مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۱ شماره ۲ صفحه های ۱۳۹ تا ۱۴۸ (۱۳۹۹)
مقاله پژوهشی

تاثیر سیلیسیم بر بهبود ویژگی‌های رشدی، عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی در شرایط کم آبیاری[1]

Effect of Silicon on Improving Vegetative Characteristics, and Fruit Yield and Quality of Tomato under Deficit Irrigation Conditions

زینب برزگرهفشجانی، محمود قاسم نژاد*، جمالعلی الفتی، احمد خلیقی و محمدرضا خالدیان[2]

چکیده

در این پژوهش تأثیر کم‌آبیاری و سیلیسیم بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی رقم بی‌اچ‌ان (*Lycopersicon esculentum* L. cv. BHN) بررسی شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح به‌طور کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. گیاهان گوجه‌فرنگی در گلدان حاوی محیط کشت کوکوپیت و پرلیت (نسبت ۸۰ به ۲۰ درصد حجمی) کشت شدند. گیاهان با سطح‌های مختلف (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و سیلیسیم (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیلیک اسید) تیمار شدند. نتیجه‌ها نشان داد که با افزایش میزان آبیاری رشد رویشی و هم‌چنین کیفیت میوه افزایش یافت. بیش‌ترین ارتفاع بوته و شمار میوه در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم، شمار و عملکرد میوه‌ها را به طور معنی‌داری در شرایط ۶۰ درصد نیاز آبی افزایش داد. کم‌آبیاری باعث افزایش معنی‌دار آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز شد. کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم، میزان ماده‌های جامد محلول را در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی افزایش داد. در مجموع، محلول‌پاشی با سیلیسیم با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اثرهای منفی تنش خشکی را در گوجه‌فرنگی کاهش داده و باعث بهبود رشد، عملکرد و کیفیت میوه شد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، تنش آبی، رشد رویشی و زایشی، سیلیسیلک اسید، کاتالاز.

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) یکی از منابع سرشار از ماده‌های معدنی، ویتامین‌ها و ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی و یکی از محصول‌های جالیزی مهم است که با نیاز بالای آبی (بیش از ۱۲ هزار مترمکعب در هر هکتار) در بیشتر کشورهای دنیا به جز مناطق بسیار سرد کشت می‌شود (۲۳). عملکرد این محصول در بسیاری از مناطق کشت و کار آن به‌دلیل مواجهه با شرایط نامطلوب محیطی از جمله دمای بالا، دمای پایین، خشکی، غرقاب و شوری خاک، کم‌تر از حد مطلوب می‌باشد (۱۸).

آب مهم‌ترین منبع مورد نیاز جامعه بشری است و موضوع چگونگی حفظ این منبع حیاتی و بهره‌برداری بهینه از آن به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر است (۹). از آن‌جایی که بخش بزرگی از زمین‌های ایران در نواحی خشک و نیمه خشک می‌باشد، مدیریت درست مصرف آب بسیار ضروری است. تعیین راهکارهای مناسب زراعی در مقابل کمبود آب اهمیت ویژه‌ای دارند و کم آبیاری یک راهبرد مناسب برای تولید محصول در شرایط کمبود آب است،که

۱- تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱/۱۴

۲- به ترتیب دانشجوی دکتری رشته علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاداسلامی، تهران، ایران، استاد، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاداسلامی، تهران و استادیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (Ghasemnezhad@Guilan.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]
[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

ممکن است همراه با کاهش محصول نیز باشد، اما در نهایت سود و یا عملکرد حاصل به ازای واحد آب مصرفی افزایش می‌یابد (۹). امیری و رستمی (۳) گزارش کردند که کم‌آبیاری موجب کاهش عملکرد و بهره‌وری آب و افزایش ویژگی‌های کیفی (ماده‌های جامد محلول، ویتامین C و pH میوه) در تمامی رقم‌های گوجه‌فرنگی در دشت مغان شد. در پژوهشی Shahein و همکاران (۱۹) به ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری بر گیاه گوجه‌فرنگی پرداختند و گزارش دادند بیش‌ترین تولید محصول در تیمار ۱۰۰ درصد و کم‌ترین مقدار آن در تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی بود. بالاترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی بود. هم‌چنین کم‌ترین میزان ماده‌های جامد محلول مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود (۳۵). یافته‌های بسیاری از پژوهشگران نشان داده است که کم آبیاری باعث کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و آب ذخیره شده در محصول گوجه‌فرنگی می‌شود (۹، ۱۹).

مدیریت صحیح تغذیه گیاهان به‌ویژه مصرف سیلیسیم در شرایط نامطلوب محیطی می‌تواند خسارت ناشی از تنش‌های محیطی را کاهش دهد. سیلیسیم عنصر ضروری برای گیاهان در نظر گرفته نشده است، اما در برخی از گیاهان یک عنصر ضروری است (۲۵). این عنصر می‌تواند باعث افزایش تولید و کیفیت محصول و کاهش تبخیر و تعرق شود. تاثیر سیلیسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به‌دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد که از این راه توانایی گیاه برای استفاده موثرتر نور را بالا می‌برد (۱۰). در مورد سودمندی سیلیکون در گیاهان گوجه‌فرنگی گزارش شده است که افزایش غلظت سیلیسیم تا ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش وزن خشک برگ و میوه، شمار میوه و کاهش میوه‌های ترک خورده در گیاه گوجه‌فرنگی شد (۱۶). یکی دیگر از اثرهایی که سیلیسیم روی گیاه می‌گذارد، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) عامل مهمی برای محافظت بافت‌های گیاهی در مقابل سمیت یاخته‌ای ناشی از وجود اکسیژن فعال است (۲۴).

با توجه به اثرهای مفید سیلیسیم در گیاهان متفاوت در برابر تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، هدف این پژوهش بررسی تاثیر سطح‌های مختلف سیلیسیم همراه با تیمار کم‌آبیاری در بهبود ویژگی‌های رشدی و آنزیمی و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی در گلخانه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در سال‌های ۹۷ -۱۳۹۶ اجرا گردید. در این پژوهش، اثر کم‌آبیاری (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تغذیه سیلیسیم (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر ویژگی‌های رویشی و آنزیمی میوه‌های گوجه‌فرنگی در سه تکرار بررسی گردید. در این پژوهش بذر گوجه‌فرنگی رقم بی‌اچان امریکایی[1] مورد استفاده قرارگرفت. برای تولید نشاء از گلدان‌های پلاستیکی استفاده گردید و پس از آبیاری گلدان‌های پلاستیکی بذرها در تاریخ ۹۶/۶/۳ در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متری کشت شدند. در طول دوره تولید نشاء، گلدان‌ها به طور روزانه آبیاری گردیدند. در این پژوهش از بستر کوکوپیت و پرلایت به‌عنوان یک بستر رایج برای پرورش گیاه گوجه‌فرنگی، استفاده گردید. نسبت حجمی این بستر شامل ۸۰٪ کوکوپیت و ۲۰٪ پرلایت بود. میانگین روزانه دما ۵±۲۰ و میانگین شبانه آن ۵±۱۵ درجه سلسیوس بود.

پس از اینکه نشاءها به اندازه ۵ تا ۴ برگی رسیدند، نشاها به داخل گلدان‌ها منتقل شدند و تغذیه گیاهان با محلول‌غذایی کامل هوگلند صورت گرفت. برای استقرار نشاها تا ۲۰ روز پس از کاشت (مرحله ۴ تا ۶ برگی) گلدان‌ها به مقدار مساوی و در دو نوبت آبیاری صورت گرفت و از سومین آبیاری، اعمال تیمارها شروع گردید. برای اندازه‌گیری میزان آب ورودی به هر کرت آزمایشی از یک کنتور حجمی استفاده شد.

نیاز آبی گیاه در هر مرحله بر اساس تبخیر و تعرق بالقوه، دور آبیاری و ضریب گیاهی مربوطه تعیین شد. برای تعیین تبخیر و تعرق بالقوه در داخل گلخانه از تشتک تبخیر استفاده شد. در مطالعه امیدی (۲) که در محل اجرای مطالعه انجام شد، بین تبخیر از تشتک و تبخیر و تعرق چمن کشت شده اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، بنابراین در مطالعه حاضر، تبخیر و

۱- *BHN Seed, U.S.A*

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

تعرق بالقوه برابر تبخیر از تشتک نصب شده در داخل گلخانه قلمداد شد. سپس با توجه به ضرایب گیاهی گوجه‌فرنگی Allen و همکاران (۸)، آب مورد نیاز گیاه تخمین زده شد. پس از محاسبه نیاز آبی، تیمار آبیاری کامل به‌عنوان (تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و دو تیمار دیگر (۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی) تعیین شدند که برای محاسبه آن‌ها نیاز آبی تیمار آبیاری کامل در ضرایب ۰/۶ و ۰/۸ ضرب شد.

سیلیسیم در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) از منبع سیلیسیک اسید (نام تجاری: سیلامول) مورد استفاده قرار گرفت که در دو نوبت، رشد رویشی و دوره گلدهی به صورت محلول‌پاشی انجام شد. پس از رسیدن به ارتفاعی در حدود ۶۰ سانتی‌متر، گیاهان توسط نخ بسته شدند. در پایان تمامی گیاهان هر واحد آزمایشی برای اندازه‌گیری ویژگی‌ها از گلدان خارج شدند و ویژگی‌ها اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که گیاهان گوجه‌فرنگی هفته‌ای ۲ بار برداشت داشتند. این پژوهش پس از هشت ماه در تاریخ ۲۶ اردیبهشت ۹۷ پایان یافت.

در پایان آزمایش از هر واحد آزمایشی که شامل ۵ بوته بود، طول بوته از محل طوقه تا انتهای ساقه اندازه‌گیری و یادداشت شد. میانگین به دست آمده به عنوان طول بوته در نظر گرفته شد. شمار میوه در ۵ بوته شمارش گردیدند. برای اندازه‌گیری وزن کل میوه از میانگین وزن میوه‌های برداشت شده از ۵ بوته استفاده گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) (EC 1.11.1.7) بافت میوه، پس از همگن شدن در ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم سرد حاوی ۲ درصد پلی وینیل پیرولیدین، با سرعت ۱۰۰۰ در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. مقدار جذب ترکیب واکنش حاوی آنزیم، بافر فسفات سدیم، پراکسیدهیدروژن (حل شده در بافر فسفات) و گوایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر خوانده و فعالیت آنزیم بر حسب گرم بر وزن تر در دقیقه گزارش شد (۶) .

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) (EC 1.11.1.6) بافت میوه پس از همگن شدن در ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم سرد حاوی ۲ درصد پلی وینیل پیرولیدین، با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. فعالیت آنزیم از راه کاهش جذب آب اکسیژنه توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر برای مدت زمان ۱ دقیقه اندازه‌گیری شد. یک واحد آنزیمی مقدار آنزیمی است که یک میکرومول آب اکسیژنه را در مدت یک دقیقه تجزیه کند (۶).

ماده‌های جامد محلول با استفاده از دستگاه رفرکتومتر دیجیتالی مدل PAL-3 ساخت ژاپن اندازه‌گیری و بر حسب درصد بیان شد. در نهایت تمام عملیات آماری توسط نرم افزار آماری SAS انجام شد و برای مقایسات میانگین‌ها از آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۱ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتیجه‌های حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته زیر تأثیر اثر ساده آبیاری در سطح ۱ ٪ معنی‌دار شد، اما اثر ساده سیلیسیم و برهمکنش آبیاری و سیلیسیم معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به آبیاری نشان داد که ارتفاع بوته با افزایش آبیاری، ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. به طوری که بالاترین ارتفاع بوته در سطح ۱۰۰ ٪ نیاز آبی (۲۲۷/۳ سانتی‌متر) مشاهده شد، اگرچه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با سطح ۶۰٪ نیاز آبیاری نداشت (شکل ۱). با افزایش میزان آبیاری رشد رویشی گیاه افزایش یافت و بیش‌ترین ارتفاع بوته در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. علت این امر را می‌توان بدین صورت بیان نمود که ریشه‌های گیاهان ماده‌های غذایی و آب را از سطح‌های بالایی خاک در شرایطی که تنش آبی نباشد، جذب می‌کنند و ۲۵ سانتی‌متر اول ناحیه ریشه در پروفیل خاک ۴۰ درصد آب جذب شده را در اختیار گیاه قرار می‌دهد. کاهش رطوبت خاک در مرحله رشد رویشی منجر به رشد ضعیف ریشه‌ها و تخصیص ماده‌های پرورده (آسیمیلات) کم‌تری به اندام‌های هوایی شده که در نهایت منجر به کاهش رشد از جمله ارتفاع بوته می‌شود (۱۴). امیری و رستمی اجیرلو (۳) با بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی گوجه‌فرنگی گزارش کردند که کمترین ارتفاع بوته و شمار شاخسارهدر زمان قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی مشاهده شد. اکبری (۱) گزارش کرد که تنش آبی تأثیر منفی بر ارتفاع بوته داشت. کم‌آبی طویل شدن ساقه گوجه‌فرنگی در مرحله رشد رویشی و هم‌چنین تولید زیست‌توده ساقه را در مرحله زایشی کاهش داد (۱۴) که این پژوهش‌های بیان شده با نتیجه‌های این پژوهش مطابقت دارد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

دلیل افزایش طول بوته در آبیاری ۶۰ ٪ نسبت به ۸۰٪، شاید به قدرت بازیافت بوته گوجه‌فرنگی برمی‌گردد که در تنش شدید با آبیاری مجدد، رشد خود را دوباره از سر می‌گیرد که این موضوع به پژوهش‌های بیشتر در این زمینه نیاز دارد.

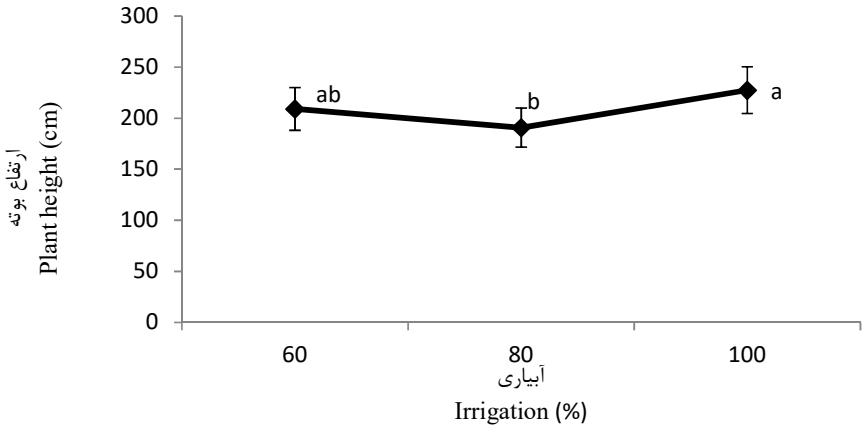

Fig. 1. Effect of deficit irrigation on tomato plant height. Means in chart with the same letters are not significantly different using LSD Test ($P \leq 0.05$).

شکل ۱- اثر کم‌آبیاری بر ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی. میانگین‌های که در نمودار دارای یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون LSDدر سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشند.

شمار میوه

نتیجه‌های حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شمار میوه نشان داد که شمار میوه زیر تأثیر اثر ساده آبیاری و سیلیسیم و برهمکنش آبیاری و سیلیسیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید. مقایسه برهمکنش کم آبیاری و سیلیسیم بر شمار میوه نشان داد که کاهش سطح آبیاری از نیاز کامل گیاه به ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی باعث کاهش شمار میوه گردید. به‌طوری که بالاترین شمار میوه در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری همراه با ۲۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بود. تیمار سلیسیم توانست اثرهای منفی کم آبیاری بر شمار میوه را کاهش دهد. به طوری که شمار میوه‌های بوته‌هایی که با ۶۰ درصد نیاز آبی تیمار شده بودند، همراه با محلول پاشی برگی سیلیسیم هیچ تفاوتی را با شاهد نشان ندادند (شکل ۲).

با افزایش میزان آبیاری، شمار میوه افزایش یافت. به نظر می‌رسد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی به دلیل ریزش گل‌ها، تأثیر منفی بر دانه‌های گرده گل‌ها و در پی آن بارور نشدن مادگی موجب کاهش شمار میوه در هر بوته می‌شود (۱۴). در این راستا امیری و رستمی اجیرلو (۳) گزارش کردند که قطع آبیاری در مرحله زایشی موجب کاهش اجزای عملکرد (شمار میوه، وزن متوسط میوه و قطر میوه) شد. اکبری (۱) گزارش نمود تنش کم‌آبی، بیش‌ترین تأثیر را بر بارور نشدن گل‌ها و ریزش آن‌ها داشته است، آن چنان که در طول اجرای آزمایش، ریزش شدید گل‌ها در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی موجب کاهش شدید شمار میوه و در نتیجه عملکرد میوه شد. هم‌چنین نتیجه‌های پژوهش حاضر با یافته‌های Shao و همکاران (۲۰) نیز مطابقت داشت.

با افزایش میزان سیلیسیم، شمار میوه افزایش یافت. افزایش رشد و عملکرد گیاه در حضور سیلیسیم می‌تواند ناشی از انباشت سیلیسیم در برگ‌ها باشد و با بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها باعث ایستادگی ساقه و گسترش برگ‌ها در برابر نور و افزایش جذب نور و ظرفیت توان نورساختی برگ‌ها در گیاه شود (۳). سیلیسیم می‌تواند با محافظت از ساختارهای غشای پلاسمایی و بافت‌های گیاهی در برابر اثرهای نامناسب رادیکال‌های آزاد از راه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تحریک فعالیت H^+-ATPase باعث بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شود (۱۵). هم‌چنین شاید بتوان از سیلیسیم به عنوان یک عنصر مفید در افزایش عملکرد گیاهان زراعی و هم‌چنین افزایش تحمل آن‌ها به تنش‌های محیطی استفاده نمود. کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم، توانست شمار میوه را در سطح‌های پایین آبیاری (۶۰٪ نیاز آبی) افزایش دهد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

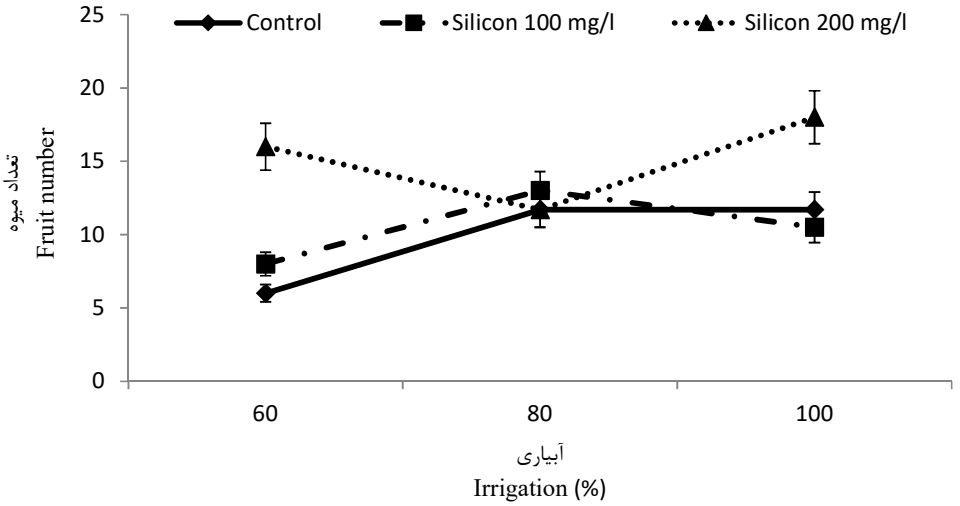

Fig. 2. Effect of deficit irrigation and silicon foliar application on fruit number. Means in chart with the same letters are not significantly different using LSD Test ($P \leq 0.05$).

شکل ۲- اثر کم‌آبیاری و کاربرد برگی سیلیسیم بر شمار میوه. میانگین‌های که در نمودار دارای یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشند.

عملکرد میوه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد عملکرد میوه زیر تأثیر اثر ساده آبیاری در سطح ۱ ٪ و برهمکنش آبیاری و سیلیسیم در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید و اثر ساده سیلیسیم معنی‌دار نشد. مقایسه برهمکنش کم آبیاری و سیلیسیم بر عملکرد میوه نشان داد که در تیمار شاهد با کاهش نیاز آبی، عملکرد میوه کاهش یافت. ولی با کاربرد سیلیسیم، با وجود افزایش کم‌آبیاری (۶۰ درصد نیاز آبی) عملکرد افزایش یافت؛ این در صورتی است که این افزایش در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیم بیشتر بود (شکل ۳).

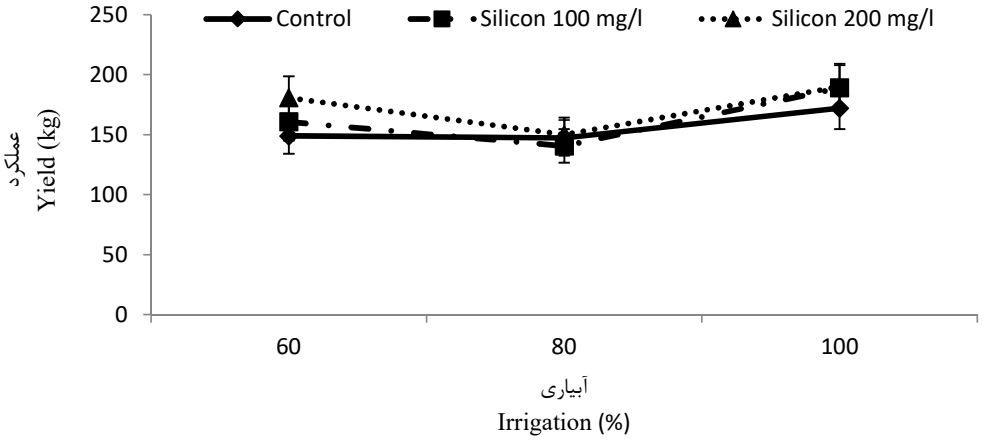

Fig. 3. Effect of deficit irrigation and silicon foliar application on tomato fruit yield in plant. Means in chart with the same letters are not significantly different using LSD Test ($P \leq 0.05$).

شکل ۳- اثر کم‌آبیاری و کاربرد برگی سیلیسیم بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در بوته. میانگین‌های که در نمودار دارای یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد که از این راه توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور را بالا می برد. هم‌چنین کاربرد سیلیسیم محلول جهت تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیس‌فسفات کربوکسیلاز در برگ لازم است. این آنزیم سوخت و ساز دی اکسیدکربن را تنظیم کرده و در نتیجه کارایی تثبیت دی اکسیدکربن توسط گیاهان را افزایش می‌دهد و در نهایت منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه و افزایش عملکرد حتی در شرایط تنش می‌شود (۱۰). نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نیز بیانگر تأثیر مثبت کاربرد سیلیسیم بر عملکرد گیاه است (۱۶).

آنزیم کاتالاز

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آنزیم کاتالاز زیر تأثیر اثرهای ساده آبیاری و سیلیسیم در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید و برهمکنش آبیاری و سیلیسیم معنی‌دار نگردید. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثر آبیاری نشان داد که آنزیم کاتالاز با افزایش میزان آبیاری کاهش یافت، به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به‌ترتیب در سطح‌های ۶۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۲۵/۳ و ۲۳/۰۳ یونیت بر گرم وزن تر بر دقیقه بود (شکل ۴). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثر سیلیسیم نشان داد که آنزیم کاتالاز با افزایش غلظت سیلیسیم، افزایش یافت. به طوری که بیش‌ترین میزان آنزیم کاتالاز در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۲۵/۵ یونیت بر گرم وزن تر بر دقیقه مشاهده شد (شکل ۵).

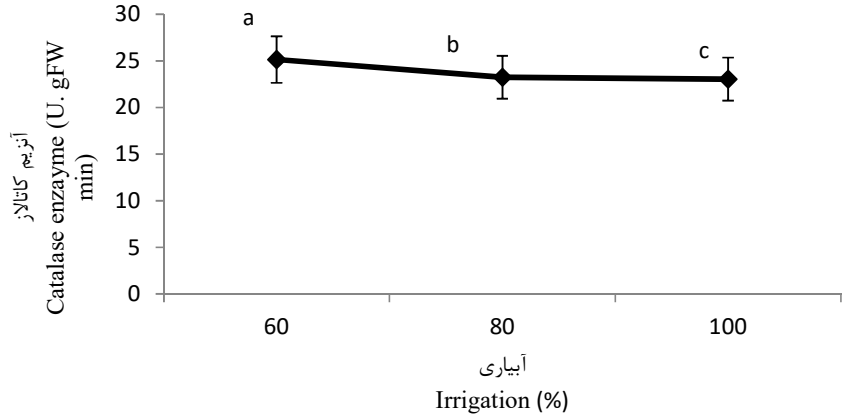

Fig. 4. Effect of deficit irrigation on catalase enzyme activity in tomato fruit. Means in chart with the same letters are not significantly different using LSD Test ($P \leq 0.05$).

شکل ۴- اثر کم‌آبیاری بر فعالیت آنزیم کاتالاز میوه گوجه‌فرنگی. میانگین‌های دارای حروف در نمودار که دستکم دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵٪ آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

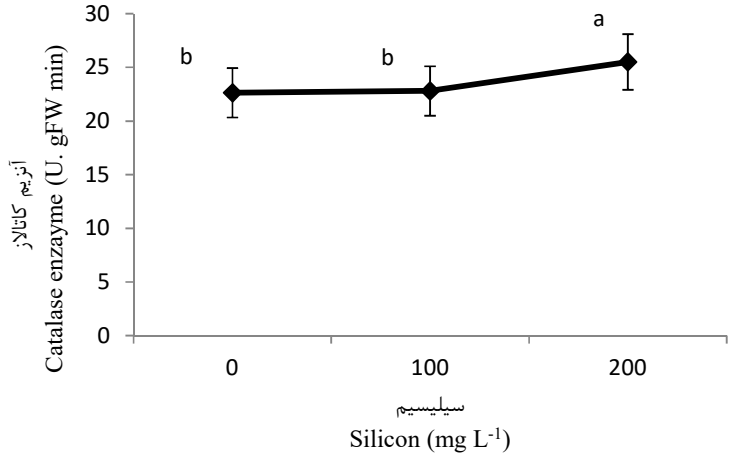

Fig. 5. Effect of silicon foliar application on catalase enzyme activity in tomato fruit. Means in chart with the same letters are not significantly different using LSD Test ($P \leq 0.05$)

شکل ۵- اثر محلول‌پاشی برگی سیلیسیم بر فعالیت آنزیم کاتالاز میوه گوجه‌فرنگی. میانگین‌های که در نمودار دارای یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

آنزیم پراکسیداز

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به آنزیم پراکسیداز نشان داد که آنزیم پراکسیداز زیر تأثیر اثرهای ساده آبیاری در سطح ۵٪ معنی‌دار گردید و اثر ساده سیلیسیم و برهمکنش آبیاری و سیلیسیم معنی‌دار نگردید. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که آنزیم پراکسیداز با افزایش آبیاری، کاهش یافت؛ به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آنزیم پراکسیداز به ترتیب در سطح‌های ۶۰ و ۱۰۰ ٪ نیاز آبی به ترتیب ۲۳/۵۳ و ۲۱/۸یونیت بر گرم وزن تر بر دقیقه مشاهده شد (شکل ۶).

با کاهش میزان آبیاری، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز افزیش معنی‌داری یافت. در شرایط تنش‌های محیطی تولید رادیکال‌های آزاد (ROS) در گیاهان افزایش می‌یابد که این ROS به غشای یاخته‌ای آسیب وارد کرده و باعث از بین رفتن ساختار کلروفیل می‌گردد. گیاهان دارای سازوکارهای آنزیمی و غیرآنزیمی برای از بین بردن این رادیکال‌های آزاد یا غیرفعال کردن آن‌ها می‌باشند که در یاخته‌های گیاهی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD) و کاتالاز (CAT) فعالیت دارند که به عنوان یک سیستم دفاعی عمل می‌کنند و رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند و یاخته را در برابر آسیب اکسیداتیو حفاظت می‌کنند (۱۲). آنزیم کاتالاز عمل دیسموتاسیون هیدروژن پراکسید به اکسیژن و آب را کاتالیز می‌کند. افزایش فعالیت کاتالاز در گیاهان یک ویژگی سازشی بوده و با کاهش میزان هیدروژن پراکسید حاصل از متابولیسم یاخته‌ای از آسیب رسیدن به بافت جلوگیری می‌کند (۱۲). آنزیم پراکسیداز نقش جاروب کردن هیدروژن پراکسید را به عهده دارد و می‌تواند نقش ویژه‌ای را در تنظیم میزان ROS در شرایط تنش داشته باشند (۱۲).

براساس نتیجه‌های این پژوهش، با افزایش میزان سیلیسیم، فعالیت آنزیم پراکسیداز افزیش یافت. نقش سیلیسیم در کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها می‌تواند با نقش آنتی‌اکسیدانی این ماده در دفاع از گیاه مرتبط باشد. افزودن سیلیس به محیط رشد گیاه می‌تواند فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را زیر تاثیر قرار دهد که میزان تأثیر به زمان استفاده و نوع گونه گیاهی بستگی دارد (۲۵). بررسی‌های صورت گرفته نشان داده است که میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در حضور سیلیکون در گیاه افزایش یافته و با کاهش محتوای H_2O_2 و رادیکال‌های آزاد از تخریب یاخته‌های گیاهی در برابر حمله ROS جلوگیری می‌کند (۲۱). سیلیکون با محافظت از غشاهای یاخته‌ای از دسترسی پروتئازها به پروتئین‌های داخلی غشاء و تخریب و بهم ریختگی غشاء یاخته‌ای جلوگیری می‌کند. (۲۱). نتیجه‌های این پژوهش با پژوهش‌های موسی‌پور یحیی‌آبادی و اصغری‌پور (۶) مطابقت دارد، در پژوهش آنان مشخص شد که تیمار ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکون میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز رازیانه را در شرایط تنش خشکی شدید افزایش داد.

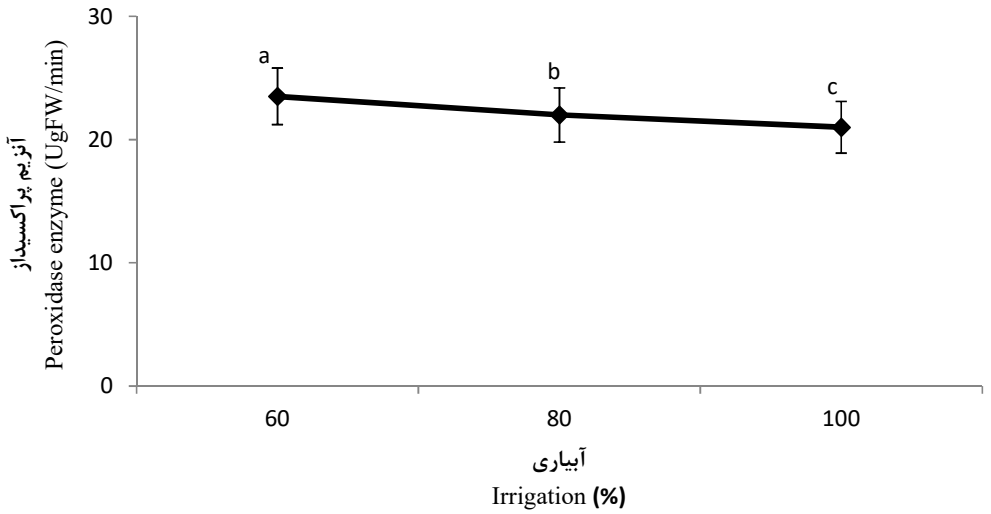

Fig. 6. Effect of deficit irrigation on peroxidase activity of tomato fruits. Means in chart with the same letters are not significantly different using LSD Test ($P \leq 0.05$)

شکل ۶- اثر کم‌آبیاری بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در میوه گوجه‌فرنگی. میانگین‌های که در نمودار دارای یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

ماده‌های جامد محلول

نتیجه‌های حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ماده‌های جامد محلول زیر تأثیر اثر ساده آبیاری و برهمکنش آبیاری و سیلیسیم در سطح ۱ احتمال ٪ قرار گرفت، اما اثر ساده سیلیسیم معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثر برهمکنش کم آبیاری و سیلیسیم بر ماده‌های جامد-محلول نشان داد که عدم استفاده از سیلیسیم در هیچ یک از سطح‌های خشکی اثر معنی‌داری بر ماده‌های جامد محلول نداشت، اما استفاده از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم در آبیاری ۸۰ درصد و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم در آبیاری ۱۰۰ درصد به طور معنی‌داری باعث افزایش میزان ماده‌های جامد محلول شد. به طوری که ماده‌های جامد محلول را به طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۷).

براساس نتیجه‌های این پژوهش با کاهش آبیاری تا ۸۰ درصد نیاز آبی، مقدار کل ماده‌های جامد محلول گوجه‌فرنگی افزایش یافت. دلیل اساسی انباشت ماده‌های جامد محلول در یاخته در اثر کمبود آب آبیاری، غلبه بر کاهش پتانسیل اسمزی بوده و در نتیجه، آب ذخیره شده کاهش و مقدار ماده‌های جامد انحلال‌پذیر افزایش پیدا می‌کند (۱۸). به طور کلی، افزایش در میزان ماده‌های جامد محلول در گیاه در شرایط کم‌آبیاری، راهبردی است که گیاهان برای تنظیم اسمزی و استفاده از آن در جهت تحمل تنش استفاده می‌نمایند (۱۳). سالاری نژاد و همکاران (۷) تاثیر کم‌آبیاری بر کیفیت و درصد فسادپذیری رقم‌های گوجه‌فرنگی در منطقه جیرفت را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌های آزمایش نشان داد که کم‌آبیاری بر عملکرد، ماده‌های جامد محلول و درصد ماده خشک در میوه گوجه‌فرنگی در سطح ۱٪ معنی‌دار شد. به طور کلی نتیجه‌های این آزمایش بیانگر آن است که کم‌آبیاری باعث کاهش شاخص‌های رویشی و افزایش ویژگی‌های کیفی رقم گوجه‌فرنگی مورد آزمایش شد. نتیجه‌های پژوهش حاضر با یافته‌های اکبری (۱) و سالاری‌نژاد و همکاران (۴) مطابقت داشته است. دلیل کاهش ماده‌های جامد محلول در آبیاری (۶۰ درصد نیاز آبی) را می‌توان به دلیل دشواری‌های فتوسنتزی به احتمال بر اثر تنش و کاهش در انباشت ماده‌های فتوسنتزی دانست. در پژوهش حاضر سیلیسیم باعث افزایش ماده‌های جامد محلول شد. سیلیسیم بر متابولیسم قندها و پخش ماده‌های فتوسنتزی در گیاهان در حال رشد اثر چشمگیری گذاشته و باعث افزایش آن می‌گردد. با توجه به این نتایج می‌توان عنوان کرد که سیلیسیم، ذخیره کربوهیدراتی گیاهان در شرایط تنش را برای فرآیندهای متابولیک و حفظ متابولیسم پایه در حد مطلوب نگه داشته است. سیلیسیم هم‌چنین با افزایش کربوهیدرات‌ها در شرایط تنش خشکی، گیاهان را از تخریب اکسیداتیو محافظت نموده و باعث بقای ساختار غشای پروتئین خواهد شد (۲۲). نتیجه‌های این پژوهش با پژوهش‌های موسی پور یحیی آبادی و اصغری پور (۶) و سعادتمند و انتشاری (۵) مطابقت دارد.

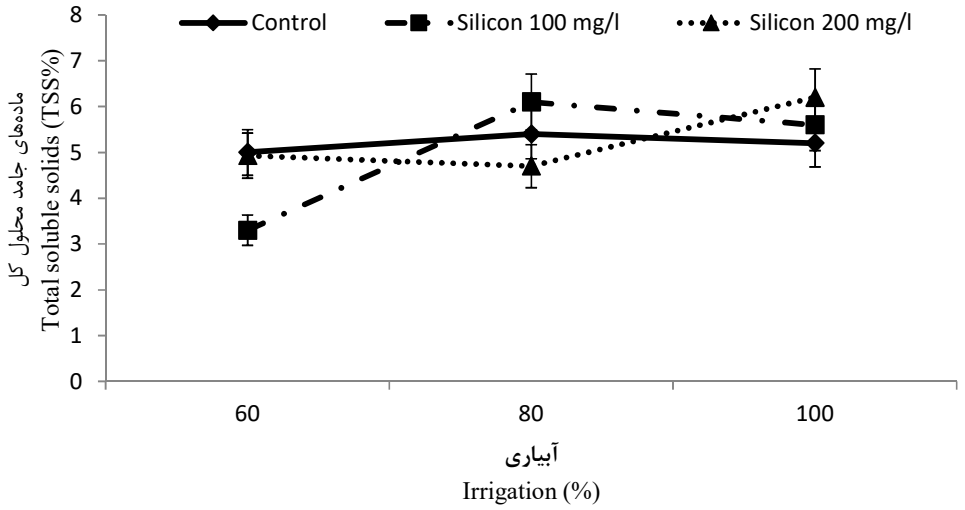

Fig. 7. Effect of deficit irrigation and silicon foliar application on total soluble solids. Means in chart with the same letters are not significantly different using LSD Test (P≤0.05).

شکل ۷- اثر کم‌آبیاری و کاربرد برگی سیلیسیم بر ماده‌های جامد محلول کل. میانگین‌های که در نمودار دارای یک حرف مشترک هستند از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتیجه‌های حاصل از این پژوهش نشان داد، کاهش نیاز آبی گیاه در هر مرحله رشدی از گیاه گوجه‌فرنگی در مقایسه با آبیاری عادی (۱۰۰ درصد نیاز آبی) موجب کاهش ویژگی‌های رویشی و زایشی و ویژگی‌های کیفی مانند ماده‌های جامد محلول کل و افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شد. کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم به صورت محلول‌پاشی منجر به افزایش شمار و عملکرد میوه و ماده‌های جامد محلول در سطح‌های پایین آبیاری (۶۰٪ نیاز آبی) شد. کاربرد سیلیسیم موجب کاهش تنش اکسیداتیو روی گیاه گردید، به طوری که با افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدان نظیر کاتالاز و پراکسیداز با کاربرد سیلیسیم افزایش یافت. هم‌چنین این ماده با بالا بردن محتوای تنظیم‌کننده‌های اسمزی (ماده‌های جامد محلول کل) باعث افزایش کیفیت میوه و افزایش تحمل گیاه در برابر تنش کم‌آبی شد. بنابراین، تیمار سیلیسیم راهکار مناسبی برای بهبود تحمل گیاه گوجه‌فرنگی نسبت به تنش کم‌آبی و افزایش کیفیت میوه می‌باشد.

منابع References

۱. اکبری. م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کم آبیاری بر رشد، عملکرد و کیفیت پس از برداشت دو رقم گوجه فرنگی پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اردبیل.

۲. امیدی، ا. ۱۳۹۶. برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی گل سوسن در شرایط کشت گلخانه‌ای در شهرستان رشت. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان.

۳. امیری، ا. و ا. رستمی اجیرلو. ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد، ویژگی‌های کیفی و بهره‌وری آب رقم‌های متفاوت گوجه‌فرنگی در دشت مغان. تحقیقات آب و خاک ایران، ۲۶۸-۲۶۱ :۴۹.

۴. سالاری نژاد، ب.، م، هنرور. و غ. ر. افشارمنش. ۱۳۹۰. تاثیر کم آبیاری بر کیفیت و درصد فساد پذیری رقم‌های گوجه فرنگی در منطقه جیرفت. هفتمین کنگره علوم باغبانی ایران، ۸ صفحه.

۵. سعادتمند، م. و ش. انتشاری. ۱۳۹۱. اثر طول زمان پیش تیمار با سیلیکون بر تحمل شوری در گیاه گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & C.A. mey). علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۵۷-۴۵ :۳.

۶. موسی‌پور یحیی آبادی، ح. و م. ر. اصغری‌پور. ۱۳۹۵. اثرات تنش خشکی و برهمکنش آن با سیلیکون بر سامانه آنتی‌اکسیدان و میزان پراکسیداسیون لیپیدی رازیانه (*Foeniculum vulgar*). فرآیند و کارکرد گیاهی، ۸۵-۷۱ :۵.

۷. نودهی، د.، ع. ا. عزیزی زمان. و ر. رضایی سوخت آبندانی. ۱۳۹۲. بررسی رابطه میزان مصرف آب و عملکرد گوجه‌فرنگی در استان مازندران. پژوهش آب در کشاورزی، ۵۱۲-۵۰۳.

8. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome. 300 p.
9. Amini far, J., Gh. Mohsen Abadi., M.H. Beigloii, and H. Sami Zadeh. 2013. Effect of deficit irrigation on yield, yield components and water productivity of soybean T.215 cultivar. J. Water. Irrig. Engin. 3 (11): 24-34.
10. Cherif, M., and R.R. Belanger. 1992. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long English cucumber. J. Plant Dis. 76(10): 1008-1011.
11. Dhindsa, R. S., P. Plumb–Dhindsa and T. A. Thrope. 1981. Leaf Senescence: correlated with increased levels of membrance permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. J. Exp. Bot. 32: 43-101.
12. Gill, S. S. and N. Tuteja. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physio. Bioch. 48: 909-930.
13. Gine-Bordonaba, J. and L. A. Terry. 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria* x *ananassa*) fruit and leaves. Sci. Hort. 199: 63-70.
14. Jureková, Z., K. Németh-Molnár, and V. Paganová. 2011. Physiological responses of six tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars to water stress. J. Hort. Fores. 3(10): 294-300.
15. Liang, Y., Q. Chen, Q. Liu, W. Zhang and R. Ding. 2007. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stressed barely (*Hordeum vulgar* L.). J. Plant Physio. 160: 1157-1164
16. Marodin J.C., G.F. Resende Morales, M. LS. Silva, G. G. Alexandre and D. S. Zanin. 2014. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. Hort. Brasi. 32: 220-224.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

17. Miguel, A. and M. Francisco. 2007. Response of tomato plants to deficit irrigation under surface or subsurface drip irrigation. J. Appl. Hort. 9(2): 97-100.
18. Modarresy, M. and S. Rastgu. 2012. Reaction of yield and some morphological characteristics of different variety of tomato under heat stress. J. Field Crop Sci. 44(1): 59-67.
19. Shahein M.M., M. A. Abuara, and A. M. Hassan. 2012. Effects of regulated deficit irrigation and phosphorus fertilizers on water use efficiency, yield and total soluble solids of tomato. Amer. J. Agr. Environ. Sci. 12(4): 1295-1304.
20. Shao, G.C., S. Deng, N. Liu, M. H. Wang, and D. L. She. 2015. Fruit quality and yield of tomato as influenced by rain shelters and deficit irrigation. J. Agr. Sci. Technol. 17(4): 691-704.
21. Shen, X., Y. Zhou, L. Duan, Z. Li, A. E. Eneji, and J. Li. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean antioxidative systems in two cottons. Gener. Appl. Plant Physio. 33: 221-234.
22. Verma, S. and R. S. Dubeym. 2001. Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. Bio Plan. 1: 117-123.
23. Xiukang, W. and X. Yingying. 2016. Evaluation of the effect of irrigation and fertilization by drip fertigation on tomato yield and water use efficiency in greenhouse. Int. J. Agron. 4(16): 1-10.
24. Zeng, F. R., F.S. Zhao, B.Y. Qiu, Y. N. Ouyang, F. B. Wu, and G. P. Zhang. 2011. Alleviation of chromium toxicity by silicon addition in rice plants. Agr. Sci. China. 10: 1188-1196.
25. Zhu, Y. and H. Gong. 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. Agro. Sustain Dev. Sprin. 34 (2): 455- 472.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 21 (2): 139 - 148 (2020)
Research article

Effect of Silicon on Improving Vegetative Characteristics, and Fruit Yield and Quality of Tomato under Deficit Irrigation Conditions

Z. Barzegar, M. Ghasemnezhad*, J.A. Olfati, A. Khalighi and M.R. Khaledian[1]

In this study, the effects of deficit irrigation along with a foliar application of silicon on growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L. cv BHN) were evaluated. This experiment was conducted as a factorial arrangement in a completely randomized design with three replications. Tomato plants were planted in pots containing coco-peat and perlite (80:20 v/v). The plants were treated with different irrigation levels (60, 80, and 100% full irrigation) and different levels of silicon (0, 100, and 200 mg L^{-1}). Results showed that with an increase in irrigation levels vegetative growth and fruit quality was improved. The highest plant height and fruit number were found in 100% water requirement. Application of 200 mg L^{-1} silicon significantly increased fruit number and yield in 60% deficit irrigation. Deficit irrigation significantly increased catalase and peroxidase enzyme activity. The application of 100 mg L^{-1} silicon could increase TSS in 80% deficit irrigation. Overall, it seems that foliar application of silicon (200 mg L^{-1}) could alleviate the negative effects of drought stress in tomato and improved growth, yield, and fruit quality under drought stress conditions.

Keywords: Catalase, Peroxidase, Silicilic acid, Vegetative and reproductive growth, Water stress.

1. Ph.D. Student, Department of Horticultural Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Professor, Associate Professors, Department of Horticultural Science, University of Guilan, Professor, Science and Research Branch, Tehran and Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran, respectively.
* Corresponding author, Email: (Ghasemnezhad@Guilan.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-02-25]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1399.21.2.5.1]