فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۵۹، فروردین و اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۲۵-۴۱
https://doi.org/10.22034/13.59.25

مقاله پژوهشی

تأثیر سیلیکات پتاسیم و ال- سیستئین بر عملکرد، کارآیی مصرف آب و کیفیت میوه فیسالیس (*Physalis peruviana* L.) تحت شرایط کم‌آبی

آرزو خانی[۱]، طاهر برزگر[۱*] و جعفر نیکبخت[۲]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

[۲] گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴)

چکیده

امروزه به‌دلیل تغییرات آب و هوا و کاهش بارندگی، تولید محصولات کشاورزی در بسیاری از مناطق، به خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک با مشکل مواجه شده است. به‌همین منظور، جهت مطالعه تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و ال- سیستئین بر کارآیی مصرف آب، عملکرد کمی و کیفی فیسالیس (*Physalis peruviana* L.) تحت شرایط کم‌آبی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه زنجان در سال ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در سه سطح (۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، اسیدآمینه ال- سیستئین در دو سطح (۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) و آب مقطر (شاهد) به‌عنوان فاکتور فرعی بود. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی محتوای مواد جامد محلول کل، اسید قابل تیتراسیون، کاروتنوئید و پروتئین میوه را افزایش و میزان ویتامین ث، تعداد میوه و عملکرد میوه را کاهش داد. کاربرد سیلیکات پتاسیم به‌ویژه در سطوح ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اسیدآمینه ال- سیتئین محتوای کاروتنوئید، اسید قابل تیتراسیون، ویتامین ث و پروتئین و عملکرد میوه را در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد و تنش کم‌آبی بهبود بخشیدند. بیشترین عملکرد میوه با کاربرد سیستئین ۴۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب در شرایط آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد. بیشترین کارآیی مصرف آب (۲/۵۳ و ۲/۴۳ کیلوگرم در مترمکعب) به‌ترتیب در گیاهان تیمارشده با ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر سیستئین تحت شرایط آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. لذا، کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم و یا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر سیستئین جهت افزایش کیفیت و عملکرد میوه فیسالیس در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: تعداد میوه، کاروتنوئید، مواد جامد محلول، ویتامین ث

مقدمه

فیسالیس یا عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) گیاهی علفی و یکساله از خانواده Solanaceae است که میوه رسیده آن ارزش خوراکی و دارویی دارد و دارای مقادیر بالایی از ویتامین‌های A، B و C، پروتئین و مواد معدنی فسفر، آهن و آنتی‌اکسیدان‌ها است. علاوه‌بر این، به‌عنوان منبعی از ترکیبات

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: tbarzegar@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

زیست فعال است که نقش مثبتی در سلامت انسان و صنعت پزشکی دارد. با این حال، مناطق تولید فیسالیس به‌دلیل تغییرات آب و هوایی جهانی، به‌طور گسترده‌ای مستعد دوره‌های خشکسالی و کم‌آبی هستند (Rugeles Reyes *et al*., 2019).

با توجه به کمبود منابع آبی، کم‌آبی به‌عنوان یک عامل تنش‌زا، تهدیدی برای امنیت غذایی جهان می‌باشد و با کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تنظیم اسمزی و هدایت روزنه‌ای و کاهش ساخت پروتئین و کلروفیل، سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز و در نهایت سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Kapoor *et al*., 2020). همچنین به‌دلیل تغییر متابولیسم گیاه، سبب تغییر در تعادل هورمونی و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و گونه‌های فعال نیتروژن (RNS) می‌شود که متابولیسم طبیعی سلول را با ایجاد پراکسیداسیون لیپیدها، اکسیداسیون پروتئین‌ها و آسیب به اسیدهای نوکلئیک مختل می‌کند (Sharma *et al*., 2020). با این حال، گیاهان به‌طور طبیعی می‌توانند از طریق مکانیسم‌های دفاعی شامل سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی و تولید پروتئین‌ها، تنش اکسیداتیو را تحمل کنند (Basu *et al*., 2016). گزارش شده است که در فیسالیس رقم پرووایانا با کاهش سطوح آبیاری، تعداد میوه، وزن تر میوه، مواد جامد محلول، کیفیت میوه فیسالیس و در نهایت عملکرد میوه کاهش یافت که انتظار می‌رود به‌دلیل کاهش گلدهی و افزایش در میزان ریزش گل باشد (Barbosa *et al*., 2019). همچنین گزارش شد که افزایش شدت تنش کم‌آبی باعث افزایش تخریب غشاء و پراکسیداسیون لیپیدی، و در نتیجه تشدید نشت یونی در گیاه فیسالیس شد (Rugeles Reyes *et al*., 2019).

یکی از راهکارهای تعدیل اثرات منفی ناشی از تنش خشکی، تغذیه گیاه در جهت افزایش تحمل آن به تنش، حفظ کمیت و کیفیت گیاهان است. اخیراً توجه زیادی به معرفی برخی از مواد طبیعی یا زیستی برای افزایش تحمل گیاهان به تنش آبی شده است (El-Saadony *et al*., 2021). سیلیس به عنوان یک عنصر مفید برای گیاه، نقش مثبتی در تعدیل آثار نامطلوب تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی دارد که در محصولاتی نظیر گوجه‌فرنگی و خیار گزارش شده است (Sahebi *et al*., 2015). مکانیسم اثرگذاری سیلیکون بر تعدیل اثرات تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان بیشتر به نقش آن در استحکام دیواره سلولی، تنظیم فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و آنزیمی گیاه، تشکیل کمپلکس‌های پایدار با عناصر سمی و افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی ضروری گیاه از طریق اثرگذاری بر خصوصیات خاک گزارش شده است (Pavlovic *et al*., 2021). کاربرد سیلیکون در گیاه رازیانه با تأثیر بر برخی فعالیت‌های فیزیولوژیکی، مقادیر مواد مغذی و افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی، با حفظ یکپارچگی و پایداری غشای سلولی، تحمل به کم‌آبی، و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه را بهبود بخشید. همچنین تیمار ۷/۵ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، پرولین و قندهای محلول را افزایش و سبب کاهش ۲۸ درصدی نشت یونی نسبت به تیمار شاهد گردید (Asgharipour and Mosapour, 2016). از این رو، می‌تواند به‌عنوان محرکی برای دفاع بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی باشد (Araujo *et al*., 2019).

اسیدآمینه‌ها به‌عنوان کود زیستی به‌منظور بهبود رشد و افزایش کمی و کیفی محصولات کاربرد دارند و ممکن است به طور مستقیم یا غیرمستقیم در کاهش تنش‌های اکسیداتیو گیاه نقش داشته باشند (Garcia *et al*., 2011). ال- سیستئین یک اسیدآمینه حاوی گوگرد است که به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی و یک جاذب کارآمد برای گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌کند. این به‌دلیل وجود زنجیره جانبی تیول است که به آرامی اکسید می‌شود و از آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزنده محافظت می‌کند (Genisel *et al*., 2015). ال- سیستئین در سیتوزول، پلاستیدها و میتوکندری از سرین سنتز می‌شود و یکپارچگی غشاء را با کاهش تجمع نشت یونی و مالون دی‌آلدهید حفظ می‌کند. پیش‌ماده پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، کوفاکتورها، آنتی‌اکسیدان‌ها مانند گلوتاتیون و برخی از ترکیبات دفاعی است و گزارش شده است که میوه تحت تیمار با ال- سیستئین دارای ویتامین ث، آنتوسیانین، فلاونوئیدها و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

فنل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به شاهد در شرایط تنش بود (Sogvar *et al.*, 2020). همچنین نتایج نشان داد که کاربرد ال- سیستئین در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در کلم بروکلی، سطح برگ، وزن تازه شاخه‌ها، وزن خشک ریشه و عملکرد بوته را افزایش داد (Shekari and Javanmardi, 2017).

به‌دلیل خشکسالی‌های متوالی چند سال اخیر و کمبود آب کشاورزی در ایران به نظر می‌رسد کشاورزان به منظور کاهش آب مصرفی باید مدیریتی صحیح و منطقی را در پیش بگیرند (Pourmohamad *et al.*, 2019). علیرغم نقش مثبت اسید آمینه‌ها و سیلیکات پتاسیم در افزایش تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی، اطلاعات کمی در مورد اثر مستقل آن‌ها در سبزی‌ها وجود دارد. بر همین اساس پژوهش حاضر به‌منظور بررسی ویژگی‌های رشدی، عملکرد و کیفیت میوه فیسالیس (*Physalis peruviana* L.) تحت تأثیر محلول‌پاشی برگی سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین در شرایط تنش کم‌آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان فاکتور اصلی، سیلیکات پتاسیم (Si) در سه سطح (۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و اسید آمینه ال- سیستئین (Cys) در دو سطح (۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) و محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد) به‌عنوان فاکتور فرعی بود. پارامترهای هواشناسی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

بذرهای فیسالیس در سینی‌های کشت با بستر پیت- ماس- پرلیت با نسبت ۵۰:۵۰ کشت شد و در شرایط دمای ۲± ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی ۶۵ درصد رشد یافت. پس از آماده شدن زمین، نشاهای فیسالیس در اواخر اردیبهشت‌ماه در مرحله ۴ تا ۵ برگ حقیقی با فاصله ۱۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۵۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها در مزرعه کشت شد و دو هفته پس از استقرار کامل گیاهان، محلول‌پاشی برگی سیلیکات پتاسیم و ال- سیستئین، سه بار در مرحله رشد رویشی (۸ تا ۱۰ برگی)، آغاز گلدهی و ظهور اولین میوه با فاصله ۱۵ روز انجام شد (Sholehah *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2022). زمان محلول‌پاشی برای تمام تیمارها یکسان بود و برای محلول‌پاشی تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. تیمارهای آبیاری یک هفته پس از اولین محلول‌پاشی اعمال شد و نیاز آبی گیاه برای تیمار شاهد با استفاده از میانگین داده‌های روزانه و داده‌های سال جاری شاخص‌های هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زنجان و رابطه استاندارد فائو- پنمن- مانتیس برآورد گردید (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

$$ETc = ET_0 \times K_C \quad \text{رابطه (۱)}$$

ETc: نیاز آبی فیسالیس (میلی‌متر در روز)، ET_0: تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و K_C: ضریب گیاهی فیسالیس (بدون واحد). لازم به توضیح است مقادیر ET_0 بر اساس روش استاندارد فائو-پنمن- مانتیث برآورد شد. پس از محاسبه مقادیر ETc، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه فیسالیس براساس فواصل کشت، نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای- نواری) دور آبیاری (سه روز) برآورد شد و سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه داده می‌شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبی) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی، برآورد و توزیع شد. در پایان دوره رشد، از هر واحد آزمایشی با حذف اثر حاشیه‌ای از پنج بوته نمونه‌برداری و برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر به آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان منتقل شد.

صفات مورد ارزیابی: در پایان دوره رشد، تعداد میوه‌ها پس از برداشت شمارش و به منظور ارزیابی عملکرد، با ترازوی دیجیتال گرمی وزن شدند. عملکرد کل به‌صورت کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

کارآیی مصرف آب (WUE)، با تقسیم نمودن عملکرد کل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۱- میانگین پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد (۱۴۰۱) گیاه فیسالیس

ماه	دما حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)	میانگین رطوبت نسبی (%)	ساعات آفتابی	مجموع تبخیر (mm)	مجموع بارندگی (mm)
خرداد	۳۰/۲	۱۲/۲	۳۱/۴	۱۰/۵	۳۱۶/۵	۰/۱
تیر	۳۳/۷	۱۵/۶	۳۰/۲	۱۱/۹	۳۸۴/۳	۰/۰
مرداد	۳۴/۹	۱۶/۵	۳۴/۷	۱۱/۳	۳۱۹/۸	۰/۰
شهریور	۳۲/۲	۱۲/۲	۲۸/۹	۱۰/۳	۲۷۵/۲	۰/۰
مهر	۲۷/۷	۹/۰	۳۶/۲	۹/۴	۲۰۱/۳	۰/۵
آبان	۱۵/۶	۲/۹	۶۵/۲	۶/۱	۶۷/۵	۲۱/۱

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

بافت خاک	ماده آلی (٪)	پتاسیم (گرم بر کیلوگرم)	سدیم (گرم بر کیلوگرم)	کلسیم (گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (٪)	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH
لوم رسی	۰/۹۴	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/۴۹	۷/۴

میوه (Y) به آب مصرفی (W) در طی فصل رشد بر حسب کیلوگرم در مترمکعب برآورد گردید.

رابطه (۲) $WUE= Y (kg) / W (m^3)$

برای سنجش کاروتنوئید میوه از روش Arnon (۱۹۴۹) استفاده شد. برای این منظور، ۰/۵ گرم از بافت تازه میوه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس با دور ۵۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر SAFAS MONACO (RS 232) در طول‌موج‌های ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید که در این رابطه (V) بیانگر حجم نهایی عصاره در استون ۸۰ درصد، (W) وزن تازه بافت استخراج شده، (A) جذب در طول‌موج مشخص می‌باشد.

رابطه (۳)

کاروتنوئید میوه = $[7.6 (A480) – 1.49 (A510)] \times V/ (W\times 1000)$

محتوای مواد جامد محلول میوه (TSS) با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی مدل ATago-ATC-20(E) اندازه‌گیری شد و میزان مواد جامد محلول بر حسب درصد بریکس بیان شد.

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) بر اساس اسید آلی غالب میوه فیسالیس (اسید سیتریک) به‌روش تیتر با هیدروکسید سدیم با استفاده از رابطه ۴ اندازه‌گیری شد (AOAC, 2000). در این رابطه (E) اکی والان اسید مورد نظر، (N) نرمالیته محلول هیدروکسید سدیم، (S) مقدار هیدروکسید سدیم مصرف شده (میلی‌لیتر)، (F) فاکتور NaOH، (C) مقدار عصاره را نشان می‌دهد.

رابطه (۴)

اسیدیته قابل تیتراسیون (٪) = $[E\times N\times S\times F/C] \times 100$

برای اندازه‌گیری آسکوربیک اسید (ویتامین ث) میوه، عصاره به روش متافسفریک استخراج شد. جذب محلول حاصل در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. غلظت اسید آسکوربیک با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده از غلظت‌های مختلف آسکوربیک اسید در حضور دی‌کلرو ایندوفنل محاسبه شد (AOAC, 2000).

برای سنجش پروتئین کل، یک گرم از میوه فیسالیس، در ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با اسیدیته ۷/۸ ساییده و عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه با ۱۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. ۱ میلی‌لیتر بافر بردفورد به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

افزوده و شدت جذب مخلوط حاصل پس از ۲ دقیقه با اسپکتروفتومتر مدل SAFAS MONACO (RS 232) در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. از آلبومن گاوی برای رسم منحنی استاندارد تعیین غلظت پروتئین‌ها استفاده گردید (Bradford, 1976).

برای اندازه‌گیری درصد ماده خشک میوه (Dry matter)، وزن تر پنج میوه از هر بوته و جمعاً ۲۵ میوه از هر واحد آزمایشی توزین و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه آون قرار داده و وزن خشک میوه‌ها به‌دست آمد و با استفاده از رابطه ۵، درصد وزن خشک میوه به‌دست آمد (Rezaei Nejad and Ismaili, 2013).

رابطه (۵) $\text{Dry matter} = (DW/FW) \times 100$

آنالیز داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS V9.3 و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک و پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

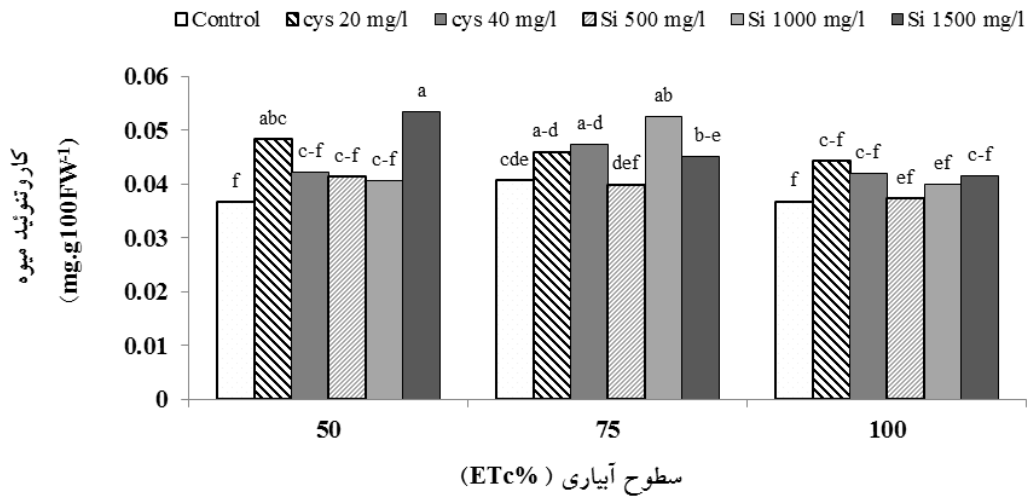
کاروتنوئید میوه: نتایج نشان داد که اثر ساده تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و سیستئین بر کاروتنوئید میوه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آنها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اعمال تنش کم‌آبی و کاربرد سیلیکات پتاسیم و سیستئین میزان کاروتنوئید میوه را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کاروتنوئید میوه (۰/۰۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در تنش کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد (شکل ۱).

یکی از پاسخ‌های ثانویه حاصل از تنش کم‌آبی در گیاهان، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن است. در طول تنش اکسیداتیو، گیاهان قادر به مقابله با تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن با استفاده از یک پاسخ آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و یا غیرآنزیمی نظیر کاروتنوئید هستند (Raziq *et al.*, 2022). کاروتنوئیدها از دستگاه فتوسنتزی علیه رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کنند. همچنین این رنگیزه‌ها از پراکسیداسیون لیپید ممانعت کرده و در پایداری غشاء نقش مهمی دارند که با نتایج مطالعات انجام‌شده در سیب‌زمینی مبنی بر افزایش کاروتنوئید با اعمال تنش کم‌آبی مطابقت دارد (Batool *et al.*, 2020). در پژوهشی که بر روی فلفل دلمه‌ای انجام شد، دریافتند که افزودن سیلیس باعث حفظ محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در شرایط تنش کم‌آبی گردید (Lobato *et al.*, 2009). این افزایش ممکن است به تأثیر سیلیکون به بهبود ساختار کلروپلاست و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز نسبت داده شود (Gong *et al.*, 2008). همچنین سیلیس با حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن، باعث بهبود سیستم دفاعی گیاه و افزایش کارآیی فتوسیستم II و عملکرد کوانتومی در گیاهان تحت تنش کم‌آبی می‌گردد (Tripathi *et al.*, 2017).

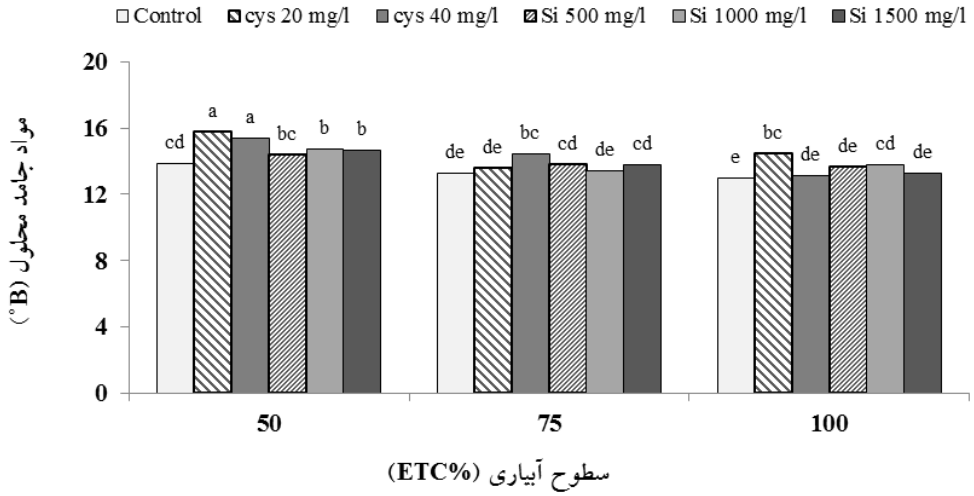
مواد جامد محلول: با اعمال تنش کم‌آبیاری، میزان مواد جامد محلول در میوه فیسالیس افزایش یافت. میزان مواد جامد محلول از ۱۳/۵۳ درصد بریکس در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۱۴/۷۹ درصد بریکس در تیمار کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه رسید. کاربرد تیمارهای سیلیکات پتاسیم و سیستئین همچنین باعث افزایش میزان مواد جامد محلول میوه شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و تیمار محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین مقدار مواد جامد محلول میوه (۱۵/۷۵ و ۱۵/۴ درصد بریکس) به‌ترتیب با کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر ال- سیستئین در شرایط کم‌آبی ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (شکل ۲).

مقدار مواد جامد محلول، ارتباط بسیار نزدیکی با قند کل نشان می‌دهد و به‌عنوان یک مشخصه کیفی مهم در نظر گرفته می‌شود (Keshavarzpour and Rashidi, 2011). کاهش آبیاری منجر به کاهش محتوای آب میوه شده در نتیجه باعث بهبود مقدار مواد جامد محلول میوه می‌شود (Zhanga *et al.*, 2017). مطابق پژوهش حاضر، افزایش مواد جامد محلول با اعمال تنش کم‌آبی در گوجه‌فرنگی (Shao *et al.*, 2015) و فلفل دلمه‌ای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۱- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین بر کاروتنوئید میوه فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

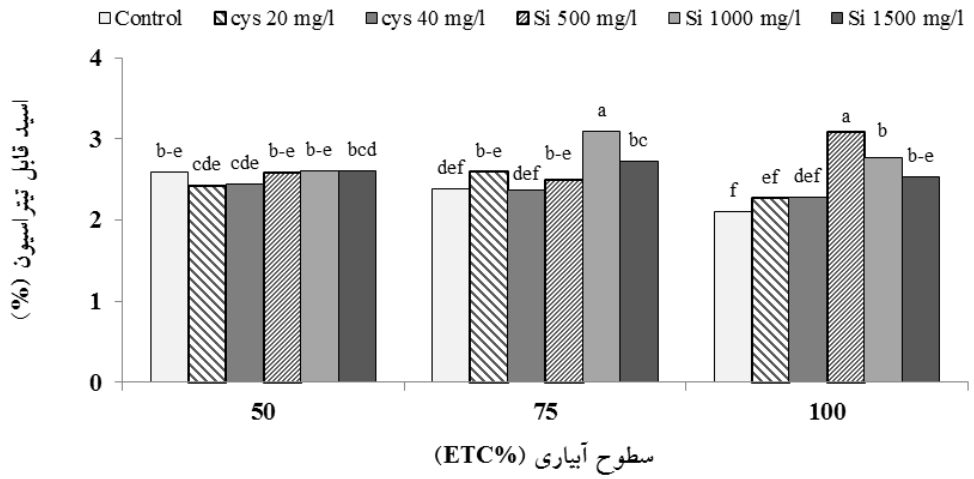


شکل ۲- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین بر میزان مواد جامد محلول میوه فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

(Daneshpajouh *et al.*, 2018) نیز گزارش شده است که می‌تواند به‌دلیل کاهش تعداد میوه در اثر ریزش گل و در نتیجه افزایش نسبت کربوهیدرات به میوه باشد (Garcia-Garizabal *et al.*, 2011). به‌طور کلی، افزایش میزان مواد جامد محلول در گیاهان تحت تنش آبی، روشی است که گیاهان برای تنظیم اسمزی و مقاومت در برابر تنش استفاده می‌کنند (Gine-Bordonaba and Terry, 2016).

گزارش‌های مختلفی مبنی بر اثر اسیدآمینه ال- سیستئین بر کاهش یا افزایش محتوای مواد جامد محلول دارد. مطابق پژوهش حاضر، کاربرد ال- سیستئین در میوه چشالو (*Dimocarpus longan* L.) (Longan) به‌طور قابل توجهی محتوای مواد جامد محلول را افزایش داد (Li *et al.*, 2018). استفاده از نانو ذرات پوشش داده‌شده با سیستئین در کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی با کاهش تعرق و تنفس سبب افزایش در میزان مواد جامد محلول میوه گردید. اسیدهای آمینه با کاهش واکنش‌های اکسیداتیو و تأخیر پیری از تغییرات بیش از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۳- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین بر میزان اسید قابل تیتراسیون میوه فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

حد و کاهش مواد جامد محلول در میوه جلوگیری می‌کنند (Shu *et al*., 2020).

اسید قابل تیتراسیون: بر اساس نتایج، تیمار آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان اسید قابل تیتراسیون میوه نشان نداد ولی تیمار محلول‌پاشی و اثر متقابل تیمار محلول‌پاشی و آبیاری در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل، بیشترین میزان اسید قابل تیتراسیون (۳/۰۹ و ۳/۰۸ درصد) به‌ترتیب با کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد و کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در شرایط کم‌آبی ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد و کمترین مقدار آن در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۳).

میزان اسید قابل تیتراسیون یکی از ویژگی‌های مهمی است که به‌طور قابل توجهی بر طعم و همچنین مشخصات تغذیه‌ای میوه تأثیر می‌گذارند (Ali *et al*., 2016). گزارش‌های متعددی مبنی بر اثرات مثبت یا منفی تنش آبی بر میزان اسید قابل تیتراسیون وجود دارد. میزان اسید قابل تیتراسیون در میوه به‌طور مستقیم با میزان اسیدهای آلی مرتبط است و کاهش اسیدیته در نتیجه تغییرات متابولیکی در میوه به‌دلیل استفاده از اسیدهای آلی در فرایند تنفس می‌باشد (Gol *et al*., 2013). در پژوهش حاضر کاربرد سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه سیستئین سبب حفظ و افزایش اسید قابل تیتراسیون در میوه فیسالیس گردید که می‌تواند به کاهش تنفس و حفظ نسبت کربن به نیتروژن نسبت داده شود. کاربرد سیلیس در طی تنش کم‌آبی در گوجه‌فرنگی منجر به حفظ محتوای اسیدها در میوه گردید (Barzegar Hafshejani *et al*., 2022).

ویتامین ث: اعمال تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری ویتامین ث میوه فیسالیس را کاهش داد و کاربرد سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه سیستئین باعث افزایش مقدار ویتامین ث شده و اثرات مضر تنش کم‌آبی را کاهش داد (جدول ۳ و شکل ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ویتامین ث (۱۹۶/۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) در میوه گیاهان تیمار شده با سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین مقدار آن (۱۲۴/۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار شاهد تحت شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد (شکل ۴).

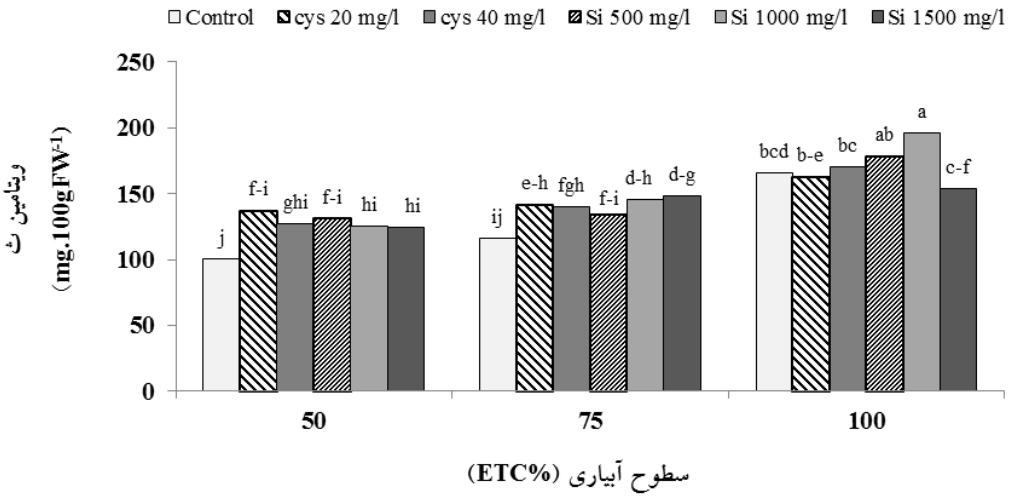
ویتامین ث، به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان محلول در آب سبب حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن جهت محافظت از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب اکسیداتیو می‌شود (Beltagi, 2008). تحقیقات پیشین تأیید کرد که ویتامین ث می‌تواند متابولیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانی را تحت تنش‌های شوری و کم‌آبی تنظیم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین بر صفات کیفی میوه فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کاروتنوئید میوه	مواد جامد محلول	اسید قابل تیتراسیون	ویتامین ث	پروتئین میوه
تکرار	۲	۰/۰۰۰۰۱۷	۰/۰۲۷۴	۰/۰۰۰۴۹	۹۲/۷۵۷۴	۰/۰۰۱۸۱
آبیاری	۲	۰/۰۰۰۱۱۹**	۸/۳۴۱۹**	۰/۰۴۸۹۳ns	۱۰۶۱۳/۵۷**	۰/۱۱۸۰۶**
خطای کرت اصلی	۴	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۱۰۳۶	۰/۰۳۵۸	۱۳/۱۷۷۸	۰/۰۰۵۱۲
تیمار (Si و Cys)	۵	۰/۰۰۰۱۱۳**	۱/۵۷۶۱**	۰/۳۴۷۳۱**	۸۰۰/۸۳۸۸**	۰/۰۲۲۱۷**
آبیاری × تیمار	۱۰	۰/۰۰۰۰۴۳*	۰/۶۲۴۶**	۰/۱۴۹۲۸**	۳۷۲/۸۴۸*	۰/۰۲۵۹۷**
خطای کرت فرعی	۳۰	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۱۵۵۶	۰/۰۲۸۷۸	۱۴۲/۱۲۱۲	۰/۰۰۳۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۹/۸۷	۲/۸۱	۶/۶۴	۸/۲۶	۱/۸۲

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪

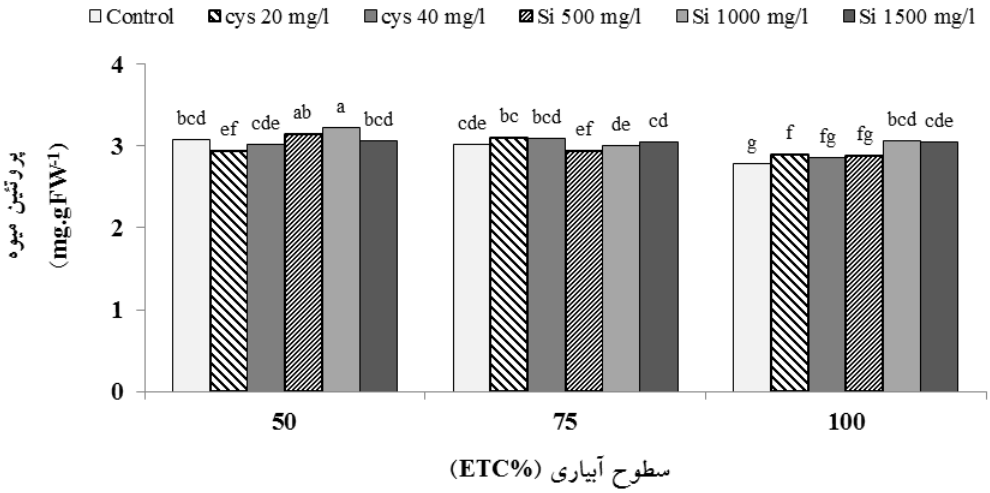


شکل ۴- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین بر میزان ویتامین ث میوه فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

کند (Shafiq *et al.*, 2014). با توجه به اینکه مسیر سنتز ویتامین ث از D-گلوکز، آغاز می‌شود، کاهش میزان ویتامین ث ممکن است به کاهش سطح سنتز D-گلوکز نسبت داده شود که در طول دوره تنش اتفاق می‌افتد که با مطالعات انجام شده در خربزه نیز همخوانی دارد (Sat Pal Sharma *et al.*, 2014). همچنین در پژوهش انجام‌شده در گوجه‌فرنگی، تنش کم‌آبی سبب کاهش در میزان ویتامین ث میوه گردید و محلول‌پاشی سیلیس با کاهش تنفس و مصرف اسیدهای آلی، سبب حفظ محتوای ویتامین ث گردید (Barzegar Hafshejani *et al.*, 2022).

پروتئین میوه: پروتئین میوه فیسالیس با اعمال تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوریکه با افزایش شدت تنش کم‌آبی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، افزایش ۵/۳۶ درصدی در میزان پروتئین میوه مشاهده شد. همچنین کاربرد سیلیکات پتاسیم در سطوح ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش معنی‌داری در میزان پروتئین میوه نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین مقدار پروتئین میوه (۳/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۵- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین بر میزان پروتئین میوه فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، با ۱۵/۴۱ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (شکل ۵).

تنظیم اسمزی یک پاسخ تطبیقی و یک مکانیسم فیزیولوژیکی مهم گیاهان برای تحمل به کم‌آبی می‌باشد (Zhang *et al*., 2017). در شرایط تنش کم‌آبی، سلول‌ها با تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی نظیر پرولین، قندهای محلول و پروتئین محلول برای حفظ فعالیت‌های فیزیولوژیکی طبیعی گیاهان، فشار تورژسانس را حفظ می‌کنند (Liu and Wei, 2021). افزایش در میزان پروتئین با اعمال تنش کم‌آبی به‌دلیل تولید پروتئین‌های جدید و یا افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با سازگاری و تطابق گیاه با شرایط تنش می‌باشد که می‌توان به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Wang *et al*., 2023). در این رابطه گزارش شده است که کاربرد سیلیس باعث افزایش محتوای پروتئین محلول، اسیدآمینه آزاد و در نهایت افزایش تولید محصول می‌گردد (Li *et al*., 2012). سیلیکون با افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و ظرفیت فتوسنتزی، کاهش تنش اکسیداتیو و حفاظت ماکرومولکول‌هایی نظیر پروتئین‌ها و غشای کلروپلاستی و غشای سلولی باعث افزایش فتوسنتز شده و در نتیجه میزان قندهای محلول و پروتئین موجود در گیاهان را افزایش می‌دهد (Amin *et al*., 2018).

تعداد میوه در بوته، درصد ماده خشک و عملکرد میوه: تعداد میوه در بوته با اعمال تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۱$) کاهش یافت و تیمارهای سیلیکات پتاسیم و سیستئین سبب افزایش قابل توجهی در تعداد میوه شد (جدول ۴). با توجه به نتایج اثرات متقابل آبیاری و تیمار محلول‌پاشی، بیشترین تعداد میوه با کاربرد ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدآمینه ال- سیستئین تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد (شکل ۶A).

اعمال تنش کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر میزان ماده خشک میوه نداشت. درحالی‌که محلول‌پاشی تیمارهای سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه سیستئین منجر به تجمع بیشتر ماده خشک در میوه فیسالیس گردید. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل، بیشترین درصد ماده خشک میوه (۲۰/۳۵ درصد) با کاربرد ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدآمینه سیستئین و کمترین مقدار آن (۱۶/۶۴ درصد) در تیمار شاهد در شرایط آبیاری ۷۵ درصد به‌دست آمد (شکل ۶B).

با اعمال تنش کم‌آبی عملکرد میوه نیز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و کاربرد تیمارهای سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه سیستئین سبب تعدیل اثرات تنش کم‌آبی شده و عملکرد میوه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین بر عملکرد میوه و کارایی مصرف آب فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی

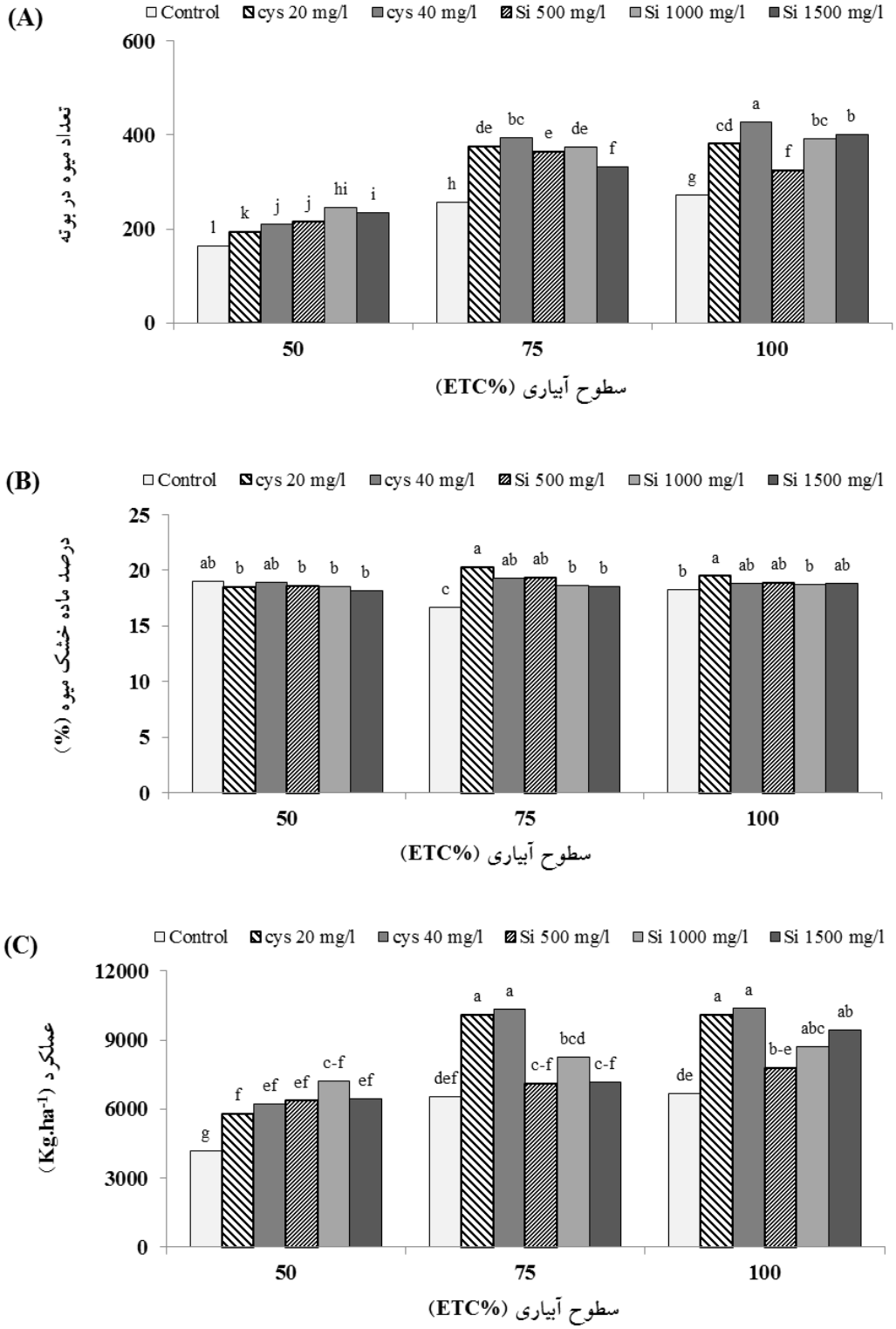
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تعداد میوه	درصد وزن خشک میوه	عملکرد میوه	کارآیی مصرف آب
تکرار	۲	۳۶/۷۲	۰/۳۵۰۹	۲۳۶۹۹۸/۶	۰/۰۰۲۹
آبیاری	۲	۱۳۱۱۹۸/۱۶**	۰/۲۶۴۴ ns	۳۴۰۳۷۳۱۹/۹**	۱/۸۵۶۸**
خطای کرت اصلی	۴	۳۳/۲۲	۱/۹۴۸۹	۱۶۲۳۳۹۶	۰/۱۳۲۱
تیمار (Si و Cys)	۵	۱۵۲۱۸/۰۴**	۲/۳۲۱۸*	۱۱۵۱۱۶۴۲/۳**	۱/۷۲۱۵**
آبیاری × تیمار	۱۰	۲۳۵۴/۶۷**	۱/۵۴۶*	۲۸۰۱۴۴۰/۱**	۰/۱۸۲۸*
خطای کرت فرعی	۳۰	۸۱/۵۴	۰/۶۴۷۷	۷۷۴۰۵۹/۱	۰/۰۶۲۸
ضریب تغییرات (٪)	-	۲/۹۲	۴/۲۹	۱۱/۵۵	۱۳/۱۸

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪

را نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۴ و شکل ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، با کاربرد اسیدآمینه سیستئین ۴۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بیشترین عملکرد میوه به‌دست آمد که در مقایسه با گیاهان شاهد تحت آبیاری ۱۰۰ درصد منجر به افزایش ۳۵/۵ درصد در عملکرد میوه گردید (شکل 6C).

افزایش زیست‌توده گیاهی به‌طور مستقیم با راندمان فتوسنتزی و جذب در گیاهان مرتبط است، که به نوبه خود با رنگدانه‌های فتوسنتزی و روابط آبی گیاه مرتبط است (Barutçular *et al*., 2016). در شرایط کمبود آب به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها و تخریب مراکز واکنش فتوسنتزی، کاهش قابل توجهی در میزان فتوسنتز و تجمع زیست‌توده گیاهی مشاهده می‌شود (Ibrahim *et al*., 2016). علاوه‌بر این، تنش کم‌آبی باعث جذب، توزیع مجدد و انتقال مواد مغذی می‌شود که منجر به کاهش رشد، محتوای ماده خشک و عملکرد می‌شود (Gaafar *et al*., 2022). این کاهش رشد و عملکرد می‌تواند به دلیل کاهش جذب عناصر مغذی پرمصرف و کم‌مصرف باشد که منجر به کاهش سطح برگ و محتوای کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز می‌شود (Atilgan *et al*., 2022). همچنین تعداد میوه در بوته از مهم‌ترین اجزای مؤثر در عملکرد گیاه فیسالیس است. کاهش تعداد میوه در بوته ممکن است تحت اثر تنش کم‌آبی در زمان گلدهی و گرده‌افشانی باشد که ممکن است باعث خشک شدن دانه گرده و کلاله مادگی در اثر کم‌آبی و به‌دنبال آن عدم تلقیح مناسب و سقط گل باشد، که این عوامل می‌تواند باعث کاهش درصد تشکیل میوه شود. تنش آبی طی دوره گلدهی با محدود کردن توزیع مواد غذایی، کاهش درصد ماده خشک و تأثیر بر تعداد گل و به تبع آن تعداد میوه و طی دوره میوه‌دهی با اثر بر وزن میوه، عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Garcia-Garizabal *et al*., 2011). سیلیکون با تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی، موجب بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی شده و در بسیاری از فرآیندهای گیاهی از جمله واکنش‌های اسمزی، فرآیندهای متابولیکی، فیزیولوژی روزنه و فیتوهورمون‌ها دخیل بوده و عملکرد و کیفیت گیاهان را تحت شرایط تنش بهبود می‌بخشد (Ahire *et al*., 2021). گزارش شده است که افزودن سیلیس در محلول کشت می‌تواند جذب آب توسط ریشه‌ها را در شرایط تنش آبی از طریق تجمع قندهای محلول و اسیدهای آمینه افزایش دهد (Ming *et al*., 2012). Sarojnee و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاربرد اسیدهای آمینه در گیاه فلفل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

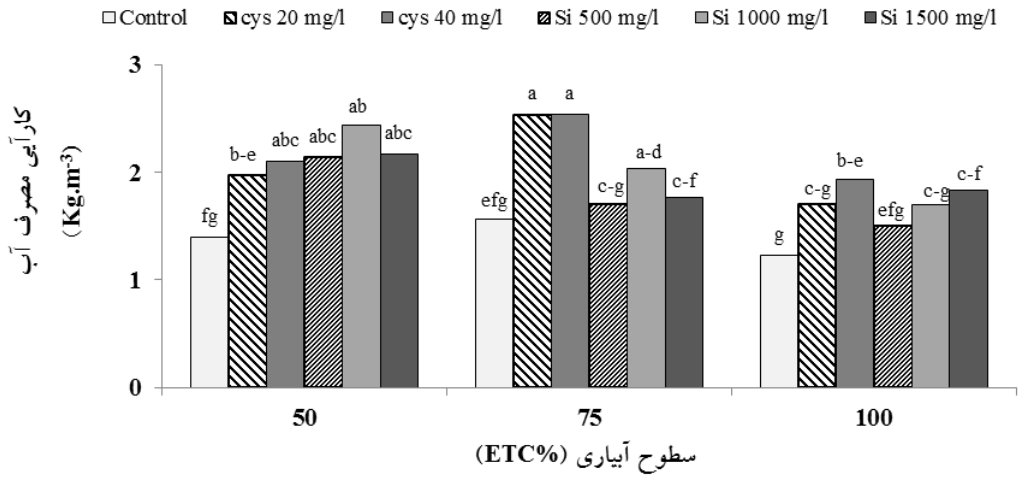


شکل ۶- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین بر تعداد میوه در بوته (A)، درصد ماده خشک (B) و عملکرد میوه (C) میوه فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

به طورمعنی‌داری معنی‌داری ارتفاع گیاه، تعداد میوه، طول و قطر میوه، درصد ماده خشک میوه و عملکرد محصول را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد.

کارآیی مصرف آب (WUE): اعمال تنش کم‌آبی، کارآیی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۷- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینه ال- سیستئین بر کارآیی مصرف آب میوه فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

مصرف آب به‌طور معنی‌داری افزایش داد ولی با افزایش شدت تنش از مقدار آن کاسته شد به‌طوری‌که بیشترین کارآیی مصرف آب در تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی حاصل شد. همچنین محلول‌پاشی تیمارهای سیلیکات پتاسیم و اسید آمینه ال- سیستئین سبب افزایش کارآیی مصرف آب گردید (جدول ۴ و شکل ۷). نتایج نشان داد که بیشترین کارآیی مصرف آب (۲/۵۳ و ۲/۴۳ کیلوگرم در مترمکعب) به‌ترتیب در گیاهان تیمار شده با ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدآمینه سیستئین تحت شرایط آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد (شکل ۷).

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در برنامه‌ریزی آبیاری، کارآیی مصرف آب یا مقدار ماده خشک تولیدی به ازای واحد آب مصرفی است. در شرایط نزدیک به تنش کم‌آبی، گیاه در مقایسه با شرایط آبی بهینه، نسبت به میزان آب مصرف شده محصول بیشتری تولید می‌کند (Ghaffari *et al.*, 2020). در این پژوهش اعمال تنش کم‌آبی ملایم (۷۵ درصد)، کارآیی مصرف آب را بهبود بخشید و تنش آبی شدید (۵۰ درصد) کارآیی مصرف آب را کاهش داد که با نتایج به‌دست آمده در گوجه‌فرنگی (Kuscu *et al.*, 2014) مطابقت دارد. این کاهش را می‌توان چنین توجیه کرد که در سطح تنش کم‌آبی ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، با کاهش میزان آب مصرفی عملکرد با نسبت کمتری کاهش یافته است. بنابراین کارآیی مصرف آب نسبت به تنش شدید افزایش بیشتری داشته است. به نظر می‌رسد کاربرد سیلیکات پتاسیم و اسید آمینه ال- سیستئین در شرایط آبیاری مطلوب و تنش، از طریق افزایش رشد ریشه و جذب عناصر غذایی و در نتیجه ارتقای توان فتوسنتزی گیاه، عملکرد میوه و در نهایت کارآیی مصرف آب را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (Araujo *et al.*, 2019). تیمار اسیدآمینه منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبخیر و تعرق گیاه و افزایش محتوای نسبی آب برگ شده و در نتیجه کارآیی مصرف آب را در شرایط تنش افزایش می‌دهد (Zotarelli *et al.*, 2009). بر اساس مطالعات استفاده از سیلیکون نیز سبب کاهش اثرات تنش آبی می‌گردد که این به پلیمریزاسیون آن پس از جذب و رسوب در دیواره‌های سلولی ریشه، ساقه و برگ نسبت داده می‌شود و یک لایه دوگانه از سیلیس-کوتیکول و سیلیس-سلولز را تشکیل می‌دهد. بنابراین، افزایش مقاومت و سختی دیواره‌های سلولی، کاهش تعرق و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیمی مرتبط با مکانیسم‌های دفاعی گیاه وجود دارد (Flores *et al.*, 2019). در شرایط مزرعه، سیلیکون از طریق حفظ محتوای آب در سلول‌ها، افزایش عملکرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

فتوسنتزی و بهبود کارآیی مصرف آب، سبب افزایش تحمل به شرایط کم‌آبی در میوه گوجه‌فرنگی گردید (Moraes *et al.*, 2020).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان بیان کرد که تنش کم‌آبی با کاهش تعداد میوه در بوته، عملکرد میوه را کاهش داد، بطوری‌که تنش کم‌آبی ۵۰ درصد منجر به کاهش ۳۷/۳ درصد عملکرد میوه در مقایسه با آبیاری ۱۰۰ درصد شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم یا اسیدآمینه ال- سیستئین در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد و تنش کم‌آبی، عملکرد میوه فیسالیس را افزایش دادند به‌طوری‌که با محلول‌پاشی اسید آمینه سیستئین ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط کم‌آبی ۷۵ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد تحت آبیاری ۱۰۰ درصد، با کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب، عملکرد میوه ۳۵/۵ درصد افزایش یافت و همچنین در شرایط کم‌آبی ۵۰ درصد، با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر ضمن کاهش ۵۰ درصدی مصرف آب، عملکرد میوه ۷/۷ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد تحت آبیاری ۱۰۰ درصد افزایش نشان داد، که منجر به افزایش کارایی مصرف آب شدند. کاربرد سیلیکات پتاسیم به خصوص در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اسیدآمینه سیستئین با افزایش محتوای کاروتنوئید میوه، اسید قابل تیتراسیون، ویتامین ث و پروتئین میوه، کیفیت میوه را بهبود بخشیدند. بنابراین می‌توان در راستای افزایش عملکرد و کیفیت میوه و کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی، تیمارهای کودی سیلیکات پتاسیم یا اسیدآمینه ال- سیستئین را پیشنهاد کرد.

منابع

وزیری، ژاله، سلامت، علیرضا، انصاری، محمدرضا، مسچی، محمود، حیدری، نادر، و دهقانی‌سانیچ، حسین (۱۳۸۷). تبخیر- تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). ترجمه انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

Ahire, M. L., Mundada, P. S., Nikam, T. D., Bapat, V. A., & Penna, S. (2021). Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry, 169,* 291-310. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.010

Ali, S., Khan, A. S., & Malik, A. U. (2016). Postharvest L-cysteine application delayed pericarp browning, suppressed lipid peroxidation and maintained antioxidative activities of litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology, 121,* 135-142. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.07.015

Amin, M., Ahmad, R., Ali, A., Hussain, I., Mahmood, R., Aslam, M., & Lee, D. J. (2018). Influence of silicon fertilization on maize performance under limited water supply. *Silicon, 10*(2), 177-183. https://doi.org/10.1007/s12633-015-9372-x

AOAC. (2000). Official method of analysis of the association of official analytical chemists. *Washington D.C. 12,* 377-378.

Araujo, A. L. G., Almeida, A. M. D., Guimaraes, J. D. J., Cantuario, F. S. D., Salomao, L. C,. Curvelo, C. R. D. S., Cantuario, A. R., Luz, J. M. Q., & Pereira, A. I. A. (2019). Potassium silicate, against water stress, in sweet corn plant growth traits. *Journal of Agricultural Sciences, 11*(5), 172. https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/441

Arnon, D. (1949). Copper enzymes isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology, 24,* 1-15. 10.1104/pp.24.1.1

Asgharipour, M. & Mosapour, H. (2016). A foliar application silicon enhances drought tolerance in fennel. *Journal of Animal and Plant Sciences, 26,* 1056-1062.

Atilgan, A., Rolbiecki, R., Saltuk, B., Jagosz, B., Arslan, F., Erdal, I., & Aktas, H. (2022). Deficit irrigation stabilizes fruit yield and alters leaf macro and micronutrient concentration in tomato cultivation in greenhouses: A case study in Turkey. *Agronomy, 12*(12), 2950. https://doi.org/10.3390/agronomy12122950

Barbosa, E. A. A., Ricardo Antonio, A., Angela, L., Isabela, L. P., & Andre Belmont, P. (2019). Foliar gas exchange, fruit quality and water use efficiency of cape Gooseberry under different irrigation depths and mulching at greenhouse conditions. *Revista Brasileira de Fruticultura, 41*(4), 1-11. https://doi.org/10.1590/0100-29452019001

Barutcular, C., Dizlek, H., El-Sabagh, A., Sahin, T., EL-Sabagh, M., & Islam, M. S. (2016). Nutritional quality of maize in response to drought stress during grain-filling stages in Mediterranean climate condition.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 4, 644–652. DOI: http://dx.doi.org/10.18006/2016.4(Issue6).644.652

Barzegar Hafshejani, Z., Ghasemnezhad, M., Olfati, J., Khaledian, M. R., & Khalighi, A. (2022). The influence of silica upon quantitative, qualitative, and biochemical traits of tomato under water stress. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 21*(5), 123–138. https://doi.org/10.24326/asphc.2022.5.11

Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A., & Pereira, A. (2016). Plant adaptation to drought stress. *F1000 Research, 5,* 1-10. https://doi.org/10.12688%2Ff1000research.7678.1

Batool, T., Shafaqat, A., Mahmoud, F., Seleiman, N. H. N., Aamir, A., Khurshid, A., Muhammad, A., Muhammad, R., Muhammad, R. S., Majed, A., Ibrahim, A., & Mubushar, M. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Scientific Reports, 10,* 1-20. https://doi.org/10.1038/s41598-020-73489-z

Beltagi, M. (2008). Exogenous ascorbic acid (Vitamin C) induced anabolic changes for salt tolerance in chick pea (*Cicer arietinum* L.) plants. *African Journal of Plant Science, 2,* 118-123.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry, 72*(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Daneshpajouh, P., Ghasemi, A., Nouree, M., & Barzegar, R. (2018). The effect of partial root-zone drying and zeolite on water use efficiency and physiological characteristics of sweet pepper. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Industry), 32*(4), 675-690. https://doi.org/10.22067/jsw.v32i4.69640

El-Saadony, F. M. A., Mazrou, Y. S. A., Khalaf, A. E. A., El-Sherif, A. M. A., Osman, H. S., Hafez, E. M., & Eid, M. A. M. (2021). Utilization efficiency of growth regulators in wheat under drought stress and sandy soil conditions. *Agronomy, 11*(9), 1760. https://doi.org/10.3390/agronomy11091760

Flores, R. A., Souza Junior, J. P., Santos, A. S., Cruz, F. J. R., Campos, C. N. S., Junior, G. B. S., & De Prado, R. M. (2019). Importancia do silicio na bioquimica e fisiologia das plantas. In: Nutric*a*o e Adubac*a*o de Grandes Culturas Na Regi*a*o Do Cerrado. (eds. Flores, R. A., Cunha, P. P., Marchao, R. L., and Moraes, M. F.) Pp. 79–98. Grafica UFG: Goiania, Brazil,

Gaafar, R., Seyam, M., & El-Shanshory, A. (2022). Expression patterns of drought-related miRNAs in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Egyptian Journal of Botany, 62*(1), 227-240. https://dx.doi.org/10.21608/ejbo.2021.96667.1790

Garcia, A. L., Madrid, R., Gimeno, V., Rodriguez Ortega, W. M., Nicolas, N., & Garcia-Sanchez, F. (2011). The effects of amino acids fertilization incorporated to the nutrient solution on mineral composition and growth in tomato seedlings. *Spanish Journal of Agricultural Research, 9*(3), 852-861. https://doi.org/10.5424/sjar/20110903-399-10

Garcia-Garizabal, I., Causape, J., & Abrahao, R. (2011). Application of the irrigation land environmental evaluation tool for flood irrigation management and evaluation of water use. *Catena Journal, 87*(2), 260–267. https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.06.010

Genisel, M., Erdal, S., & Kizilkaya, M. (2015). The mitigating effect of cysteine on growth inhibition in salt-stressed barley seeds is related to its own reducing capacity rather than its effects on antioxidant system. *Plant Growth Regulation, 75,* 187–197. https://doi.org/10.1007/s10725-014-9943-7

Ghaffari, M., Andarkhor, S. A., Homayonifar, M., Kalantar Ahmadi, S. A., Shariati, F., Jamali, H., & Rahmanpour, S. (2020). Agronomic attributes and stability of exotic sunflower hybrids in Iran. *Helia, 43*(72), 1-15. https://doi.org/10.1515/helia-2020-0004

Gine-Bordonaba, J, & Terry, L. A. (2016). Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) fruit and leaves, *Scientia Horticulturae, 199,* 63-70. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.026

Gol, B. N., Patel, R., Rao, P., & Ramana, T. V. (2013). Improvement of quality and shelf life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology, 85,* 185-195. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008

Gong, H. J., Chen, K. M., Zhao, Z. G., Chen, G. C., & Zhou, W. J. (2008). Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Plant Biology, 52,* 592–596. https://doi.org/10.1007/s10535-008-0118-0

Ibrahim, F. M. F., Faisal, A., & Shehata, S. A. (2016). Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. *American- Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 16*(4), 677-693. https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2016.16.4.12907

Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences, 10*(16), 5692. https://doi.org/10.3390/app10165692

Keshavarzpour, F, & Rashidi, M. (2011). Response of crop yield and yield components of cantaloupe to drought stress. *Washington Academy of Sience Journal, 3,* 382-385.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

Kuscu, H., Turhan, A., & Demir, A. O. (2014). The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. *Agricultural Water Management, 133,* 92–103. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.11.008

Li, P., Song, A., Li, Z., Fan, F., & Liang, Y. (2012). Silicon ameliorates manganese toxicity by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil, 354*(1-2), 407-419. https://doi.org/10.1007/s11104-011-1076-4

Li, T., Wu, Q., Zhou, Y., Yun, Z., Duan, X., & Jiang, Y. (2018). L-Cysteine hydrochloride delays senescence of harvested longan fruit in relation to modification of redox status. *Postharvest Biology and Technology, 143,* 35–42. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.04.011

Liu, Y, & Wei, X. (2021). Dark septate endophyte improves the drought-stress resistance of *Ormosia hosiei* seedlings by altering leaf morphology and photosynthetic characteristics. *Plant Ecology, 222,* 761–771. https://doi.org/10.1007/s11258-021-01135-3

Lobato, A. K. S., Coimbra, G. K., Neto, M. A. M., Costa, R. C. L., Filho, B. G. S., Neto, C. F. O., Luz, L. M., Barreto, A. G. T., Pereira, B. W. F., Alves, G. A. R., Monteiro, B. S., & Marochio, C. A. (2009). Protective action of silicon on water relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit. *Research Journal of Biological Sciences, 4,* 617–623.

Ming, D. F., Pei, Z. F., Naeem, M. S., Gong, H. J., & Zhou, W. J. (2012). Silicon alleviates PEG-induced water-deficit stress in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment. *Journal of Agronomy and Crop Science, 198,* 14–26. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00486.x

Moraes, D. H. M., Mesquita, M., Bueno, A. M., Flores, R. A., Oliveira, H. F. E., Lima, F. S. R., Prado, R. M., & Battisti, R. (2020). Combined effects of induced water deficit and foliar application of silicon on the gas exchange of tomatoes for processing. *Agronomy, 10,* 1-12. https://doi.org/10.3390/agronomy10111715

Pavlovic, J., Kostic, L., Bosnic, P., Kirkby, E. A., & Nokolic, M. (2021). Interactions of silicon with essential and beneficial elements in plants. *Frontiers in Plant Science, 12,* 697592. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.697592

Pourmohamad, Y., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, M., Gebremichael, M., Ziaei, A., & Bannayan, N. (2019). Optimizing cropping area by proposing a combined water-energy productivity function for Neyshabur Basin, Iran. *Agricultural Water Management, 217,* 131-140. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.040

Raziq, A., Wang, Y., Mohi Ud Din, A., Sun, J., Shu, S., & Guo, S. A. (2022). Comprehensive evaluation of salt tolerance in tomato (var. Ailsa Craig): Responses of physiological and transcriptional changes in RBOH's and ABA biosynthesis and signalling genes. *International Journal of Molecular Sciences, 23,* 1603. https://doi.org/10.3390/ijms23031603

Rezaei Nejad, A, & Ismaili, A. (2013). Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media. *Journal of Science Food Agriculture, 94,* 905–910. https://doi.org/10.1002/jsfa.6334

Rugeles Reyes, S. M., Gabriel Roveda, H., Domingos, da C. F. J., Arthur, B. C. F., & Liz Patricia, M. F. (2019). Physiological response of *Physalis peruviana* L. seedlings inoculated with *Funneliformis mosseae* under drought stress. *Revista de Ciencias Agrarias, 42*(1), 175-183. https://doi.org/10.19084/RCA18140

Sahebi, M., Hanafi, M. M., SitiNor Akmar, A., Rafii, M. Y., Azizi, P., Tengoua, F., Nurul Mayzaitul Azwa, J., & Shabanimofrad, M. (2015). Importance of silicon and mechanisms of biosilica formation in plants. *BioMed Research International*. https://doi.org/10.1155/2015/396010

Sarojnee, D. Y., Navindra, B., & Chandrabose, S. (2009). Effect of naturally occurring amino acid stimulants on the growth and yield of hot peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences, 5*(1), 414-424. http://www.biosciences.elewa.org/JAPS

Sat Pal Sharma, I., Daniel, D., Leskovara Kevin, A. M., Crosbyb, A. M. H., & Astrid Volderb, I. (2014). Root growth yield and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melon (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management, 136,* 75-85. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.008

Shafiq, S., Akram, N. A., Ashraf, M., & Arshad, A. (2014). Synergistic effects of drought and ascorbic acid on growth, mineral nutrients and oxidative defense system in canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Physiologiae Plantarum, 36,* 1539–1553. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1530-z

Shao, G. C., Deng, S., Liu, N., Wang, M. H., & She, D. L. (2015). Fruit quality and yield of tomato as influenced by rain shelters and deficit irrigation. *Journal of Agriculture Science Technology, 17,* 691-704. http://hdl.handle.net/123456789/4216

Sharma, A., Wang, J., Xu, D., Tao, S., Chong, S., Yan, D., Li, Z., Yuan, H., & Zheng, B. (2020). Melatonin regulates the functional components of photosynthesis, antioxidant system, gene expression, and metabolic pathways to induce drought resistance in grafted *Carya cathayensis* plants. *Science of The Total Environment, 713,* 136675. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136675

Shekari, G, & Javanmardi, J. (2017). Effects of foliar application pure amino acid and amino acid containing fertilizer on Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) Transplants. *Advances in Crop Science and Technology, 5*(3), 1-4.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000280

Sholehah, D. N., Ermavitalini, D., Khasanah, M., Utami, E. S. W., & Purnobasuk, H. (2022). Effect of foliar nutrients application to the growth and yield of *Physalis peruviana* and *Physalis alkekengi*. *Earth and Environmental Science, 978*, 012003. https://doi.org/10.1088/1755-1315/978/1/012003

Shu, P., Min, D., Ai, W., Li, J., Zhou, J., Li, Z., Zhang, X., Shi, Z., Sun, Y., Jiang, Y., & Li, F. (2020). L-Arginine treatment attenuates postharvest decay and maintains quality of strawberry fruit by promoting nitric oxide synthase pathway. *Postharvest Biology and Technology, 168*, 111253. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111253

Singh, M. B., Kumar, P., Kundu, M., Samanta, D., & Segupta, S. (2022). Optimization of stage of gibberellin spray in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) for the improvement of yield and fruit quality under subtropical condition. *Emercent Life Science Research, 8*(2), 206-213. https://doi.org/10.31783/elsr.2022.82206213

Sogvar, O., Razavi, F., Rabiei, V., & Gohari, G. (2020). Postharvest application of L-cysteine to prevent enzymatic browning of "Stanley" plum fruit during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, *44*(10), 14788. https://doi.org/10.1111/jfpp.14788

Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, V. P., Prasad, S. M., Dubey, N. K., & Chauhan, D. K. (2017). Silicon nanoparticles more effectively alleviated UV-B stress than silicon in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry, 110*, 70-81. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.06.026

Wang, X., Wu, G., Li, D., & Song, X. (2023). Moderate nitrogen deposition alleviates drought stress of bretschneidera sinensis. *Forests, 14*(1), 137. https://doi.org/10.3390/f14010137

Zhang, R., Wu, J., Li, Q., Hanninen, H., Peng, C., Yao, H., Song, X., & Ying, Y. (2017). Nitrogen deposition enhances photosynthesis in *Moso bamboo* but increases susceptibility to other stress factors. *Frontiers in Plant Science, 8*, 1975. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01975

Zhanga, H., Xionga, Y., Huanga, G., Xua, X., & Huanga, Q. (2017). Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soil of the Hetao Irrigation District. *Agricultural Water Management, 179*, 205–214. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.022

Zotarelli, L., Scholberg, J. M., Dukes, M. D., Munoz-Carpena, R., & Icerman, J. (2009). Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management, 96*(1), 23-34. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.007

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

Effect of potassium silicate and L-cysteine on yield, water use efficiency and fruit quality of Physalis (*Physalis peruviana* L.) under water deficit conditions

Arezoo Khani[1], Taher Barzegar[1]*, Jaefar Nikbakht[2]

[1] Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
[2] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
(Received: 2023/06/15, Accepted: 2023/09/05)

Abstract

Nowadays, due to climate change and a decrease in rainfall, the production of agricultural products in many regions, especially arid and semi-arid regions, has faced problems. For this purpose, to study the effect of potassium silicate (Si) and L-cysteine (Cys) foliar spray on water use efficiency, fruit yield and quality of Physalis (*Physalis peruviana* L.) under water deficit conditions, a split-plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted in the Research field of the University of Zanjan during 2022. Experimental treatments consisted of three different irrigation levels (50, 75 and 100% ETc) as the main plot and a foliar spray of potassium silicate (0, 500, 1000 and 1500 mg L^{-1}) and L-cysteine amino (0, 20 and 40 mg L^{-1}) as a subplot. The results showed that water deficit stress increased total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and protein contents, and decreased vitamin C content, fruit number and yield. Application of Si, especially at 1000 and 1500 mg l^{-1} and Cys improved carotenoids, TSS, TA, vitamin C and fruit protein contents, and fruit yield under irrigation 100 ETc% and water deficit stress conditions. The highest fruit yield was obtained with the application of 20 and 40 mg L^{-1} Cys under irrigation of 100 and 75 ETc%. Also, the highest value of WUE was observed in plants treated with 20 and 40 mg L^{-1} Cys under deficit irrigation of 75 ETc% and 1000 mg L^{-1} Si under deficit irrigation of 50 ETc%, respectively. Therefore, the application of 1000 mg L^{-1} of potassium silicate and 40 mg L^{-1} of cysteine is suggested to increase the quality and yield of the physalis under the irrigation 100 Etc% and water deficit stress conditions.

Keywords: Carotenoids, Fruit number, Total soluble solids, Vitamin C

Corresponding author, Email: tbarzegar@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]