



مقاله پژوهشی

بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک و عملکردی زعفران (*Crocus sativus* L.) به تنش شوری

تحت تأثیر کاربرد سیلیکون، نانوسیلیکون و پلیمر سوپر جاذب

سمیه خوش پیک^۱، رضا صدرآبادی حقیقی^{۲*} و احمد احمدیان^۳

تاریخ دریافت: ۶ تیر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۵ آبان ۱۴۰۰

خوش پیک، س.، صدرآبادی حقیقی، ر. و احمدیان، ا. ۱۴۰۰. بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک و عملکردی زعفران (*Crocus sativus* L.) به تنش شوری تحت تأثیر کاربرد سیلیکون، نانوسیلیکون و پلیمر سوپر جاذب. زراعت و فناوری زعفران، ۹(۴): ۳۷۵-۳۹۳.

چکیده

به منظور مطالعه پاسخ‌های فیزیولوژیک زعفران (*Crocus sativus* L.) به تنش شوری تحت تأثیر کاربرد سیلیکون، نانوسیلیکون و پلیمر سوپر جاذب آزمایشی به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و دو سال زراعی (۱۳۹۶-۹۸) در مزرعه‌ای واقع در بخش ضیاء الدین شهرستان تربت حیدریه انجام شد. فاکتور اصلی کیفیت آب آبیاری در دو سطح (شامل آب با هدایت الکتریکی ۱/۹۸ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان شاهد و آب با هدایت الکتریکی ۶ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور فرعی کاربرد سیلیکون و سوپر جاذب در شش سطح (شامل عدم مصرف به عنوان شاهد، سیلیکون، نانوسیلیکون هر کدام با غلظت ۱/۵ در هزار، سوپر جاذب ۰/۴ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک خاک)، سیلیکون با سوپر جاذب و نانوسیلیکون با سوپر جاذب) بود. نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش و مصرف سیلیکون و سوپر جاذب در هر دو تیمار شوری و عدم تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار صفات مهم زایشی شامل تعداد گل، وزن متوسط تک گل، متوسط طول کلاله و عملکرد گل و کلاله زعفران در هر دو سال آزمایش شد. اثر تیمارها روی صفات رویشی برگ زعفران شامل تعداد برگ، متوسط طول برگ، عملکرد برگ، میزان کلروفیل a و b و همچنین روی صفات بانه‌های دختری تولید شده شامل تعداد کل بانه دختری، متوسط وزن بانه و عملکرد بانه دختری در هر دو سال آزمایش معنی‌دار بود. شوری میزان سدیم برگ و بانه را افزایش و پتاسیم این اندام‌ها را کاهش داد. در حالیکه مصرف سیلیکون و سوپر جاذب به دلیل حفظ پایداری غشاهای سلولی، به صورت معنی‌داری محتوای سدیم برگ و بانه را در شرایط تنش کاهش و میزان پتاسیم را افزایش داد. مصرف توأم نانوسیلیکون با سوپر جاذب باعث کاهش ۲۷/۵ و ۲۳/۷ درصدی میزان سدیم و همچنین افزایش ۲۲/۱ و ۳۳ درصدی میزان پتاسیم برگ و بانه زعفران نسبت به شاهد در شرایط شوری در سال دوم آزمایش شد. بیشترین میزان پرولین بانه (۱۲۴/۶ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد و شوری در سال دوم و بیشترین مقدار پرولین برگ (۲۰۵/۲۳ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد و شوری در سال اول آزمایش به دست آمد که مصرف توأم نانو سیلیکون با سوپر جاذب سبب کاهش میزان پرولین برگ و بانه زعفران در هر دو سال آزمایش گردید. مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپر جاذب در شرایط شوری باعث افزایش ۴۶/۸٪ و ۵۴/۳٪ به ترتیب در عملکرد گل و کلاله زعفران سال دوم نسبت به سال اول شد. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد تلفیقی نانوسیلیکون و سوپر جاذب باعث افزایش عملکرد کمی و کیفی زعفران در شرایط شوری گردید.

کلمات کلیدی: بلور آب آ. پرولین، تنش شوری، زعفران

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد،

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: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir

مقدمه

کمبود آب و کاهش کیفیت آن دو عامل مهم کاهش تولید در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است. اولین تأثیر شوری بر رشد گیاه، تنش اسمزی است (Munns et al., 2006). افزایش میزان نمک از جذب بیشتر آب توسط گیاه ممانعت می‌کند و گیاه علائمی همانند تنش خشکی شامل پژمردگی، برگ‌های تیره و با کوتیکول ضخیم را نشان می‌دهد (Kafi et al., 2014). کاهش سرعت رشد برگ و ریشه در این مرحله احتمالاً بیشتر به دلیل عوامل مرتبط با تنش آب می‌باشد، در مرحله دوم واکنش رشد گیاه به تنش شوری در نتیجه اثر سمیت نمک می‌باشد. نمک جذب شده توسط گیاه در برگ‌های پیر تغلیظ می‌شود، نتیجه نهایی انتقال نمک به داخل برگ‌ها از طریق جریان ترق در یک دوره طولانی، افزایش غلظت Na^+ و Cl^- به مقدار بسیار زیاد و مرگ برگ‌ها است. دلیل خسارت وارد شده به گیاه احتمالاً ورود بیش از حد نمک به سلول و عدم توانایی برای جایگذاری آن در واکوئل‌ها می‌باشد. بعد از آن نمک به سرعت در سیتوپلاسم افزایش یافته و از فعالیت آنزیم‌ها ممانعت می‌کند. همچنین نمک ممکن است در دیواره سلولی به تدریج افزایش یافته و باعث پسابیدگی سلول شود (Munns et al., 2006). از آنجا که اصلاح و آیشویی 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 و یکی از راهکارهای کاهش تنش شوری و خشکی ناشی از آن استفاده از روش‌های صحیح تغذیه معدنی 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 گیاهی قرار گرفته است. پلیمرهای سوپرجاذب به عنوان اصلاح کننده خاک می‌باشند، این پلیمرها ترکیباتی هیدروکربنی و جاذب آب بوده که به دلیل داشتن اتصالات عرضی در شبکه پلیمری خود، جذب آب و تورم در آن‌ها باعث انحلال و یا تغییر ساختمان آن‌ها نمی‌شود (Abedi & 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). از جمله مزایای سوپرجاذب‌ها می‌توان به افزایش ظرفیت جذب و حفظ آب و مواد غذایی برای مدت طولانی، کاهش تعداد دفعات آبیاری، مصرف یکنواخت آب برای گیاهان، رشد سریع ریشه، کاهش شستشوی مواد غذایی در خاک، کاهش هزینه آبیاری، مصرف بهینه کود شیمیایی، تهویه بهتر خاک، افزایش فعالیت و تکثیر قارچ‌های میکوریزا، تقویت حالت تخلخل و ثبات ساختار خاک اشاره نمود (Khoramdel et al., 2013). مصرف پلیمر سوپرجاذب باعث افزایش عملکرد خیار (Lotifi Mohammadabadi, 2014). بادام زمینی (Babae et al., 2013) و گندم (Ebrahim, 2017) در شرایط تنش شوری شد.

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 سالیسیلیک-اسید، با ایجاد توازن در محتوای هورمون‌های گیاهی، در کنترل پاسخ‌های گیاه به شوری نقش مهمی دارند (Pirasteh-Anosheh et al., 2012). سیلیکون در گیاهان به طرق مختلف، از جمله ضخیم شدن لایه کوتیکول، کاهش از دست دادن آب، کمک به تنظیم اسمزی، حفظ ساختار غشاء و کاهش جذب سدیم سبب افزایش تحمل به تنش‌های محیطی می‌شود (Sonobe et al., 2010). مصرف سیلیکون موجب افزایش وزن

پژوهش علمی-کاربردی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با هدف مطالعه پاسخ زعفران (*Crocus sativus* L.) به تنش شوری تحت تأثیر کاربرد سیلیکون، نانوسیلیکون و پلیمر سوپرجاذب در مزرعه‌ای واقع در بخش ضیاء الدین 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، طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۶ به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک به طور 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. عامل اصلی کیفیت آب آبیاری در دو سطح (شامل آب با هدایت الکتریکی ۱/۹۶ دسی-زیمنس بر متر به عنوان شاهد و آب با هدایت الکتریکی ۶ دسی‌زیمنس بر متر) و عامل فرعی کاربرد سیلیکون و پلیمر سوپرجاذب بلورآب آ در شش سطح (شامل عدم مصرف به عنوان شاهد، سیلیکون، نانوسیلیکون هر کدام با غلظت ۱/۵ در هزار، سوپرجاذب (به میزان ۰/۴ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خشک خاک)، سیلیکون با سوپرجاذب و نانوسیلیکون با سوپرجاذب) بود. 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 آماده‌سازی زمین و در هنگام خواب حقیقی بنه‌ها، بنه‌های استاندارد در گروه

خشک بخش هوایی و وزن خشک کل پوکسینیا (Bendani & Abdol Zadeh., 2007)، افزایش وزن خشک ساقه و سطح برگ لوبیا (Zuccarini, 2008)، کاهش آثار منفی تنش شوری بر ویژگی‌های رشد و جوانه‌زنی دانه‌های گوجه فرنگی (Haghighi et al., 2012) و شاخص‌های رشد گیاهچه ذرت (Zare et al., 2015) شد. علاوه بر این اثرات مثبت این عنصر به صورت نانو ذرات سیلیکا نیز توسط اشکاوند و همکاران (Ashkavand et al., 2016)، در گونه زالزالک و در گونه گلابی (Zarafshar et al., 2015) نیز تأیید شده است. شوری باعث کاهش ارتفاع بوته و کاهش روزهای گلدهی در زعفران می‌گردد (Torbaghan & Ahmadi, 2011). کاربرد انواع پلیمرهای ابرجاذب روی گیاه زعفران باعث بهبود رشد رویشی شامل طول برگ و افزایش اندازه بنه‌های دختری، و رشد زایشی مانند عملکرد گل تر، کلاله خشک و کارایی مصرف آب گردید (Abedini & Abedikopayi, 2017). بررسی اثر نانو ذرات 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 می‌باشد. سطح کشت زعفران 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، هم زمان تأثیر کاربرد سیلیکون، نانوسیلیکون، و پلیمر سوپرجاذب بلورآب و ترکیب آنها روی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک زعفران به عنوان یک

وزنی متوسط ۱۰-۸ گرم براساس تراکم ۵۰ بنه در یک مترمربع در ردیف‌هایی به فواصل $25\text{cm} \times 8\text{cm}$ در کرت‌هایی به ابعاد $2/5$ در ۳ متر و در عمق ۲۰ سانتی‌متر 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 بلور آب آ به منظور حداکثر استفاده بنه از آن 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 دو سال زراعی انجام گرفت. آب مورد استفاده از دو چاه نزدیک به مزرعه دارای شوری‌هایی به ترتیب $1/96$ و $6/04$ دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد که با توجه به عرف منطقه و داشتن تبخیر و تعرق بالقوه گیاه مرجع و مقدار ضریب گیاهی برای دوره‌های متفاوت رشد گیاه زعفران (Azizi-Zohan et al., 2008; Kafi et al., 2002) ۴۰۰۰ متر مکعب 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.

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 به صورت دستی انجام گرفت. صفات مورد مطالعه شامل تعداد برگ، بنه، و گل در هکتار، طول برگ، وزن متوسط بنه دختری، وزن متوسط تک گل، طول کلاله، عملکرد برگ، بنه، گل و کلاله در هکتار و خصوصیات فیزیولوژیکی شامل مقادیر کلروفیل، مقادیر سدیم، پتاسیم و پرولین بود. لازم به ذکر است به دلیل 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 تأثیر 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، روزانه قبل از طلوع آفتاب و تا پایان دوره گل‌دهی، عملیات برداشت گل با حذف اثر حاشیه‌ای (نیم متر فاصله از طرفین کرت) از واحدهای آزمایشی انجام گرفت و گل‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و پس از شمارش و توزین با ترازوی دیجیتال (با دقت $0/1$ میلی‌گرم) و ثبت وزن تر گل‌ها، کلاله از بقیه اجزای گل جدا شده و وزن تر آن اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس کلاله‌ها در خشک‌کن الکتریکی در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد تا میزان رطوبت ۱۰ درصد خشک شده و وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت شد. خصوصیات برگ در اردیبهشت ماه قبل از اینکه برگ‌ها زرد شده باشد اندازه‌گیری شد. در هر نمونه‌برداری سه بوته از هر واحد آزمایشی به صورت تصادفی و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای از زمین انتخاب شد. طول برگ توسط خط کش اندازه‌گیری گردید. 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 و کیفی بنه‌های دختری تولید شده به آزمایشگاه منتقل شد. لازم به ذکر است تعیین میزان کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل (Germany, 2000) و به روش UNICO (Arnon, 1967) انجام گرفت. تعیین غلظت پرولین با استفاده از روش (Bates et al., 1973) $0/5$ گرم نمونه گیاهی وزن و در سولفوسالسیلیک-اسید عصاره همگنی به دست آمد. سپس پرولین برگ به روش رنگ‌سنجی با استفاده از ناین‌هیدرین‌اسید توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و با کمک منحنی استاندارد رسم‌شده میزان پرولین بر حسب میکروگرم برگرم وزن تر نمونه به دست آمد. برای اندازه‌گیری

و آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p \leq 0.05$) مورد تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تعداد و طول برگ

جدول ۶ نشان داد آبیاری با آب شور باعث کاهش معنی‌دار تعداد برگ و طول برگ گردید که این کاهش در هر دو سال آزمایش مشاهده شد. شوری با اعمال محدودیت در دسترسی آب برای گیاه و همچنین ایجاد مسمومیت باعث کاهش رشد گیاه می‌شود.

سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم‌فتمتر و روش هامادا و النای (Hamada & EL-enany, 1994) استفاده شد. روی ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسیداستیک‌گلایسیال ۰/۱ نرمال ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شد. سپس نمونه‌ها ۲ ساعت در حمام آب گرم ۸۰ درجه سانتی-گراد قرار گرفت و بعد از صاف شدن با استفاده از دستگاه فلیم-فتمتر، عدد مربوط به سدیم و پتاسیم قرائت شده و با کمک منحنی استاندارد، میزان سدیم و پتاسیم برگ بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک مشخص شد.

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS 9.2

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of test soil

هدایت الکتریکی EC	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	آهک Lime	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen	کربن آلی Organic carbon	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture
(ds.m ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	(%)	(%)		
1.73	34	53	13	17.5	360	28	0.05	0.51	8.02	لوم-شنی Loam sand

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Chemical properties of water used in the experiment

بی کربنات HCO ₃ ⁻	کلر Cl	سولفات SO ₄ ²⁻	سدیم Na	کلسیم + منیزیم Ca+Mg	نسبت جذب سدیم S.A.R	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC
(meq.lit ⁻¹)	(meq.lit ⁻¹)	(meq.lit ⁻¹)	(meq.lit ⁻¹)	(meq.lit ⁻¹)			(ds.m ⁻¹)
5.3	3.7	8.4	5.1	14	1.9	7.2	1.96
13.2	16.8	20	27	20.6	8.4	7.4	6.04

جدول ۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نانو سیلیکون

Table 3- Physical and chemical properties of nano silicon

چگالی density (g.cm ⁻³)	آهن Fe (mg.kg ⁻¹)	سدیم Na (mg.kg ⁻¹)	کلسیم Ca (mg.kg ⁻¹)	اندازه ذرات APS (nm)	اکسید سیلیس SiO ₂ (%)
2.4	<20	<50	<70	11-13	>99%

جدول ۴- خصوصیات فیزیکی شیمیایی پلیمر ابر جاذب ریز ترکیب

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

پلیمر	ماده	محتوای عناصر غذایی			چگالی	اندازه ذرات	حداکثر دوام	پتانسیل جذب آب	پتانسیل جذب محلول
ابر جاذب	حامل	Nutrient elements content			Density	Particle size	Maximum durability	مقطر	کلرید سدیم ۲٪
ریز ترکیب	Career	نیترژن N پتاس			(g.cm ⁻³)	(µm)	(year)	Potential of deionized water absorption (g.g ⁻¹)	Potential for solution absorption of 0.2% NaCl (g.g ⁻¹)
Nano composite superabsorbent polymer		Kفسفر P %							
بلور آب آ	زئولیت	3.75	6.6	19	0.85	25-45	4-6	320	220
Bolour ab A	Zeolite								

اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۶). شوری باعث کاهش تعداد بنه در گیاه زعفران گردید اما مصرف انواع سیلیکون و سوپرجاذب از طریق کاهش اثرات منفی تنش شوری و ایجاد شرایط مناسب 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 آزمایش گردید. همچنین ۲۸ و ۳۳/۳ درصد افزایش نسبت به شاهد به ترتیب در سال اول تا دوم آزمایش داشت (جدول ۶). با کاربرد سوپرجاذب میزان رشد برگ‌ها و تولید بنه‌های دختری گیاه زعفران بطور معنی‌داری افزایش یافت (Khoramdel et al., 2013). بنابراین می‌توان گفت مصرف توأم نانوسیلیکون و سوپرجاذب با بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک، بهبود تخلل و افزایش تهویه و در دسترس قرار دادن بهتر عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه در محیط ریزوسفر (Wu et al., 2008) شرایط مناسبی را برای تولید بنه‌های دختری بیشتر مهیا نموده است و باعث افزایش تعداد بنه و به عبارت بهتر مانع کاهش تعداد بنه در گیاه زعفران می‌گردد.

وزن متوسط بنه دختری

مصرف کودهای مورد 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

سایر محققین نیز کاهش رشد و اندازه برگ در اثر اعمال تنش شوری را گزارش داده‌اند (Sabet Teimouri et al., 2010). بیشترین تعداد و طول برگ در تیمار کاربرد نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط عدم تنش شوری در هر دو سال آزمایش مشاهده شد (جدول ۶). نتایج نشان داد که ترکیب توأم نانوسیلیکون با سوپرجاذب از طریق 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 به دنبال آن میزان رشد رویشی بیشتر را ایجاد کرده است. مصرف توأم نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط شور باعث افزایش ۳۸/۸۶ و ۵۶/۱۳ درصدی تعداد برگ نسبت به شاهد در سال اول تا دوم آزمایش گردید (جدول ۶).

تعداد کل بنه برداشت شده

بیشترین تعداد بنه در تیمار کاربرد نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط عدم تنش شوری در هر دو سال آزمایش مشاهده شد که با تیمار مصرف سیلیکون و سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری نداشت. در حالی که 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

نسبت به سال اول آزمایش در شرایط آبیاری با آب شور گردید (جدول ۶). تعداد بنه‌های دختری دارای قدرت گل‌دهی در پایان سال دوم رشد رویشی بیشتر از سال اول بود که خود می‌تواند باعث افزایش تعداد گل در سال دوم گردد. خرم‌دل و همکاران (Khoramdel et al., 2013) بیان نمودند پلیمرهای سوپرجاذب علاوه بر بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری و تخلل، با حفظ رطوبت و عناصر غذایی در خاک و بهبود دسترسی به آن‌ها برای بنه‌ها، در نهایت موجبات بهبود رشد بنه‌ها و افزایش شاخص‌های رشد زایشی به‌ویژه گل را به‌دنبال دارد.

متوسط طول کلاله

آبیاری با آب شور باعث کاهش معنی‌دار متوسط طول کلاله زعفران گردید که این کاهش در هر دو سال آزمایش مشاهده شد (جدول ۶). 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 معمولاً در اکثر اندام‌های گیاه دیده شده و باعث می‌شود گیاهان تحت تنش نسبت به شرایط عادی جثه کوچک‌تری داشته باشند (Sabet Teimouri et al., 2010; Torbaghan & Ahmadi., 2011).

وزن متوسط تک گل

مقایسه میانگین جدول ۶ نشان داد که 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 دو سال آزمایش گردید. اختلاف بین مصرف سیلیکون و نانوسیلیکون از لحاظ صفات مذکور معنی‌دار نبود.

دو سال آزمایش شده است (جدول ۶). مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرجاذب باعث شد تا بیشترین وزن متوسط بنه دختری در شرایط شوری و عدم شوری در هر دو سال آزمایش به‌دست آید و شاهد کمترین مقدار صفت مذکور را به خود اختصاص دهد. بیشترین وزن متوسط بنه دختری به مقدار ۲۱/۲۶ گرم مربوط به تیمار نانوسیلیکون و سوپرجاذب در شرایط عدم شوری در سال دوم و کم‌ترین مقدار وزن متوسط بنه دختری ۹/۴۱ گرم در تیمار شاهد و شوری در سال اول آزمایش بود (جدول ۶). به نظر می‌رسد مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرجاذب از طریق افزایش رشد برگ و بهبود شرایط فتوسنتزی و تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام‌های زیرزمینی باعث ایجاد بنه‌های با وزن بیشتر در پایان فصل رشد شده است (Molina et al., 2005).

تعداد متوسط گل

مقایسه میانگین جدول ۶ 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 دو سال آزمایش بود و عدم مصرف کود در شرایط تنش شوری کم‌ترین تعداد متوسط گل را به خود اختصاص داد. این آزمایش نشان داد شوری باعث کاهش تعداد متوسط گل در گیاه زعفران گردید اما مصرف انواع سیلیکون و سوپرجاذب از طریق بهبود وضعیت آب در گیاه، افزایش فعالیت فتوسنتز، تعدیل اثرات مخرب سدیم به وسیله کاهش جذب یون مذکور و افزایش جذب پتاسیم از خاک در کاهش اثرات زیانبار تنش شوری در گیاه مؤثر بوده و تا حدی مانع کاهش شدید تعداد متوسط گل در شرایط استفاده از آب شور شد. مصرف توام نانوسیلیکون و سوپرجاذب سبب افزایش ۶۲/۵ درصدی تعداد گل سال دوم

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تنش شوری، سیلیکون و بلورآب بر اجزای عملکرد زعفران

Table 5 - Analysis of variance (mean of squares) of effects of salinity, silicon and Bolourab on yield components of saffron																
منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد برگ		متوسط طول برگ		تعداد کل بنه دختری		وزن متوسط بنه های دختری		تعداد گل		متوسط طول کاله		وزن متوسط تک گل		
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	
تکرار Replication	2	0.17	1.06	13.196	12.32	234.716	283.82	2.323	0.46	90.66	17.71	1.84	10.71	0.0003	0.0001	
تنش شوری Salt stress	1	91.77**	394.75**	**558.45	**575.28	22980.53**	18554.52**	**59.77	**121.51	**7935.54	8252.51*	*314.11	*250.008	0.06	**0.054	
خطای اصلی Main error	2	0.44	0.61	0.92	0.57	173.07	129.71	**1.212	5.01	63.22	111.48	4.35	2.24	0.0003	0.0003	
کود Fertilizer	5	5.44**	32.16**	**45.528	**49.87	526.57**	1366.60**	**2.597	**10.66	461.23**	578.36**	**19.45	**24.13	0.005	**0.007	
تنش شوری*	5	0.2**	1.26*	**2.255	**2.32	31.024**	106.65*	*0.632	*0.92	67.68**	22.49*	*1.37	**1.82	0.0003 _{ns}	**0.0005	
خطای فرعی Sub error	20	0.04	0.46	0.234	0.15	3.71	26.38	0.185	0.29	16.01	7.97	0.47	0.46	0.0001	0.0001	
ضرب تغییرات C.V. (%)		2.03	3.44	1.68	1.13	1.24	2.5	3.58	3.02	4.4	1.94	3.74	2.82	2.24	1.93	

ns: Not significant * and **: Significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.
* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و عدم معنی دار می باشد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری، سیلیکون و بلوراب بر اجزای عملکرد زعفران
Table 6- Means comparison of effects of salinity, silicon and Bolourab on yield components of saffron

کیفیت آب آبیاری Irrigation water quality	کود Fertilizer	تعداد برگ Number of leaf (n.m ⁻²)		مؤسسه طول برگ Medium Leaf length (cm)		تعداد کل بنه دختری Number of daughter corm (n.m ⁻²)		مؤسسه بنه های دختری Average weight of daughter corms (g)		تعداد گل Flower number (n.m ⁻²)		مؤسسه طول کلاه Average stigma length (mm)		مؤسسه وزن تک گل Average weight of a single flower (g)	
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
عدم شوری No Salinity	شاهد Control	11.07d	19.70e	29.91e	36.24d	170.34d	213.63e	12.47bc	18.67cd	92.25c	148.79c	18.41c	24.47c	0.51cd	0.47de
	سیلیکون Silicon	11.40cd	22.32d	31.11d	37.43c	178.30c	222.13cd	13.07ab	19.38cd	101.46b	159.34b	20.46b	26.21b	0.52bc	0.49cd
	نانوسیلیکون Nano silicon	11.76c	23.62bc	32.07c	38.40b	181.34bc	229.07bc	13.08ab	19.72bc	102.24b	163.41ab	20.61b	27.17ab	0.54b	0.49c
	بلوراب Bolourab	12.41b	22.64cd	33.23b	37.11c	182.96abc	223.46cd	13.97a	19.07cd	113.32a	156.36b	22.33a	26.07b	0.54b	0.53b
	سیلیکون و بلوراب Silicon And Bolourab	12.87ab	24.77ab	34.92a	41.25a	187.88ab	238.95ab	13.72a	20.85ab	111.20a	169.78a	23.03a	28.18a	0.59a	0.55a
	نانوسیلیکون و بلوراب Nano silicon and Bolourab	13.05a	25.15a	35.36a	41.69a	190.56a	244.63a	13.57a	21.26a	114.03a	170.60a	23.28a	28.37a	0.59a	0.57a
شوری Salinity	شاهد Control	7.26h	12.47h	20.25j	26.58h	114.45i	154.97h	9.41e	13.66f	65.45d	116.43f	12.93e	17.88f	0.42g	0.38h
	سیلیکون Silicon	8.13g	14.57g	22.48i	28.82g	123.15h	177.10g	10.77d	15.33e	70.55d	123.29ef	14.52d	20.59e	0.45f	0.42g
	نانوسیلیکون Nano silicon	8.77f	16.34f	23.90h	30.22f	130.00gh	177.65g	10.37d	15.94e	70.98d	132.83d	15.51d	22.10d	0.47e	0.45f
	بلوراب Bolourab	9.07f	16.41f	25.48g	28.64g	133.83fg	180.44g	10.43d	15.91e	71.75d	125.61e	14.55d	19.78e	0.45f	0.43fg
	سیلیکون و بلوراب Silicon And Bolourab	9.95e	19.20e	28.29f	34.63e	140.20ef	202.74f	11.72c	17.87d	88.57c	143.73c	17.41c	24.23c	0.48e	0.46e
	نانوسیلیکون و بلوراب Nano silicon and Bolourab	10.22e	19.47e	28.94f	35.27e	146.56e	206.54ef	11.71c	18.19dc	89.07c	144.70c	17.76c	24.28c	0.49de	0.47de

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.

مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرچاذب باعث شد تا بیشترین وزن متوسط تک گل در شرایط شوری و عدم شوری به دست آید و شاهد کمترین مقدار صفات مذکور را به خود اختصاص دهد. از آنجایی که عملکرد برگ و عملکرد بنه نیز در تیمارهای مذکور افزایش معنی داری داشته است انتظار می رود بنه های درشت تر و رشد رویشی بیشتر باعث افزایش وزن متوسط گل گیاه گردد. بیشترین وزن متوسط تک گل مربوط به تیمار مصرف کودهای سیلیکونی به همراه سوپرچاذب در شرایط عدم شوری در سال اول آزمایش (۰/۵۹ گرم) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد و شوری در سال دوم آزمایش (۰/۳۸ گرم) بود (جدول ۶).

پتاسیم و سدیم

مقایسه میانگین داده ها جدول ۸ نشان داد آبیاری با آب شور باعث کاهش میزان پتاسیم و افزایش میزان سدیم برگ و بنه زعفران گردید که این تغییرات در هر دو سال آزمایش مشاهده شد. تنش شوری باعث تغییر میزان عناصر مرتبط با جذب آب و همچنین دخیل در فعالیت های فیزیولوژیکی گیاه می شود. محققین مختلف کاهش پتاسیم و افزایش سدیم موجود در گیاهان را در اثر اعمال تنش شوری گزارش داده اند (Epstein, 1993; Ma & Takahashi, 1999). در این آزمایش مصرف کودهای سیلیکون و سوپرچاذب از طریق کاهش جذب سدیم و افزایش میزان پتاسیم برگ و بنه باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری در زعفران شده است به طوریکه با مصرف کودهای مذکور اختلاف تیمارهای شاهد و عدم اعمال تنش شوری با تیمارهایی که در آن ها نانوسیلیکون و سوپرچاذب استفاده شده است از نظر میزان جذب و ذخیره سازی عناصر پتاسیم و سدیم در برگ و بنه معنی دار بود (جدول ۸). سیلیکون با کاهش جذب و انتقال سدیم به اندام هوایی و افزایش آن برای پتاسیم باعث بهبود همئوستازی یونی می گردد (Cheraghvareh, 2013).

همچنین نانو ذرات سیلیکون از طریق کاهش جذب سدیم، سمیت آن را کاهش و رشد گیاه را بهبود می دهند (Kalteh et al., 2014). پلیمرهای سوپرچاذب نیز در ساختار خود حاوی عناصر غذایی همچون پتاسیم و کلسیم می باشند بنابراین در شرایط تنش شوری با سدیم رقابت کرده و از جذب این عنصر توسط گیاه جلوگیری می کنند و به این طریق مانع ایجاد سمیت سدیم در گیاه و کاهش بیش از اندازه عناصری همچون پتاسیم می شوند و همچنین این مواد تا حدودی سدیم را جذب کرده و سمیت این عنصر را کاهش می دهند و یا اینکه آب ذخیره شده در خود را در اختیار ریشه قرار داده و از غلظت نمک ها در اطراف محیط ریشه می کاهند (Shi et al., 2010).

پرولین

مقایسه میانگین داده ها جدول ۸ نشان داد کاربرد سیلیکون و سوپرچاذب در شرایط عدم شوری در سال اول آزمایش تأثیر معنی داری بر میزان پرولین برگ و بنه نداشته است. در شرایط شوری مصرف سیلیکون و سوپرچاذب باعث کاهش معنی دار پرولین شد که حاکی از افزایش توان گیاه برای تحمل یا اجتناب از شرایط شوری می باشد. سیلیکون با کاهش جذب سدیم توسط ریشه و کاهش انتقال آن به اندام هوایی، تنش اسمزی را کاهش می دهد، بنابراین پرولین نیز کاهش می یابد (Hajiboland & Cheraghvareh, 2014). بیشترین میزان پرولین بنه (۱۲۴/۶ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد و شوری در سال دوم و بیشترین مقدار پرولین برگ (۲۰۵/۲۳ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد و شوری در سال اول آزمایش به دست آمد که مصرف توأم نانوسیلیکون و سوپرچاذب باعث کاهش ۱۸/۸ و ۵/۶ درصدی به ترتیب در میزان پرولین بنه و برگ زعفران نسبت به شاهد شد (جدول ۸). اثر کاربرد سیلیکون در کاهش میزان پرولین برگ در شرایط شوری توسط سایر محققین گزارش شده است (Ma, 2003; Zare et al., 2015).

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات تنش شوری و کاربرد سیلیکون و بلوراب بر برخی صفات فیزیولوژیکی زعفران
Table 7 - Analysis of variance (mean of squares) of effects of salinity stress and application of silicon and Bolourab on some physiological traits of saffron

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پتاسیم K				سدیم Na				پروлін Proline			
		برگ‌ها Leaf		پنبه Corm		برگ‌ها Leaf		پنبه Corm		برگ‌ها Leaf		پنبه Corm	
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
تکرار Replication	2	65.59	61.826	10.42	3.612	0.026	0.048	0.26	0.086	12.074	9.03	111.12	56.934
تنش شوری Salt stress	1	5648.02**	5828.05**	595.27**	873.20 **	14.681**	15.44**	5.33*	6.846**	14755.36**	15099.08**	4617.65**	6104.03 **
خطای اصلی Main error	2	9.52	16.944	1.54	3.64	0.039	0.015	0.3	0.2002	11.649	32.41	24.16	10.613
کود Fertilizer	5	63.77**	72.301**	41.03**	37.48 **	0.41**	0.452**	0.47**	0.545**	38.050**	33.90**	395.40**	306.25 **
تنش شوری* کود Salt stress* Fertilizer	5	5.58*	2.623*	1.91*	1.51**	0.042*	0.061**	0.08**	0.059**	10.034**	13.49**	35.04*	25.351 *
خطای فرعی Sub error	20	1.58	0.738	0.69	0.29	0.0127	0.012	0.01	0.007	1.208	0.661	11.98	6.695
C.V. (%) ضریب تغییرات		1.89	1.24	2.82	1.90	4.31	4.35	2.90	2.49	1.65	1.22	3.6	2.61

* و ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و عدم معنی دار می باشد.
ns: Not significant * and **, Significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات تنش شوری و کاربرد سیلیکون و بلوراب بر برخی صفات فیزیولوژیکی زعفران

Table 8 - Means comparison of effects of salinity stress and application of silicon and Bolourab on some physiological traits of saffron

کیفیت آب آبیاری Irrigation water quality	کود Fertilizer	پتاسیم K (mg. g ⁻¹)						سدیم Na (mg.g ⁻¹)						پروتئین پرولین (mg.kg ⁻¹)					
		برگ‌ها Leaf			بنه Corm			برگ‌ها Leaf			بنه Corm			برگ‌ها Leaf			بنه Corm		
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
		Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2	Year 1	Year 2
عدم شوری No Salinity	شاهد Control	75.93c	76.68c	31.18c	28.90d	2.26d	2.09d	3.36ef	3.28de	170.79c	168.11d	95.18d	93.43e						
	سیلیکون Silicon	78.73b	80.05b	32.33bc	31.67c	2.08de	1.86e	3.19fg	3.02fe	171.29c	164.48ef	87.55e	89.50ef						
	نانوسیلیکون Nano silicon	78.41bc	82.36ab	33.00b	32.55c	1.93efg	1.76efg	3.15fg	2.94fg	169.63c	165.68de	84.57e	86.70fg						
	بلوراب Bolourab	78.44bc	80.80b	32.98b	33.89b	2.00ef	1.79ef	3.16fg	3.05fe	169.99c	164.4ef	83.27e	84.21gh						
	سیلیکون و بلوراب Silicon And Bolourab	82.30a	84.40a	36.10a	36.32a	1.80gf	1.64g	2.94g	2.71g	168.09c	161.36fg	80.96ef	80.77h						
	نانوسیلیکون و بلوراب Nano silicon and Bolourab	83.15a	84.97a	36.52a	36.60a	1.75g	1.59g	2.85g	2.66g	168.63c	161.11g	76.43f	80.10h						
	شاهد Control	48.47h	49.32h	21.11f	19.84g	3.72a	3.67a	4.57a	4.55a	205.23a	200.14a	120.97a	124.60a						
	سیلیکون Silicon	51.67g	54.46g	24.52e	23.20f	3.43b	3.26b	3.87b	3.76bc	201.90a	195.75b	113.77b	117.48b						
	نانوسیلیکون Nano silicon	53.67fg	55.96g	24.19e	23.59f	3.36b	3.13b	3.81bcd	3.68bc	200.93a	194.33b	112.49b	115.65b						
	بلوراب Bolourab	56.11ef	57.21ef	25.20e	22.63f	3.26b	3.16b	3.97b	3.88b	203.60a	196.9b	104.47c	109.85c						
شوری Salinity	سیلیکون و بلوراب Silicon And Bolourab	57.54de	59.37de	29.12d	26.00e	2.88c	2.71c	3.56cde	3.55cd	193.83b	185.4c	96.22d	102.22d						
	نانوسیلیکون و بلوراب Nano silicon and Bolourab	59.18d	60.25d	29.18d	26.37e	2.83c	2.66c	3.48def	3.47cd	193.77b	185.53c	95.96d	101.16d						

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری 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.

کلروفیل برگ

داده‌های جدول ۱۰ نشان داد آبیاری با آب شور باعث افزایش میزان کلروفیل برگ زعفران گردید که این تغییرات در هر دو سال آزمایش مشاهده شد. کمبود آب ناشی از تنش شوری 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 (Tale ahmad & Hadad, 2008). در این آزمایش مصرف کودهای سیلیکون و سوپرچاد 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 سوپرچاد استفاده شده است از نظر میزان سنتز مواد و تولید کلروفیل در برگ معنی‌دار نبود. نتایج سایر پژوهشگران حاکی از آن است که سیلیکون استحکام برگ‌ها را افزایش و پیری برگ را به تاخیر می‌اندازد و میزان کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو و سرعت فتوسنتز را افزایش می‌دهد (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).

عملکرد برگ

مصرف سیلیکون و سوپرچاد در هر دو تیمار شوری و عدم تنش شوری باعث افزایش عملکرد برگ زعفران نسبت به شاهد در هر دو سال آزمایش شده است. مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرچاد باعث شد تا بیشترین عملکرد برگ در شرایط شوری و عدم شوری در هر دو سال آزمایش به‌دست آید و تیمار شاهد کم‌ترین عملکرد برگ را به خود اختصاص دهد. در واقع

سیلیکون و سوپرچاد توانسته‌اند با افزایش مقاومت گیاه به شوری و حفظ توان تولید و رشد رویشی گیاه، باعث کاهش افت عملکرد و به عبارت دیگر باعث افزایش عملکرد نسبت به شاهد گردد. به‌طوری‌که افزایش ۲۹/۵ درصدی عملکرد برگ در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول آزمایش در شرایط آبیاری با آب شور مشاهده شد. همچنین مصرف توأم نانوسیلیکون و سوپرچاد در شرایط شور باعث افزایش ۴۵/۷ و ۳۲/۶ درصدی عملکرد برگ نسبت به شاهد در سال اول تا دوم آزمایش گردید (جدول ۱۰). سیلیکون با رسوب در پهنای برگ و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ توانایی گیاه برای استفاده مؤثر از نور را بالا برده و باعث افزایش عملکرد گردید. اثر کاربرد سیلیکون و همچنین پلیمرهای سوپرچاد در افزایش عملکرد و رشد رویشی گیاه توسط سایر محققین گزارش شده است (Liang, 1999; Daneshmandi & Azizi, 2009; Nabati et al., 2013; Mobasser et al., 2008).

عملکرد بنه

مصرف سیلیکون و سوپرچاد در هر دو تیمار شوری و عدم تنش شوری باعث افزایش عملکرد بنه زعفران نسبت به شاهد در هر دو سال آزمایش شده است (جدول ۱۰). مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپرچاد باعث شد تا بیشترین عملکرد بنه در شرایط شوری و عدم شوری در هر دو سال به‌دست آید و تیمار شاهد کم‌ترین عملکرد بنه را به خود اختصاص دهد. مصرف توأم نانوسیلیکون و سوپرچاد در شرایط استفاده از آب شور باعث افزایش ۳۲/۶٪ و ۳۰/۵٪ عملکرد بنه نسبت به شاهد در سال‌های اول و دوم آزمایش گردید (جدول ۱۰). در واقع سیلیکون و سوپرچاد توانسته‌اند از طریق حفظ توان تولید و رشد رویشی گیاه، باعث کاهش افت عملکرد و به عبارت دیگر باعث افزایش عملکرد نسبت به شاهد در هر دو شرایط شوری و

عدم شوری گردند.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعیات) اثرات تنش شوری، سیلیکون و بلوراب بر عملکرد زعفران

Table 9 - Analysis of variance (mean of squares) of effects of salinity, silicon and Bolourab A on the yield of saffron

منبع تغییرات S.O.V	df	کلروفیل a		کلروفیل b		عملکرد برگ		عملکرد بنه		عملکرد گل		عملکرد کلاله	
		Chlorophyll a		Chlorophyll b		Yield of leaf		Yield of corm		Yield of flower		Yield of stigma	
		سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2	سال اول Year 1	سال دوم Year 2
تکرار Replication	2	0.025	0.0240	0.022	0.014	105562.5	418615.0	108491.2	4205359.5	1307.09	1261.22	0.18	0.05
تنش شوری Salt stress	1	0.703*	0.672*	0.241**	0.21*	4177459.1**	3708699.2**	623012416.0**	728049999.7**	468008.78**	404493.88**	62.09**	54.68**
خطای اصلی Main error	2	0.078	0.0537	0.0013	0.004	16513.57	1752.62	77644.1	2959314.7	2019.98	2090.05	0.15	0.51
کود Fertilizer	5	0.034**	0.0557**	0.0079**	0.009**	338074.9**	336535.8**	14538697.0**	42070136.2**	29019.19**	8524.01**	3.67**	1.45**
تنش شوری* کود Salt stress* Fertilizer	5	0.0034 ^{ns}	0.0041**	0.0002 ^{ns}	0.0006**	5110.5**	5524.98*	181090.6*	2101782.4*	1710.14*	574.59**	0.22*	0.09**
خطای فرعی Sub error	20	0.0019	0.0008	0.00016	0.0001	1164.62	6549.86	57537.7	560918.7	589.33	102.88	0.07	0.01
C.V. ضریب تغییرات (%)		3.19	2.01	2.59	2.52	1.52	1.55	1.33	1.98	5.2	1.57	5.11	1.55

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

ns: Not significant. * and **: Significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۱۰ - مقایسه میانگین اثرات تنش شوری، سیلیکون و بلوراب بر عملکرد زعفران
Table 10- Means comparison of effects of salinity, silicon and Bolourab A on yield of saffron

کیفیت آب آبیاری Irrigation water quality	کود Fertilizer	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)		کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)		عملکرد برگ Yield of leaf (kg.ha ⁻¹)		عملکرد بنه Yield of corm (ton.ha ⁻¹)		عملکرد گل Yield of flower (kg.ha ⁻¹)		عملکرد کلاه Yield of stigma (kg.ha ⁻¹)	
		سال اول Year1	سال دوم Year2	سال اول Year1	سال دوم Year2	سال اول Year1	سال دوم Year2	سال اول Year1	سال دوم Year2	سال اول Year1	سال دوم Year2	سال اول Year1	سال دوم Year2
		Year1	Year2	Year1	Year2	Year1	Year2	Year1	Year2	Year1	Year2	Year1	Year2
عدم شوری No Salinity	شاهد Control	1.41bcd	1.43cde	0.50bc	0.48bc	2325.47e	2937.17e	19.61e	39.08c	469.74d	678.64d	5.39d	7.93d
	سیلیکون Silicon	1.42bcd	1.49bcd	0.52ab	0.51ab	2422.70d	3077.03d	20.75d	42.10b	530.96c	751.86bc	6.06c	8.80bc
	نانوسیلیکون Nano silicon	1.47bc	1.54abc	0.55ab	0.53ab	2513.03c	3176.40c	22.26c	42.51b	549.48c	777.93b	6.29c	9.13b
	بلوراب Bolourab	1.52ab	1.53abc	0.54ab	0.52ab	2641.57b	3069.50d	22.74b	41.17b	616.76b	734.70c	7.07b	8.56c
	سیلیکون و بلوراب Silicon And Bolourab	1.57ab	1.59ab	0.57ab	0.55ab	2795.00a	3413.40b	23.69a	44.40a	650.73ab	862.82a	7.43ab	10.14a
	نانوسیلیکون و بلوراب Nano silicon and Bolourab	1.61a	1.66a	0.59a	0.57a	2867.80a	3508.67a	23.96a	45.26a	670.21a	885.98a	7.65a	10.43a
شوری Salinity	شاهد Control	1.09f	1.05h	0.32e	0.30f	1533.93k	2186.10i	11.77k	28.44f	277.73f	450.53h	3.17g	5.27h
	سیلیکون Silicon	1.19ef	1.23g	0.36de	0.34ef	1723.20j	2437.27h	12.80j	32.03e	314.77ef	517.76fg	3.59fg	6.08fg
	نانوسیلیکون Nano silicon	1.26def	1.32efg	0.42d	0.37def	1853.27i	2584.44g	13.69i	33.25e	334.99e	537.87f	3.82f	6.35f
	بلوراب Bolourab	1.19f	1.27fg	0.39de	0.38de	1987.73h	2404.63h	14.13h	33.41e	325.16ef	504.82g	3.72f	5.91g
	سیلیکون و بلوراب Silicon And Bolourab	1.28de	1.34efg	0.38de	0.43cd	2144.03g	2823.37f	15.07g	36.33d	428.13d	626.82e	4.86e	7.45e
	نانوسیلیکون و بلوراب Nano silicon and Bolourab	1.32cde	1.38ef	0.44cd	0.42cd	2235.63f	2894.77ef	15.61f	37.10d	438.88d	644.34e	4.97de	7.67de

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.

عملکرد کلالة و گل

مصرف سیلیکون و سوپر جاذب در هر دو تیمار شوری و عدم تنش شوری باعث افزایش عملکرد کلالة و عملکرد گل زعفران نسبت به شاهد در هر دو سال آزمایش شده است (جدول ۱۰). مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپر جاذب باعث شد تا بیشترین عملکرد گل و کلالة در شرایط شوری و عدم شوری در هر دو سال آزمایش به دست 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 در اثر مصرف کود، مشاهده گردید که این افزایش در اثر مصرف کودهای نانوسیلیکون و سوپر جاذب بیشتر از سایر تیمارها می باشد و باعث افزایش عملکرد کلالة و عملکرد گل زعفران شد. مصرف نانوسیلیکون همراه با سوپر جاذب در شرایط شوری باعث افزایش ۴۶/۸٪ و ۵۴/۳٪ به ترتیب در عملکرد گل و کلالة زعفران سال دوم نسبت به سال اول شد. کمترین میزان عملکرد کلالة در سال اول آزمایش (۳/۱۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط شوری و عدم مصرف کود و بیشترین میزان عملکرد کلالة (۱۰/۴۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار مصرف نانوسیلیکون و سوپر جاذب در شرایط عدم شوری در سال دوم آزمایش به دست آمد (جدول ۱۰). در واقع مصرف کودهای سیلیکونی به همراه سوپر جاذب از طریق جلوگیری از ورود نمک به گیاه و افزایش میزان پتاسیم آثار منفی تنش شوری را کاهش داده و همچنین باعث افزایش میزان کلروفیل و به تبع آن افزایش فتوسنتز و رشد رویشی و زایشی زعفران در شرایط شوری گردید. طبیعی است که در گیاهان چند ساله، در سال اول

کشت گیاه انرژی بیشتری را صرف استقرار و انطباق با محیط می کند و در سال های بعد انرژی بیشتری را به افزایش زیست توده و رشد زایشی اختصاص می دهد. بنابراین بزرگ شدن اندازه بنه در سال بعد، توأم با افزایش عملکرد در سال دوم در مقایسه با سال اول خواهد بود. اما باید به این نکته توجه داشت که در سال های بعد ممکن است به دلیل افزایش سن بنه ها و پیر شدن آن ها (سال پنجم و بعد)، عملکرد کاهش یابد (Koocheki et al., 2011).

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب ریز ترکیب می تواند به تنهایی یا به طور مطلوب تر به صورت تلفیقی با سیلیکون و نانوسیلیکون از طریق حفظ رطوبت خاک در اطراف ریشه و جلوگیری از ورود نمک به گیاه و افزایش میزان پتاسیم آثار منفی تنش شوری را کاهش داده و همچنین باعث افزایش میزان کلروفیل و به تبع آن افزایش فتوسنتز و رشد رویشی و زایشی زعفران در شرایط شوری گردد. 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. بنابراین کاربرد آن در شرایط شوری در مناطق خشک و نیمه خشک توصیه می گردد.

سیاسگزاری

بدینوسیله از ریاست و کارشناسان آزمایشگاه همیاران کارافین شهرستان تربت جام صمیمانه تشکر می گردد

منابع

Abedi Kupai, J., and Mesforoush, M. 2009. Evaluation of the application of superabsorbent polymer on yield, water use efficiency and

storage of nutrients greenhouse cucumber. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 3 (2): 100-111. (In Persian with English

- Summary).
- Abedini, A., and 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 17 (1): 163-173. (In Persian with English Summary).
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23: 112-121.
- Aseme, M., and 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 with English Summary).
- Ashkavand, P., Kochak sarayi, M., Zarafshr, M., and Ghanbari, A. 2016. Silica nanoparticles on vegetative and physiological traits of Hawthorn seedlings. *Wood and Forest Science and Technology Agricultural Science and Natural Resources* 23 (1): 41-61. (In Persian with English Summary).
- Azizi-Zehan, A.A., Kamgar-Haghighi, A.A., and Sepaskhah, A.R. 2008. Crop and pan coefficients for saffron in a semi-arid region of Iran. *Journal of Arid Environment* 72: 270-278.
- Babae Sabzikar Langaroodi, N., Ashouri, M., Dorodian, H.R., and Azarpour, E. 2013. Study effects of super absorbent application, saline water and irrigation management on yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.) *Annals of Biological Research* 4 (1):160-169.
- Bates, L.S., Waldron, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studied. *Plant and Soil* 39: 205-207.
- Bendani, M., and Abdol zadeh, A. 2007. The effect of silicon nutrition on salinity tolerance of *Poinsettia* plant. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 14 (3): 111-119. (In Persian with English Summary).
- Cheraghvareh, L. 2013. Investigation of the effect of silicon on growth and stress tolerance in tobacco plant. Master Thesis. Tabriz Faculty of Natural Sciences.
- Daneshmandi, M.Sh., and 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).
- Ebrahim, T. 2017. Reducing soil salinity limits using superabsorbents. Master Thesis. Soil Sciences, Isfahan University of Technology.
- Epstein, E. 1999. Silicon. *Annuals Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 641-664.
- Haghighi, M., Afifipour, Z., and Mozafarian, M. 2012. The effect of N-Si on tomato seed germination under salinity levels. *Journal of Biological and Environmental Sciences* 6 (16): 87-90.
- Hajiboland, R., and Cheraghvareh, L. 2014. Influence of Si supplementation on growth and some physiological and biochemical parameters in salt-stressed tobacco (*Nicotiana rustica* L.) Plants. *Journal of Sciences* 25 (3): 205-217.
- Hamada, A.M., and EL-enany, A.E. 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum* 36: 75- 81.
- Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamand, A., Masoomi, A., and Nabati, J. 2014. *Environmental Stress Physiology in Plants*. Third Edition, Jihad-e-Daneshgahi Mashhad Press. Mashhad, Iran. 502 p.
- Kafi, M., Rashed Mohasel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A. 2002. Saffron, Production

- and Processing. Zaban and Adab Publications, Iran. 276 p. (In Persian).
- Kalteh, M., Alipour, Z., Ashraf, S., Marashi Aliabadi, M., and Falah, A. 2014. Effects of silica nanoparticles on Basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. Journal of Chemical Health Risks 4 (3): 49-55.
- Koocheki, A., Siahmgoiyi, A., Azizi, G., and Jahan, M. 2011. The effect of high density and depth of planting on agronomic characteristic of Saffron (*Crocus sativus* L.) and corms behavior. Agricultural Ecology 1 (3): 36-49. (In Persian with English Summary).
- Khoramdel, S., Gheshm. R., Ghafori, A., and Esmaeil poor, B. 2013. Evaluation of the effect of soil texture and levels of superabsorbent polymer on agronomic properties and yield of saffron. Journal of Saffron Research 1 (2): 120-135. (In Persian with English Summary).
- Liang, Y.C. 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant and Soil 209: 217-228.
- Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.G., and 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., and 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.
- Lotifi Mohammadabadi, F. 2014. The role of stacosorb and zanos superabsorbents in improving the initial growth of plants under salinity stress. Master Thesis. Yazd Faculty of Agriculture and Natural Resources.
- Ma, J.F., and Takahashi, E. 1993. Interaction between calcium and silicon in water-cultured rice plants. Plant and Soil 148: 107-113.
- Mobasser, H.R., Ghanbari mellidareh, A., and 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 2008.
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L., and García-Luis, A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae Journal 103: 361-379.
- Munns, R., James, R.A., and Lauchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany 57 (5): 1025-1043.
- Nabati, J., Kafi, M., Masoumi, A., and 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., and Goulart-Silva, G. 2011. Dual-responsive 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., and 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.
- Sabet Teimouri, M., Avarseji, Z., and 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.
- Shi, Y., Li, J., Shao, J., Deng, Sh., Wang, R., Li, N., Sun, J., Zhang, H., Zhu, H., Zhang, Y., Zheng, X., Zhou, D., Huttermann, A., and Chen, Sh. 2010. Effects of Stockosorb and

- Luquasorb polymers on salt and drought tolerance of *Populus popularis*. *Scientia Horticulturae* 124: 268-273.
- Sonobe, K., Hattorri, T., Tsuji, W., Eneji, A., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K., and Inanaga, S. 2010. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition* 34: 71-82.
- Torbaghan, M.E., and Ahmadi, M.M. 2011. The effect of salt stress on flower yield and growth parameters of saffron (*Crocus sativus* L.) in greenhouse condition. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* 1 (10): 421-427.
- Wu, L., Liu, M.Z., and Liang, R. 2008. Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. *Bio Resource Technology* 99: 547-554.
- Zarafshar, M., Akbarinia, M., Askari, H., Hosseini, S.M., Rahaie, M., and Struve, D. 2015. Insignificant acute toxicity of SiO₂ nanoparticles to pear seedlings. *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 11 (1): 13-22.
- Zare, H.M., Ghanbarzadeh, Z., Behdad, A., and Mohsenzadeh, S. 2015. The effect of silicon and nano-silicon in reducing damage caused by salinity stress on corn seedlings. *Plant Biology of Iran* 7 (26): 59-74(In Persian with English Summary).
- Zuccarini, P. 2008. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biologia Plantarum* 52 (1): 157-160.

Investigation of Some Physiological and Functional Responses of Saffron (*Crocus sativus* L.) to Salinity Stress Under the Influence of Silicon, Nano-Silicon, and Superabsorbent Polymer

Somayeh Khoshpey¹, Reza Sadrabadi Haghighi^{2*} and Ahmad Ahmadian³

Submitted: 27 June 2021

Accepted: 6 November 2021

Khoshpey, S., Sadrabadi Haghighi, R., Ahmadian, A. 2022. Investigation of some physiological and functional responses of saffron (*Crocus sativus* L.) to salinity stress under the influence of silicon, nano-silicon, and superabsorbent polymer. Saffron Agronomy & Technology, 9(4):357-393.

Abstract

In order to study the physiological responses of saffron (*Crocus sativus* L.) to salinity stress under application Silicon, nano-silicon, and superabsorbent polymers, an experiment as split plots based on randomized complete block design, in three replications and two cropping years was performed in a farm located in Ziauddin section of TorbatHeydariyeh city. The main factor as irrigation water quality was at two levels (includes water with electrical conductivity of 1.96 ds.m^{-1} as control and water with an electrical conductivity of ds.m^{-1}) and sub-factor as the application of silicon and superabsorbent in six levels (includes non-consumption as a control, silicon, nano-silicon each with a concentration of 1.5 per thousand, superabsorbent (0.4 g.kg^{-1} dry weight of soil). Silicon with superabsorbent and nano-silicon with superabsorbent). The results showed that salinity reduces and consumes silicon and superabsorbent in both salinity treatments. A lack of salinity stress significantly increases important traits of reproductive growth, including the number of flowers, the weight of a single flower, average stigma length, and yield of saffron flower and stigma in both years of the experiment. The effect of treatments on saffron vegetative growth traits includes the number of leaves, average leaf weight, leaf yield, chlorophyll a and b contents, the characteristics of daughter corms, including the total number of daughter corms, and average number corm weight and yield of daughter corm in both years were significant. Salinity increased sodium and decreased leaf and corm potassium. While the use of silicon and superabsorbent to maintain cell membranes' stability significantly reduced the sodium content of leaves and corm under stress and increased the amount of potassium, concomitant use of nano-silicon with superabsorbent reduces sodium content by 27.5% and 23.7%, respectively. In addition, 22.1% and 33% increase in potassium content of saffron leaves and corm compared to the control in salinity conditions were recorded in the second year. Consumption of nano-silicon with superabsorbent in salinity conditions increased (46.8% and 54.3%) the yield of saffron flowers and stigmas in the second year compared to the first year. It also reduced the amount of proline in saffron leaves and corm in both years of the experiment. The experimental results showed that the combined application of nano-silicon and superabsorbent increased Saffron's quantitative and qualitative yield in salinity conditions.

Keywords: Bolourab A, Proline, Salinity stress.

1- Agronomy PhD Student, Agricultural Science Department, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

2- Professor, Agricultural Science Department, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

3- Assistant Professor of plant Production Department, and Researcher of Saffron Institute, University of TorbatHeydarieh, Iran

(*- Corresponding author Email: rsadrabadi@mshdiau.ac.ir)

DOI:10.22048/jsat.2021.292041.1430