجاذب تا حدی مانع کاهش شدید تعداد متوسط گل شد. مصرف توام نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط شوری باعث افزایش ۶/۳٪ تعدادگل نسبت به تیمار مصرف نانوسیلیکون و ۱۴/۲۳٪ نسبت به تیمار مصرف سوپرجاذب در سال سوم گردید. همچنین سبب افزایش ۶۲/۵ درصدی تعداد گل سال دوم نسبت به سال اول و ۴۴درصدی تعداد گل سال سوم نسبت به سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری با آب شور گردید. بنابراین می‌توان گفت مصرف تلفیقی نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایطی‌که تنش شوری وجود داشته باشد علاوه بر بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری و تخلل، با حفظ رطوبت و عناصر غذایی در خاک و بهبود دسترسی آن‌ها برای بنه‌ها (Khoramdel et al., 2014) در نهایت موجبات بهبود رشد بنه‌ها و افزایش شاخص‌های رشد زایشی به‌ویژه گل را به‌دنبال داشته است. اختلاف کودهای سیلیکون و نانوسیلیکون در تیمارهای مختلف و سال‌های آزمایش معنی‌دار نبود.

متوسط طول کلاله

نتایج تجزیه واریانس جدول ۹ نشان داد متوسط طول کلاله در هر سه سال آزمایش تحت تأثیر شوری و مصرف سیلیکون و سوپرجاذب قرارگرفتند، به‌طوریکه تنش در سال‌های اول و دوم در سطح پنج درصد و در سال سوم در سطح یک درصد بر متوسط طول کلاله معنی‌دار بود. کود نیز در هر سه سال در سطح یک درصد بر صفت مذکور تأثیر معنی‌داری داشت. برهمکنش تیمارها در سال‌های اول و سوم در سطح پنج درصد و در سال دوم در سطح یک درصد معنی‌دار بود. آبیاری با آب شور باعث کاهش معنی‌دار متوسط طول کلاله زعفران گردید که این کاهش در هر سه سال آزمایش مشاهده شد (جدول ۱۰). شوری با اعمال محدودیت در دسترسی آب برای گیاه و همچنین ایجاد مسمومیت باعث کاهش رشد گیاه می‌شود و به‌دنبال آن رشد زایشی گیاه نیز کاهش می‌یابد. این کاهش معمولا در اکثر اندام‌های گیاه دیده شده و باعث می‌شود گیاهان تحت تنش نسبت به شرایط عادی جثه کوچک تری داشته باشند (Sabet Teimouri al., 2010; Torbaghan & Ahmadi, 2011).

نتایج نشان داد مصرف کودهای سیلیکون و سوپرجاذب باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری در زعفران شده است به‌طوریکه با مصرف کودهای مذکور اختلاف تیمارهای شاهد و عدم شوری با تیمارهای مصرف نانوسیلیکون و سوپرجاذب از نظر متوسط طول کلاله معنی‌دار نمی‌باشد

وزن متوسط تک گل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس جدول ۹ نشان داد اثر تنش شوری و کودهای سیلیکون و سوپرجاذب در هر سه سال آزمایش بر وزن متوسط تک گل زعفران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش تیمارهای این آزمایش نیز در هر سه سال متوالی بر صفت مذکور معنی-دار بود. طبق جدول۱۰ مصرف کودهای آزمایش شامل انواع سیلیکون و سوپرجاذب در هر دو وضعیت تنش و عدم تنش شوری باعث افزایش وزن متوسط تک گل زعفران نسبت به شاهد در هر سه سال آزمایش گردید. مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرجاذب باعث شد تا بیشترین وزن متوسط تک گل در شرایط شوری و عدم شوری در هر سه سال آزمایش به‌دست آید و شاهد کمترین مقدار صفات مذکور را به خود اختصاص دهد، از

آنجایی‌که عملکرد برگ و عملکرد بنه نیز در تیمارهای مذکور افزایش معنی‌داری داشته است انتظار می‌رود بنه-های درشت تر و رشد رویشی بیشتر باعث افزایش وزن متوسط گل گردد. در حقیقت شوری باعث کاهش تعداد بنه، عملکرد برگ و عملکرد بنه در گیاه زعفران گردید که این کاهش صفات رویشی باعث کاهش صفات زایشی از جمله وزن گل در گیاه زعفران گردید. این در حالی است که که مصرف انواع سیلیکون و سوپرجاذب در هر سه سال توانسته است این کاهش رشد و عملکرد را تعدیل نموده و باعث افزایش آن نسبت به شاهد گردد.

عملکرد کلاله و گل

تجزیه واریانس جدول ۹ نشان داد تنش شوری در سطح یک درصد بر میزان عملکرد کلاله و عملکرد گل زعفران اثر معنی‌داری داشت. تأثیر کاربرد سیلیکون و سوپرجاذب نیز بر میزان عملکرد کلاله و گل زعفران در هر سه سال آزمایش در سطح یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش تیمارها در سال اول زراعی در سطح پنج درصد و در سال‌های دوم و سوم در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مصرف سیلیکون و سوپرجاذب در هر دو تیمار شوری و عدم تنش شوری باعث افزایش عملکرد کلاله و عملکرد گل زعفران نسبت به شاهد در هر سه سال آزمایش شده است (جدول۱۰). مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرجاذب باعث شد تا بیشترین عملکرد گل و کلاله در شرایط شوری و عدم شوری در هر سه سال آزمایش بدست آید و تیمار شاهد کم‌ترین مقدار عملکرد را به خود اختصاص دهد. با توجه به نتایج ارائه شده در این تحقیق در خصوص افزایش تعداد متوسط تک گل و همچنین عملکرد برگ و عملکرد بنه مشاهده می‌گردد که این افزایش در اثر مصرف کودهای نانوسیلیکون و سوپرجاذب بیشتر از سایر تیمارها می‌باشد و باعث افزایش عملکرد کلاله و عملکرد گل زعفران گردیده است. مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرجاذب در شرایط شوری باعث افزایش ۴۶/۸٪ و ۵۴/۳٪ به ترتیب در عملکرد گل و کلاله زعفران سال دوم نسبت به سال اول و همچنین افزایش ۶۰/۱٪ و ۵۷/۸٪ عملکرد گل و کلاله سال سوم نسبت به سال دوم شد. کم‌ترین میزان عملکرد کلاله در سال اول آزمایش(۳/۱۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط شوری و عدم مصرف کود و بیشترین میزان عملکرد کلاله (۱۵/۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار مصرف نانوسیلیکون و سوپرجاذب درشرایط عدم شوری در سال سوم آزمایش بدست آمد. مصرف توام نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط شوری در سال سوم آزمایش باعث افزایش عملکرد کلاله خشک به میزان۱۲/۱ کیلوگرم در هکتار گردید که نسبت به تیمار شاهد و عدم شوری در همان سال۵/۶٪ افزایش داشت. سایر محققین گزارش نمودند که با افزایش شوری عملکرد و اجزای عملکرد گل کاهش می-یابد (Rivandi et al.,2020).

استفاده از پلیمرسوپرجاذب می‌تواند از طریق افزایش میزان فراهمی رطوبت تأثیر قابل توجهی بر رشد و عملکرد گل وکلاله زعفران داشته باشد (Falahi et al., 2014). همچنین اثر کاربرد سیلیکون در افزایش رشد و عملکرد گیاه توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Liang et al., 2003; Gottardi et al., 2012; Ahmad et al., 1992).

ترکیب شیمیایی کلاله

ارزش زعفران (کلاله خشک) به‌علت خواص کیفی آن و وجود سه متابولیت ثانویه اصلی کروسین، پیکروکروسین، سافرانال و مشتقات آن‌ها می‌باشد (Moraga et al., 2009). میزان مواد موثره موجود در گیاهان دارویی به شرایط آب و هوایی، روش‌های زراعی، مدیریت آبیاری و همچنین ترکیبات آلی کودی بستگی دارد بنابراین بهبود عملکرد کمی و کیفی می‌تواند توسط هر یک از این عوامل حاصل گردد (Kuntal et al., 2007). طبق تجزیه واریانس جدول ۱۱میزان کروسین در سال اول تحت تأثیر تیمار شوری قرار نگرفت، اما اثر معنی‌داری در سال دوم در سطح پنج درصد و در سال سوم در سطح یک درصد داشت. کودهای مصرفی نیز در سال اول و دوم در سطح یک درصد و در سال سوم در سطح پنج درصد اثر معنی-داری بر میزان کروسین زعفران داشت. این در حالیست که برهمکنش تیمارها بر میزان کروسین در هر سه سال آزمایش معنی‌دار نبود. اثر تنش شوری بر میزان سافرانال در هر سه سال در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر کود در سال‌های اول و دوم در سطح یک درصد بر میزان سافرانال معنی‌دار بود اما صفت مذکور در سال سوم تحت تأثیر کود قرار نگرفت. برهمکنش تیمارها در سال اول در سطح پنج درصد بر میزان سافرانال معنی‌دار بود اما در سال‌های دوم و سوم تأثیر معنی‌داری نداشت. اثر شوری و کود بر میزان پیکروکروسین کلاله های زعفران در هر

سه سال در سطح یک درصد معنی‌دار بود (البته اثر شوری در سال سوم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود). برهمکنش تیمارها در سال‌های اول و سوم بر میزان پیکروکروسین معنی‌دار نبود در حالی‌که در سال دوم در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری بر میزان پیکروکروسین داشت.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری، سیلیکون و سوپرجاذب بر عملکرد گل زعفران

Table 10. Means comparison of effects of Salinity, Silicon and Super absorbent on yield of Saffron flower

کیفیت آب آبیاری Irrigation water quality	کود دهی Fertilizer	تعداد گل Flower number (n/m2)			متوسط طول کلاله Average stigma length (mm)			وزن متوسط تک گل Average weight of a single flower (g)			عملکرد گل Yield of flower (kg/ha)			عملکرد کلاله خشک Yield of dry stigma (kg/ha)		
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year
عدم شوری No Salinity	شاهد Control	92.25c	148.79c	207.29c	18.41c	24.47c	27.98c	0.51cd	0.47de	0.48gh	469.74d	678.64d	988.10fg	5.39d	7.93d	11.46f
	سیلیکون silicon	101.46b	159.34b	217.81b	20.46b	26.21b	31.35c	0.52bc	0.49cd	0.50de	530.96c	751.86bc	1095.02d	6.06c	8.80bc	12.74d
	نانو سیلیکون nano silicon	102.24b	163.41ab	224.56ab	20.61b	27.17ab	32.92bc	0.54b	0.49c	0.52d	549.48c	777.93b	1156.37c	6.29c	9.13b	13.47c
	بلورآب A Bolourab A	113.32a	156.36b	218.60b	22.33a	26.07b	29.53d	0.54b	0.53b	0.54c	616.76b	734.70c	1066.52de	7.07b	8.56c	12.42de
	سیلیکون و بلورآب silicon And Bolourab	111.20a	169.78a	227.82a	23.03a	28.18a	34.16ab	0.59a	0.55a	0.57b	650.73ab	862.82a	1294.10b	7.43a b	10.14a	15.09b
	نانو سیلیکون و بلورآب nano silicon and Bolourab	114.03a	170.60a	231.06a	23.28a	28.37a	34.73a	0.59a	0.57a	0.59a	670.21a	885.98a	1352.67a	7.65a	10.43a	15.80a
شوری Salinity	شاهد Control	65.45d	116.43f	157.39g	12.93e	17.88f	19.06h	0.42g	0.38h	0.39j	277.73f	450.53h	534.80j	3.17g	5.27h	6.21i
	سیلیکون silicon	70.55d	123.29ef	181.27f	14.52d	20.59e	21.43g	0.45f	0.42g	0.44i	314.77ef	517.76fg	801.21i	3.59f g	6.08fg	9.34h
	نانو سیلیکون nano silicon	70.98d	132.83d	196.15e	15.51d	22.10d	23.77f	0.47e	0.45f	0.46gh	334.99e	537.87f	886.50h	3.82f	6.35f	10.34g
	بلورآب Bolourab	71.75d	125.61e	182.48f	14.55d	19.78e	21.54g	0.45f	0.43fg	0.45hi	325.16ef	504.82g	809.01i	3.72f	5.91g	9.43h
	سیلیکون و بلورآب silicon And Bolourab	88.57c	143.73c	199.44de	17.41c	24.23c	26.96e	0.48e	0.46e	0.48fg	428.13d	626.82e	955.30g	4.86e	7.45e	11.19f
	نانو سیلیکون و بلورآب nano silicon and Bolourab	89.07c	144.70c	208.44cd	17.76c	24.28c	27.31e	0.49de	0.47de	0.50ef	438.88d	644.34e	1031.44ef	4.97d	7.67de	12.10e

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۱۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تنش شوری و کاربرد سیلیکون و سوپرجاذب بر عملکرد کیفی زعفران

Table 11. Analysis of variance (mean of squares) of effects of Salinity, Silicon and Super absorbent on qualitative yield of Saffron

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a			کلروفیل b Chlorophyll b			کروسین Crocin			سافرانال Safranal			پیکروکروسین Picrocrocin		
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year
تکرار Replication	2	0.025	0.0240	0.0054	0.022	0.014	0.017	1.06	1.25	0.7	0.08	0.028	0.04	0.07	0.02	0.92
تنش شوری Salt stress	1	0.703*	0.672*	0.871 *	0.241**	0.21*	0.405**	14.2^{ns}	17.11*	46.31**	3.13 *	4.15 *	2.11*	20.46**	18.7 **	13.88 *
خطای اصلی main error	2	0.078	0.0537	0.011	0.0013	0.004	0.001	3.48	4.04	0.11	0.12	0.09	0.03	0.11	0.07	0.43
کود Fertilizer	5	0.034**	0.0557**	0.0573 **	0.0079**	0.009**	0.014**	1.34*	1.22**	0.88*	0.03**	0.08 **	0.24 ^{ns}	0.97**	0.86 **	1.06 **
تنش شوری* کود Salt stress* Fertilizer	5	0.0034^{ns}	0.0041**	0.005 **	0.0002^{ns}	0.0006**	0.0005**	0.22^{ns}	0.05^{ns}	0.53 ^{ns}	0.02*	0.001^{ns}	0.07 ^{ns}	0.13^{ns}	0.07 *	0.05 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	20	0.0019	0.0008	0.0013	0.00016	0.0001	0.0001	0.12	0.06	0.22	0.007	0.002	0.1	0.062	0.03	0.14
ضریب تغییرات cv (%)		3.19	2.01	2.53	2.59	2.52	2.25	3.17	2.17	4.15	4.38	2.02	13.29	4.84	3.12	7.2

* و ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و عدم معنی‌دار می باشد.

*, ** and ns are significant at the 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively

جدول ۱۲ نشان داد ترکیبات سافرانال، کروسین و پیکروکروسین زعفران در اثر شوری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. تمامی ترکیبات شیمیایی مورد اندازه-گیری در این آزمایش در اثر مصرف کودهای مصرفی در شرایط شوری و همچنین شرایط عدم تنش شوری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند بلکه اختلافات موجود ناشی از اعمال تنش شوری بود. به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان داد تغییرات در عملکرد کمی گیاه باعث تغییرات جزئی در میزان ترکیبات شیمیایی اصلی زعفران می‌شود. با مشاهده تأثیر نوع تیمارها روی عملکرد کمی گل و تولید مواد موثره زعفران می‌توان نتیجه گرفت که اگر عامل یا عواملی منجر به ارتقاء عمکرد کمی یک یا چند صفت شود، ممکن است بر افزایش عملکرد کیفی سایر مواد مانند متابولیت‌های ثانویه هم موثر باشد. البته این نتایج نیاز به مطالعات جامع و دقیق‌تری جهت درک بیشتر روابط موجود بین خصوصیات کمی و کیفی کلاله مادگی گیاه زعفران دارد

کلروفیل برگ

محتوای کلروفیل و فتوسنتز برگ به‌عنوان یکی از پارامترهای فیزیولوژیک تحمل نمک در گیاهان محسوب می‌شود، خشکی فیزیولوژیکی حاصل از تنش شوری ممکن است موجب محدودیت در جذب آب شود. از سوی دیگر افزایش جذب نمک توسط گیاه، سبب اختلال در کارکرد سلولی و آسیب رساندن به فرآیندهای فیزیولوژیکی از قبیل فتوسنتز و تنفس می‌شود (Leopold, 1984). مشخص شده است که تخریب کلروفیل نتیجه پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تشکیل هیدرو پراکسید اسیدهای چرب موجود در غشا می‌باشد(Tale Ahmad & Hadad, 2008). جدول۱۱ نشان داد میزان کلروفیل‌های *a* و *b* برگ در هر سه سال آزمایش تحت تأثیر شوری و مصرف سیلیکون و سوپرجاذب قرار گرفتند و برهمکنش تیمارها نیز در دو سال آخر آزمایش در سطح یک درصد معنی‌دار بود در حالی‌که میزان کلروفیل‌های برگ در سال اول تحت تأثیر برهمکنش تیمارها قرار نگرفت. کمبود آب مناسب باعث کاهش رشد و نیاز به سنتز مواد بیشتر و جذب نور خورشید دارد. لذا گیاه در شرایط تنش از تولید کلروفیل خودداری کرده و حتی در صورت وجود کلروفیل‌های اضافی، نسبت به تخریب آن‌ها اقدام نموده و در نتیجه برگ‌ها نیز رنگ روشن‌تری به خود می‌گیرند. در این آزمایش مصرف کودهای سیلیکون و سوپرجاذب باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری در زعفران شده است. به‌طوریکه با مصرف کودهای مذکور اختلاف تیمارهای شاهد و عدم اعمال تنش شوری با تیمارهایی که در آن‌ها نانوسیلیکون و سوپرجاذب استفاده شده است از نظر میزان سنتز مواد و تولید کلروفیل در برگ معنی‌دار نبود (جدول۱۲). سیلیکون استحکام برگ‌ها را افزایش و پیری برگ را به تاخیر انداخت و میزان کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو و سرعت فتوسنتز را افزایش داد (Liang et al., 2007). یکی از دلایل اثر مثبت سیلیکون بر میزان کلروفیل، جلوگیری از آسیب فراساختار کلروپلاست در شرایط تنش شوری است (Liang et al., 2006).

جدول ۱۲. مقایسه میانگین اثرات تنش شوری، سیلیکون و سوپرجاذب بر عملکردکیفی زعفران

Table 12. Means comparison of effects of salinity, Silicon and Super absorbent on qualitative yield of Saffron

کیفیت آب آبیاری Irrigation water quality	کود دهی Fertilizer	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g)			کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g)			کروسین Crocin (%)			سافرانال Safranal (%)			پیکروکروسین Picrocrocin (%)		
		سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال سوم Third year
عدم شوری No Salinity	شاهد Control	1.41bcd	1.43cde	1.47c	0.50bc	0.48bc	0.52d	11.16abcd	11.21abcd	10.48e	2.06b	2.21c	2.27d	5.09c	5.22d	5.29d
	سیلیکون silicon	1.42bcd	1.49bcd	1.51bc	0.52ab	0.51ab	0.54c	11.80abc	11.60abc	10.81bc	2.19ab	2.32bc	2.32cd	5.60b	5.67c	5.65b
	نانو سیلیکون nano silicon	1.47bc	1.54abc	1.57b	0.55ab	0.53ab	0.58b	11.00bcd	11.72ab	10.83b	2.26ab	2.41ab	2.43bc	5.72b	5.89bc	5.92b
	بلورآب آ Bolourab A	1.52ab	1.53abc	1.56b	0.54ab	0.52ab	0.56bc	11.74abc	11.83ab	10.53de	2.25ab	2.39ab	2.38cd	6.36a	6.01b	5.74b
	سیلیکون و بلور آب silicon And Bolourab	1.57ab	1.59ab	1.66a	0.57ab	0.55ab	0.60a	11.86ab	12.05ab	11.47a	2.36a	2.50ab	2.52ab	6.32a	6.41a	6.47a
	نانو سیلیکون و بلورآب nano silicon and Bolourab	1.61a	1.66a	1.70a	0.59a	0.57a	0.62a	12.30a	12.37a	11.53a	2.39a	2.54a	2.57a	6.36a	6.49a	6.52a
شوری Salinity	شاهد Control	1.09f	1.05h	1.06f	0.32e	0.30f	0.27i	9.42e	9.51e	9.28h	1.70c	1.52e	2.57h	3.82e	3.95g	4.02e
	سیلیکون silicon	1.19ef	1.23g	1.25e	0.36de	0.34ef	0.32h	10.28de	10.34de	9.93f	1.61c	1.70d	1.72fg	4.44d	4.42f	4.55d
	نانو سیلیکون nano silicon	1.26def	1.32efg	1.34d	0.42d	0.37def	0.36g	10.31de	10.40cde	10.02f	1.62c	1.73d	1.73fg	4.42d	4.59ef	4.62d
	بلورآب Bolourab	1.19f	1.27fg	1.26e	0.39de	0.38de	0.35gh	10.59cde	10.41cde	9.78g	1.59c	1.72d	1.65gh	4.57d	4.62ef	4.49d
	سیلیکون و بلور آب silicon And Bolourab	1.28de	1.34efg	1.33d	0.38de	0.43cd	0.41f	10.86bcd	10.90bcd	10.62de	1.70c	1.79d	1.85ef	4.50d	4.69ef	4.76d
	نانو سیلیکون و بلور آ nano silicon and Bolourab	1.32cde	1.38ef	1.38d	0.44cd	0.42cd	0.43e	10.86bcd	10.95bcd	10.67cd	1.74c	1.84d	1.88e	4.66cd	4.77e	4.78d

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column means with same letter according to Duncan test are not significantly different at 5% level of probability.

نتیجه‌گیری

زعفران نیز مانند سایر گیاهان جهت استفاده بهینه از پتانسیل محیط رشد، رسیدن به عملکرد بالا و افزایش طول دوره بهره برداری مزارع، نیاز به اعمال مدیریت مناسب زراعی و مطابق با فناوری‌های جدید دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب ریز ترکیب می‌تواند به‌تنهایی یا به‌طور مطلوب‌تر به‌صورت تلفیقی با سیلیکون و نانوسیلیکون از طریق بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک و با به تاخیر انداختن تنش رطوبتی ناشی از تنش شوری در گیاه و فراهم کردن یک حالت بافری، از طریق افزایش راندمان آبیاری موجب کاهش نیاز آبی گیاه گردند. این موضوع در نواحی خشک و نیمه خشک با شوری آب بالا و محدودیت کیفیت منابع آبی مانند مناطق کاشت زعفران در ایران، از اهمیت زیادی برخوردار است در حقیقت کاربرد تلفیقی پلیمرهای سوپرجاذب ریز ترکیب همراه با نانوسیلیکون با بهبود تهویه، افزایش تخلخل، جلوگیری از آب شویی و حفظ و تأمین عناصر غذایی ضروری و مورد نیاز گیاه، و کاهش ورود نمک، بطور مستقیم و غیرمستقیم با افزایش مقاومت گیاه به شوری باعث شرایط مطلوب‌تری برای رشد و نمو گیاه شده اند. که این امر افزایش رشد رویشی و زایشی و عملکرد کمی و کیفی گیاه بویژه در شرایط شوری را به‌دنبال داشت.

منابع

Abedi Kupai, J., & Mesforoush, M. (2009). Evaluation of the application of superabsorbent polymer on yield, water use efficiency and storage of nutrients igreenhousecucumber. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 3(2): 100-111.

Abedini, A., & Abedikopayi, J. (2017). Effect of application of three types of polymer superabsorbents on production performance and growth indices of saffron plant (Crocus sativus L.) and water efficiency. *The Second National Congress of Irrigation and Drainage of Iran*. [In Persian].

Ahmad, R., Zaheer, S. H., & Ismail, S. (1992). Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Science 85: 43–50.Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23:112-121

Aseme, M. & Poorakbar, L. (2016). Effect of silicate nanoparticles on some growth factors in saffron plant under salinity stress. 19th National Congress and 7th *International Biology Congress of Iran.Tabriz.* University of Tabriz and Iranian Biological Association. [In Persian].

Azizi-Zehan, A. A., Kamgar-Haghighi, A. A., & Sepaskhah, A. R. (2008). Crop and pan coefficients for saffron in a semi-arid region of Iran. *Journal of Arid Environment*. 72: 270-278

Daneshmandi, M. Sh., & Azizi, M. (2009). Effect of Water Absorbent Polymer under Drought Stress Conditions on Physicomorphological Properties, Product Yield and Accumulation of Basil Compatibility Metabolites (*Ocimum basilicum* L.). *Sixth Iranian Congress of Horticultural Sciences, University of Guilan*. [In Persian].

Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 91:11-17.

Falahi, H.R., Azam, F., & Salari, S. (2014). Study of the effect of different levels of superabsorbent on the growth of doughter corm of saffron (*Crocus sativus* L). *The third national conference on the latest scientific and research achievements of saffron.* Torbat Heydariyeh University. Page 17. [In Persian].

Gholami Touranposhti, M., Maghsoudi Moud, A. A. & Manouchehri Kalantari, Kh. (2005). Salt stress effect on the photosynthetic capacity of three Iranian saffron (Crocus sativus L.) clones. *The 4th National Biotechnology Congress of Kerman.* Iran. [In Persian].

Ghoreishi, S .Gh., Khashei, A., & Beyki, A. (2019). Effects of salt stress and Nitrogen application forms on yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) as a medicinal plant yield under Birjand climatic conditions. *Journal of Saffron Research (semi- annual)*. 7(2): 343-353. [In Persian].

Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R., Romheld, V., Mimmo, T., Scampicchio, M., Dalla Costa, L., & Cesco, S. (2012). Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* L.) Laterr plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 56: 14-23.

Kafi, M., Rashed Mohasel, M.H., Koocheki, A., & Mollafilabi, A. (2002). Saffron, Production and Processing. Zaban and Adab Publications, Iran. 276 p. [In Persian].

Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafori, A., & Esmaielpour, B. (2014). Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts

on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research*. 1(2):120-135. [In Persian].

Kuntal, D., Raman, D., Thippenahalli, N. S., & Sekeroglu, N. (2007). Influence of bio-fertilizers on the biomass yield and nutrient content in Stevia rebaudiana. *Journal of Medicinal Plants Research* 1(1): 5-8.

Latifi, N., & Mashayekhi, K. (1996). Examining the effect of corm weight on saffron flowering. *Abstracts of the 4th Congress on Crop Science*, 4-7 September, Isfahan, Iran. [In Persian].

Leopold, A.C., & Willing, R.P. (1984). Evidence for toxicity effects of salts on membranes. In: Staples. R.C, and G.H. Toenniessen (Eds). Salinity Tolerance in Plants. *Wiley*. New York. 67–76.

Liang, Y.C. (1999). Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barely under salt stress. *Plant and Soil*. 209: 217-228.

Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.G., & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon mediated alleviation of a biotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*. 147: 422-428.

Liang, Y.C., Zhang, W. H., Chen, Q., Liu, Y.L., & Ding, R.X. (2006). Effect of exogenous silicon (Si) on H+-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 57: 212-219.

Liang, Y.C., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., & Ding, R. (2003). Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley *(Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*. 160: 1157-1164.

Lozano, P., Castellar, M., Simancas, M., & Iborra, L. (1999). Quantitative high-performance liquid chromatographic method to analyze commercial Saffron (*Crocus sativus* L.) products. *Journal of Chromatogramphy*. A, 830: 477-483.

Ma, J. F. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. Soil Sciences Plant Nutrition. 50: 11-18.Maas, E. V. and Hoffman, G .J. 1977. Crop Salt Tolerance-Current Assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. 103: 115-134.

Mikkelsen, R. L. (1994). Using hydrophilic polymers to control nutrient release. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 38: 53-59.

Mobasser, H.R., Ghanbari mellidareh, A., & Sadeghi, A.H. (2008). Effect of Silicon on the amount of nitrogen and agronomic traits in rice (*Oryza sativa* L.). *Silicon in Agriculture Conference*. South Africa. 26-31 October. [In Persian].

Moraga, A.R., Rambla, J. L., Ahrazem, O., Granell, A., & Gomez- Gomez, L. (2009). Metabolite and target transcript analyses during *Crocus sativus* L. stigma development. *Phytochemistry*. 70: 1009-1016.

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanism of salinity tolerance. *The Annual Review of Plant Biology.* 59:651-681

Nabati, J., Kafi, M., Masoumi, A., & Zare Mehrjerdi, M. (2013). Effect of salinity and silicon application on photosynthetic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) *International Journal of Agricultural Sciences*.3: 483-492.

Nykanen, V. P. S., Nykanen, A., Puska, M. A., & Goulart-Silva, G. (2011). Dual-reponsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate substituted polyphosphazene. *Soft Condensed Matter*. 7: 4414- 4424.

Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., Ashraf, M., &Foolad, M. R. (2012). Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. *Journal of Advanced Studies in Biology*. 11: 501-520.

Qureshi, A.S., Qadir, M., Heydari, N., Turral, H., & Javadi, A. (2007). A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. Colombo, Srilanka: *International water management Institute*, 30p. (IWMI Working paper 125).

Ramezani, A. (2018). Study of the effect of irrigation control, organic fertilizer and microabsorbent super-adsorbent polymers on some growth and developmental characteristics, production of active ingredients and daffodils of saffron. Ph.D. Thesis.

Rivandi, M., Ghasemnezhad, A., Hemmati, Kh., Ghorbani,Kh., & Abhari, A. (2020). Effects of pH, Bicarbonate and salinity of irrigation water on yield and flowers yield components of Saffron. *Journal of Saffron Research*.8 (2): 241-253. [In Persian].

Rodrigues, F. A., Benhamou, N., Datnoff, L. E., Jones, J. B., & Belanger, R. R. (2003). Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. *Phytopathology*. 93: 535-546.

Sabet Teimouri, M., Avarseji, Z., & Kafi, M. (2010). Effect of different salinity and potassium levels on saffron (*Crocus sativus* L.) morphophysiological characteristics. World Food System - *A Contribution from Europe*. Zurich, Germany.

Shabahakg, J., Khoramdel, S., Ghafori, A., & Gheshm, R. (2013). Effect of Crop Plant Residue Management on Weed Population Density and Agronomic Characteristics of

Saffron Yield (*Crocus sativus* L.). *Saffron Research.* 1(1):57-72. [In Persian].

Sonobe, K., Hattorri, T., Tsuji, W., Eneji, A., E. Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K., & Inanaga, S. (2010). Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition*. 34: 71-82.

Taleahmad, S., & Hadad, R. (2008). The effect of silicon on drought tolerance in wheat. *Agricultural research, Water, soil and plants in agriculture*. 8(1):159-170. [In Persian].

Torbaghan, M. E., & Ahmadi, M. M. (2011). The effect of salt stress on flower yield and growth parameters of saffron (*Crocussativus* L.) in greenhouse condition. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*. 1(10): 421-427.

Wu, L., Liu, M. Z., & Liang, R. (2008). Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. *Bioresource Technology*. 99: 547-554.

COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Journal of Saffron Research (semi-annual)
Vol.10, No.1, Spring & Summer, 2022
p. 64-83
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2021.4461.1163
University of Birjand

Original Article:

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.)

Somayeh Khoshpeyk[1], Reza Sadrabadi Haghighi[2*], Ahmad Ahmadian[3]
1- PhD Student of Agronomy, Department of Agricultural Science, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.
2- Professor, Department of Agricultural Science, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Plant Production and Researcher of Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.
** Corresponding Author Email: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir*

Received 06 September 2021; Accepted 16 October 2021

Abstract
Our country due to relying on Faryab agriculture, extremely exposed to salinization of land and water resources. Salinity generally has a significant effect on all morphological, physiological, biochemical, anatomical traits of most plants and It has a negative effect on growth, survival and plant production. In order to study the effect of irrigation water quality and application of silicon, nanosilicon and superabsorbent polymer on the yield and amount of active ingredients of Saffron (*Crocus sativus* L.). Experiment as split plots in a randomized complete block design, in three replications and three cropping years was done in a farm located in Ziauddin section of Torbat Heydariyeh city. The main factor of irrigation water quality in two levels (Includes water with electrical conductivity of 2 dS/m as a control and water with an electrical conductivity of 6 dS/m) and sub-factor of application of silicon and adsorbent polymer in six levels, (Includes non-consumption as a control, Silicon, nanosilicon each with a concentration of 1.5 per thousand, Bolourab A (0.4 g/kg dry weight of soil). Silicon with Bolourab A and Nano Silicon with Bolourab A.). The study included morphological characteristics such as number of leaves, corm, flowers and stigmas per hectare, leaf yield, corm, flowers and stigmas per hectare, Leaf length and width, average weight of corm and flowers, stigma length and Physiological characteristics included chlorophyll, safranal, crocin and picrocrocin. The results showed that salinity reduced and consumed silicon and super absorbent in both salinity treatments and lack of salinity stress significantly increases important traits of reproductive growth, Includes, Flower number, average stigma length, average weight of a single, yield of flower, yield of stigma and the amount of active ingredients in the stigma (Crocin, Safranal, Picrocrocin) it was tested every 3 years. The effect of treatments on vegetative growth traits of saffron leaves, includes leaf number, leaf yield, chlorophyll A and B content, also on the characteristics of produced female corms including total number of female corms, average corm weight, dry matter and yield of corm. The use of nanosilicon together with superabsorbent in saline conditions increases the flower and stigma yield of saffron in the second year by 46.8% and 54.3%, respectively, compared to the first year, and also increases the flower and stigma yield by 60.1% and 57.8% in the third year compared to the second year. The experimental results showed that the combined application of nano silicon and super absorbent increased the quantitative and qualitative yield of saffron in salinity conditions.

Keywords: Bolourab A, Saffron, Salinity stress.