

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

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 به دلیل تغییرات آب و هوا و کاهش بارندگی، تولید محصولات کشاورزی در بسیاری از مناطق، به خصوص مناطق خشک و نیمه خشک با مشکل مواجه شده است. به همین منظور، جهت مطالعه تأثیر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و ال-سیستئین بر کارایی مصرف آب، عملکرد کمی و کیفی فیسالیس (*Physalis peruviana* L.) تحت شرایط کم آبی، آزمایشی به صورت کرت های خرد شده بر پایه طرح بلوک های 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) به عنوان فاکتور اصلی و محلول پاشی سیلیکات پتاسیم در سه سطح (۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر)، اسید آمینه ال-سیستئین در دو سطح (۲۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر) و آب مقطر (شاهد) به عنوان فاکتور فرعی بود. نتایج نشان داد که تنش کم آبی 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 به ویژه در سطوح ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر و اسید آمینه ال-سیستئین محتوای کاروتنوئید، اسید قابل تیتراسیون، ویتامین ث و پروتئین و عملکرد میوه را در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد و تنش کم آبی بهبود بخشیدند. بیشترین عملکرد میوه با کاربرد سیستئین ۴۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب در شرایط آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد. بیشترین کارایی مصرف آب (۲/۵۳ و ۲/۴۳ کیلوگرم در مترمکعب) به ترتیب در گیاهان تیمار شده با ۲۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر سیستئین تحت شرایط آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. لذا، کاربرد ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم و یا ۴۰ میلی گرم در لیتر سیستئین جهت افزایش کیفیت و عملکرد میوه فیسالیس در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی پیشنهاد می گردد.

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

مقدمه

رسیده آن ارزش خوراکی و دارویی دارد و دارای مقادیر بالایی از ویتامین های A، B و C، پروتئین و مواد معدنی فسفر، آهن و آنتی اکسیدان ها است. علاوه بر این، به عنوان منبعی از ترکیبات

فیسالیس یا عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) گیاهی علفی و یکساله از خانواده Solanaceae است که میوه

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).

اسیدآمینها به‌عنوان کود زیستی به‌منظور بهبود رشد و افزایش کمی و کیفی محصولات کاربرد دارند و ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در کاهش تنش‌های اکسیداتیو گیاه نقش داشته باشند (Garcia et al., 2011). ال-سیستئین یک اسیدآمین 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 گلوکاتایون و برخی از ترکیبات دفاعی است و گزارش شده است که میوه تحت تیمار با ال-سیستئین دارای ویتامین ث، آنتوسیانین، فلاونوئیدها و

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 پروویانا 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 کمی 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 به‌عنوان یک عنصر مفید برای گیاه، نقش مثبتی در تعدیل آثار

نشاهای فیسالیس در اواخر اردیبهشت ماه در مرحله ۴ تا ۵ برگ حقیقی با فاصله ۱۵۰ سانتی متر بین ردیف‌ها و ۵۰ سانتی متر بین بوته‌ها در مزرعه کشت شد و دو هفته پس از استقرار کامل گیاهان، محلول‌پاشی برگی سیلیکات پتاسیم و ال-سیستین، سه بار در مرحله رشد رویشی (۸ تا ۱۰ برگی)، آغاز گلدھی 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).

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (1) \text{ رابطه (۱)}$$

ET_c: نیاز آبی فیسالیس (میلی متر در روز)، ET₀: تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (میلی متر در روز) و K_c: ضریب گیاهی فیسالیس (بدون واحد). لازم به توضیح است مقادیر ET₀ بر اساس روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیس برآورد شد. پس از محاسبه مقادیر ET_c، 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 به صورت کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

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

فول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به شاهد در شرایط تنش بود (Sogvar *et al.*, 2020). همچنین نتایج نشان داد که کاربرد ال-سیستین 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 اسید آمینه ال-سیستین 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-سیستین (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 ۲۵ ± ۲ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲۰ ± ۲ درجه سانتی‌گراد در شب با رطوبت نسبی ۶۵ درصد رشد یافت. پس از آماده شدن زمین،

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 (%)	نیترژن (%)	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH
لومرسی	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.

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{WUE} = Y \text{ (kg)} / W \text{ (m}^3\text{)}$$

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 طول موج‌های 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 طول موج مشخص می‌باشد.

رابطه (۳)

$$\text{کاروتنوئید میوه} = [7.6 (A480) - 1.49 (A510)] \times V / (W \times 1000)$$

محتوای مواد جامد محلول میوه (TSS) با استفاده از دستگاه رفاکتومتر 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) به روش تیتراژ با هیدروکسید سدیم با استفاده از رابطه ۴ اندازه‌گیری شد (AOAC, 2000). در این رابطه (E) اکسی‌والان اسید مورد نظر، (N) نرمالیه محلول هیدروکسید سدیم، (S) مقدار هیدروکسید سدیم مصرف شده (میلی‌لیتر)، (F) فاکتور NaOH، (C) مقدار عصاره را نشان می‌دهد.

رابطه (۴)

$$\text{اسیدیته قابل تیتراسیون} (\%) = [E \times N \times S \times F / C] \times 100$$

برای اندازه‌گیری آسکوربیک اسید (ویتامین ث) میوه، عصاره به روش متافسفریک استخراج شد. جذب محلول حاصل در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. غلظت اسید آسکوربیک با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده از غلظت‌های مختلف آسکوربیک اسید در حضور دی‌کلرواندوفنل 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

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 کارایی 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 سیستین 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) به ترتیب با کاربرد ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر ال-سیستین 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 (Zhang *et al.*, 2017). مطابق پژوهش حاضر، افزایش مواد جامد محلول با اعمال تنش کم‌آبی در گوجه‌فرنگی (Shao *et al.*, 2015) و فلفل دلمه‌ای

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

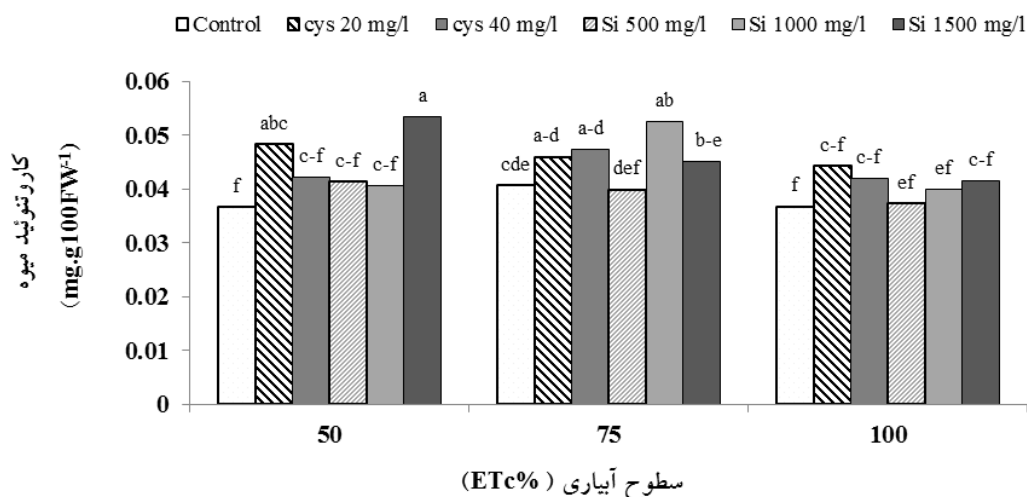
برای اندازه‌گیری درصد ماده خشک میوه (Dry matter)، وزن تر پنج میوه از هر بوته و جمعاً ۲۵ میوه از هر واحد آزمایشی توزین و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه آون قرار داده و وزن خشک میوه‌ها به دست آمد و با استفاده از رابطه ۵، درصد وزن خشک میوه به دست آمد (Rezaei Nejad and Ismaili, 2013).

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

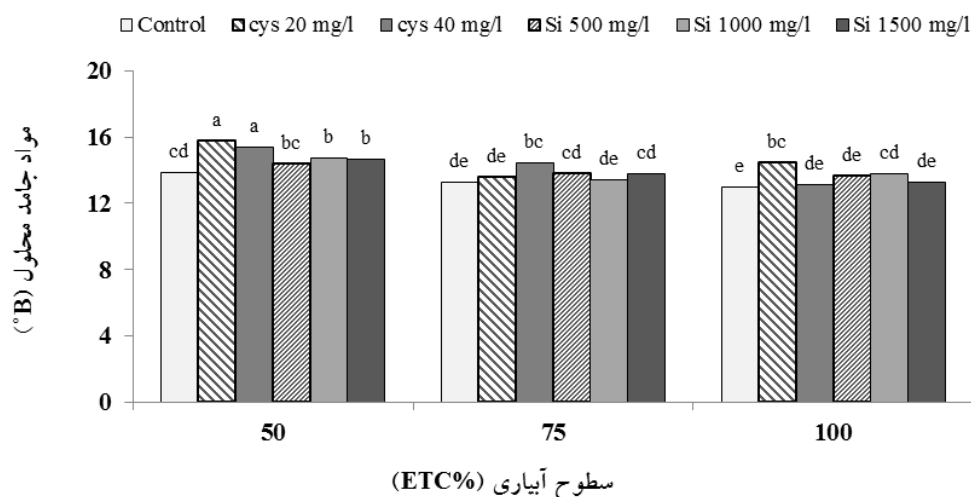
نتایج و بحث

کاروتنوئید میوه: نتایج نشان داد که اثر ساده تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و سیستین 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 سیستین میزان کاروتنوئید میوه را به‌طور قابل توجهی 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 به دست 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).



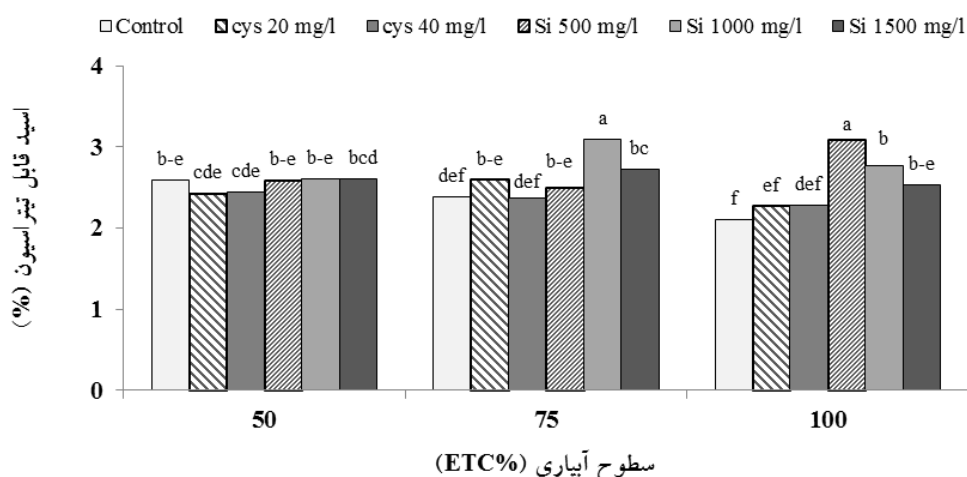
شکل ۱- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینو ال-سیستین بر کاروتنوئید میوه فیسالیس در شرایط تنش کم‌آبی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.



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

کاهش یا افزایش محتوای مواد جامد محلول دارد. مطابق پژوهش حاضر، کاربرد ال-سیستین 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 سیستین 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

(Daneshpajouh *et al.*, 2018) نیز گزارش شده است که می‌تواند به دلیل 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 اسیدآمینو ال-سیستین بر



شکل ۳- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمین ال-سیستین بر میزان اسید قابل تیتراسیون میوه فیسالیس در شرایط تنش کم آبی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

پژوهش حاضر کاربرد سیلیکات پتاسیم و اسیدآمین سیستین 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 کم آبی در گوجه‌فرنگی منجر به حفظ محتوای اسیدها در میوه گردید (Barzegar Hafshejani et al., 2022).

ویتامین ث: اعمال تنش کم آبی به‌طور معنی داری ویتامین ث میوه فیسالیس را کاهش داد و کاربرد سیلیکات پتاسیم و اسیدآمین سیستین باعث افزایش مقدار ویتامین ث شده و اثرات مضر تنش کم آبی 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 کم آبی تنظیم

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

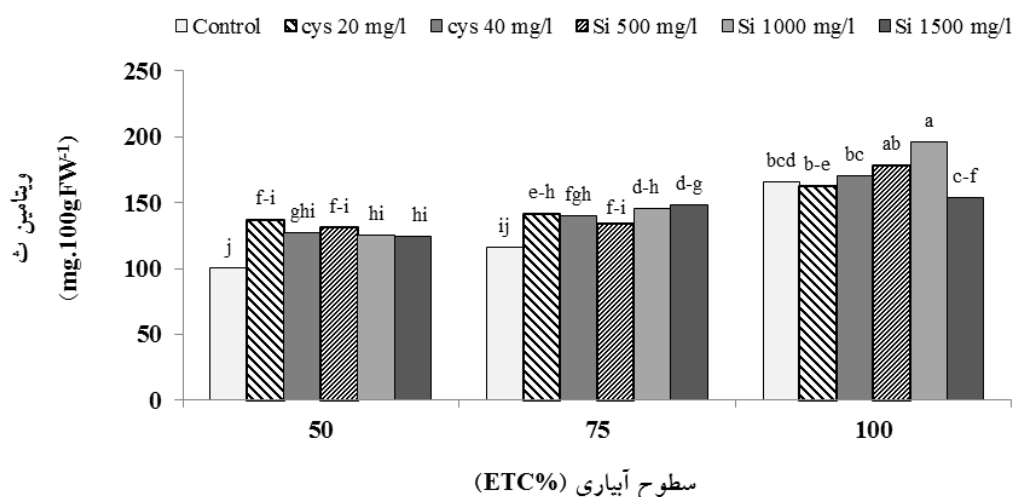
اسید قابل تیتراسیون: بر اساس نتایج، تیمار آبیاری تأثیر معنی داری بر میزان اسید قابل تیتراسیون میوه نشان نداد ولی تیمار محلول‌پاشی و اثر متقابل تیمار محلول‌پاشی و آبیاری در سطح یک درصد اختلاف معنی داری نشان داد (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل، بیشترین میزان اسید قابل تیتراسیون (۳/۰۹ و ۳/۰۸ درصد) به ترتیب با کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد و کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در شرایط کم آبی 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 می‌گذارد (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 متابولیسمی در میوه به‌دلیل استفاده از اسیدهای آلی در فرایند تنفس می‌باشد (Gol et al., 2013). در

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینو ال- سیستین بر صفات کیفی میوه فیسالیس در شرایط تنش کم آبی

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
پروتئین میوه	ویتامین ث	اسید قابل تیتراسیون	مواد جامد محلول	کاروتنوئید میوه		
۰/۰۰۱۸۱	۹۲/۷۵۷۴	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۲۷۴	۰/۰۰۰۰۱۷	۲	تکرار
۰/۱۱۸۰۶**	۱۰۶۱۳/۵۷**	۰/۰۴۸۹۳ ^{ns}	۸/۳۴۱۹**	۰/۰۰۰۱۱۹**	۲	آبیاری
۰/۰۰۵۱۲	۱۳/۱۷۷۸	۰/۰۳۵۸	۰/۱۰۳۶	۰/۰۰۰۰۰۲	۴	خطای کرت اصلی
۰/۰۲۲۱۷**	۸۰/۸۳۸۸**	۰/۳۴۷۳۱**	۱/۵۷۶۱**	۰/۰۰۰۱۱۳**	۵	تیمار (Cys و Si)
۰/۰۲۵۹۷**	۳۷۲/۸۴۸*	۰/۱۴۹۲۸**	۰/۶۲۴۶**	۰/۰۰۰۰۴۳*	۱۰	آبیاری × تیمار
۰/۰۰۳۰۱	۱۴۲/۱۲۱۲	۰/۰۲۸۷۸	۰/۱۵۵۶	۰/۰۰۰۰۱۸	۳۰	خطای کرت فرعی
۱/۸۲	۸/۲۶	۶/۶۴	۲/۸۱	۹/۸۷	-	ضریب تغییرات (/.)

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪

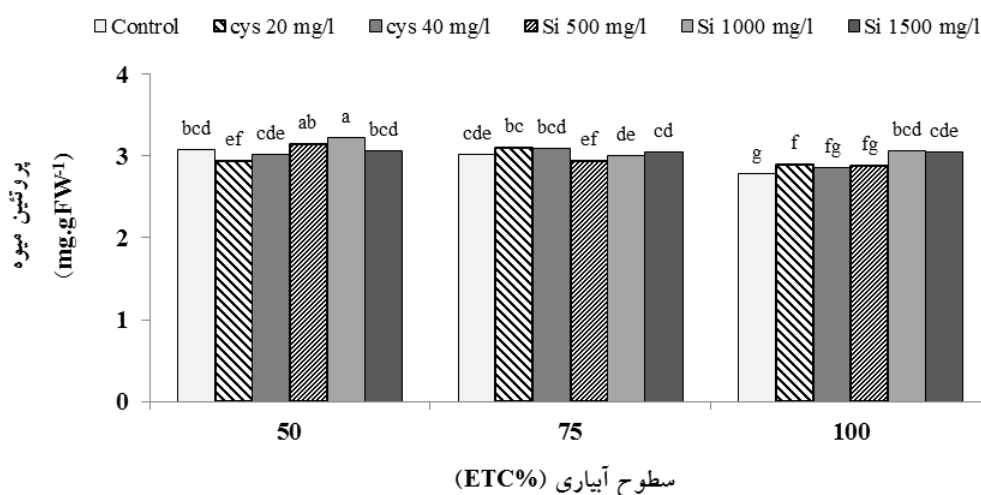


شکل ۴- اثر سیلیکات پتاسیم و اسیدآمینو ال- سیستین بر میزان ویتامین ث میوه فیسالیس در شرایط تنش کم آبی. حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

(et al., 2022)

پروتئین میوه: پروتئین میوه فیسالیس با اعمال تنش کم آبی به طور معنی داری افزایش یافت، به طوریکه با افزایش شدت تنش کم آبی 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 میلی گرم در لیتر سبب افزایش معنی داری در میزان پروتئین میوه نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین مقدار پروتئین میوه (۳/۲۲ میلی گرم بر گرم وزن تر)

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 انجام شده در گوجه‌فرنگی، تنش کم آبی سبب کاهش در میزان ویتامین ث میوه گردید و محلول پاشی سیلیس با کاهش تنفس و مصرف اسیدهای آلی، سبب حفظ محتوای ویتامین ث گردید (Barzegar Hafshejani



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

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 ($P \leq 0.01$) کاهش یافت و تیمارهای سیلیکات پتاسیم و سیستین 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 اسیدآمینة ال-سیستین 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 اسیدآمینة سیستین 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 اسیدآمینة سیستین 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 اسیدآمینة سیستین سبب تعدیل اثرات تنش کم‌آبی شده و عملکرد میوه

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، اسیدآمینة 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

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سیلیکات پتاسیم و اسید آمینه ال-سیستین بر عملکرد میوه و کارایی مصرف آب فیسالیس در شرایط تنش کم آبی

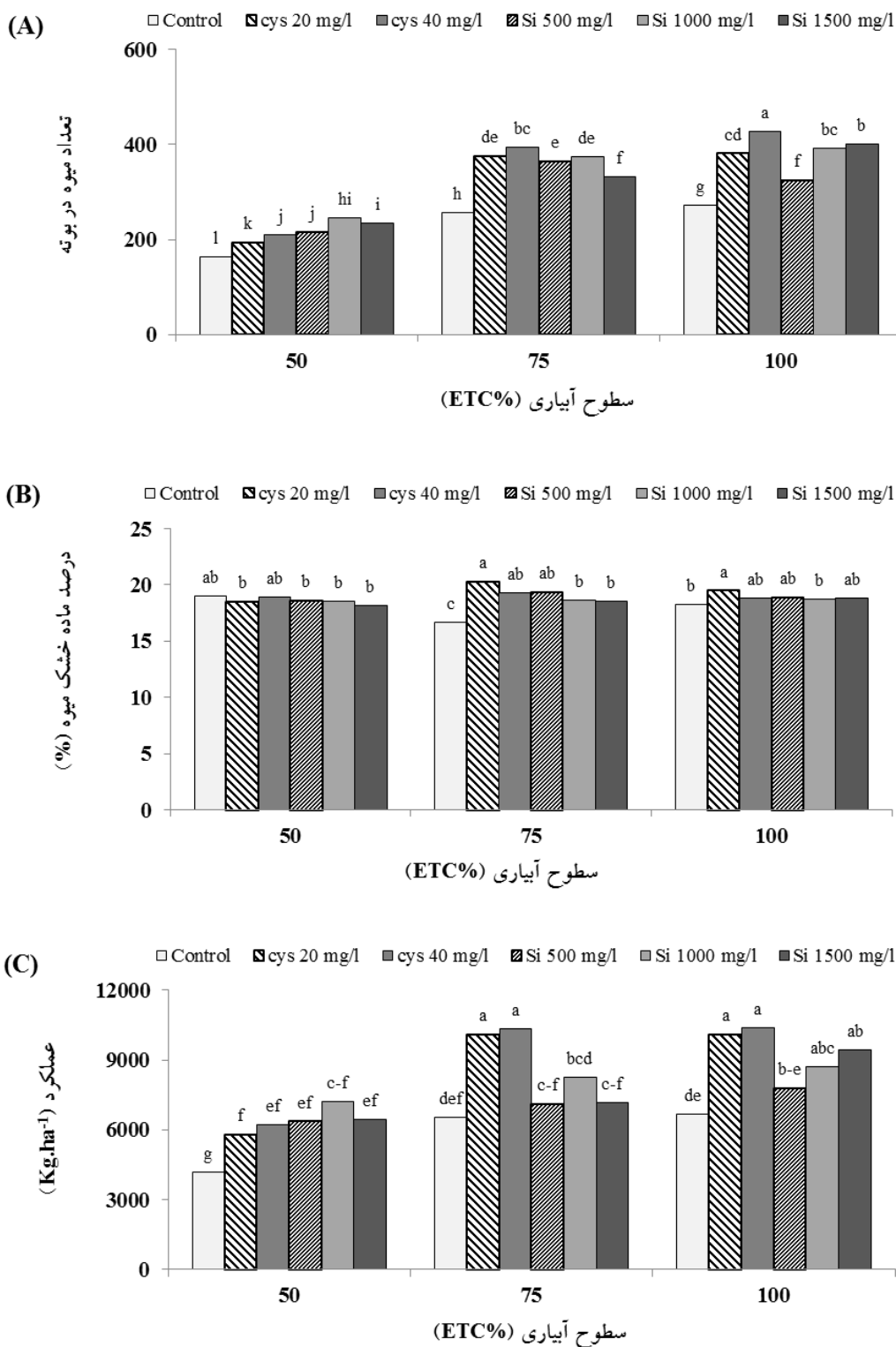
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		تعداد میوه	درصد وزن خشک میوه	کارایی مصرف آب
تکرار	۲	۳۶/۷۲	۰/۳۵۰۹	۰/۰۰۲۹
آبیاری	۲	۱۳۱۱۹۸/۱۶**	۰/۲۶۴۴ ^{ns}	۱/۸۵۶۸**
خطای کرت اصلی	۴	۳۳/۲۲	۱/۹۴۸۹	۰/۱۳۲۱
تیمار (Cys و Si)	۵	۱۵۲۱۸/۰۴**	۲/۳۲۱۸*	۱/۷۲۱۵**
آبیاری × تیمار	۱۰	۲۳۵۴/۶۷**	۱/۵۴۶*	۰/۱۸۲۸*
خطای کرت فرعی	۳۰	۸۱/۵۴	۰/۶۴۷۷	۰/۰۶۲۸
ضریب تغییرات (%)	-	۲/۹۲	۴/۲۹	۱۳/۱۸

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪.

در بوته از مهم‌ترین اجزای مؤثر در عملکرد گیاه فیسالیس است. کاهش تعداد میوه در بوته ممکن است تحت اثر تنش کم آبی در زمان گلدهی و گرده‌افشانی باشد که ممکن است باعث خشک شدن دانه گرده و کلاله مادگی در اثر کم آبی و به دنبال 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

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

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 به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و تخریب مراکز واکنش فتوسنتزی، کاهش قابل توجهی در میزان فتوسنتز و تجمع زیست‌توده گیاهی مشاهده می‌شود (Ibrahim et al., 2016). علاوه بر این، تنش کم آبی باعث جذب، توزیع مجدد و انتقال مواد مغذی می‌شود که منجر به کاهش رشد، محتوای ماده خشک و عملکرد می‌شود که 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

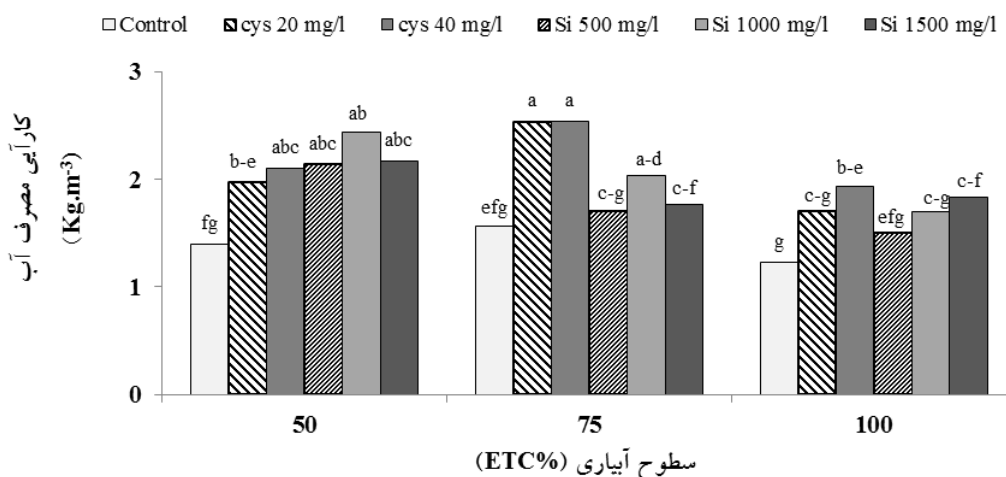


شکل ۶- اثر سیلیکات پتاسیم و اسید آمینه ال-سیستین بر تعداد میوه در بوته (A)، درصد ماده خشک (B) و عملکرد میوه (C) میوه فیسالیس در شرایط تنش کم آبی. حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری در سطح احتمال خطای ۵ درصد است.

به طور معنی داری معنی داری ارتفاع گیاه، تعداد میوه، طول و به تیمار شاهد افزایش داد.

کارایی مصرف آب (WUE): اعمال تنش کم آبی، کارایی

قطر میوه، درصد ماده خشک میوه و عملکرد محصول را نسبت



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

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 کارایی مصرف آب نسبت به تنش شدید افزایش بیشتری داشته است. به نظر می‌رسد کاربرد سیلیکات پتاسیم و اسید آمینو ال- سیستین 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 کارایی مصرف آب را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (Araujo *et al.*, 2019). تیمار اسیدآمینو منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبخیر و تعرق گیاه و افزایش محتوای نسبی آب برگ شده و در نتیجه کارایی 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

مصرف آب به‌طور معنی‌داری افزایش داد ولی با افزایش شدت تنش از مقدار آن کاسته شد به‌طوری‌که بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی حاصل شد. همچنین محلول‌پاشی تیمارهای سیلیکات پتاسیم و اسید آمینو ال- سیستین سبب افزایش کارایی مصرف آب گردید (جدول ۴ و شکل ۷). نتایج نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب (۲/۵۳ و ۲/۴۳ کیلوگرم در مترمکعب) به‌ترتیب در گیاهان تیمار شده با ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدآمینو سیستین 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، کارایی 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)، کارایی مصرف آب را بهبود بخشید و تنش آبی شدید (۵۰ درصد) کارایی مصرف آب را کاهش داد که با نتایج به‌دست آمده در گوجه‌فرنگی (Kuscu *et al.*, 2014) مطابقت دارد. این کاهش

درصدی مصرف آب، عملکرد میوه ۳۵/۵ درصد افزایش یافت و همچنین در شرایط کم آبی ۵۰ درصد، با محلول پاشی سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰ میلی گرم 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 میلی گرم در لیتر و اسید آمینه سیستین با افزایش محتوای کاروتنوئید میوه، اسید قابل تیتراسیون، ویتامین ث و پروتئین میوه، کیفیت میوه را بهبود بخشیدند. بنابراین می توان در راستای افزایش عملکرد و کیفیت میوه و کاهش اثرات منفی تنش کم آبی، تیمارهای کودی سیلیکات پتاسیم یا اسید آمینه ال-سیستین را پیشنهاد کرد.

فتوستتزی و بهبود کارایی مصرف آب، سبب افزایش تحمل به شرایط کم آبی در میوه گوجه فرنگی گردید (Moraes et al., 2020).

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می توان بیان کرد که تنش کم آبی با کاهش تعداد میوه در بوته، عملکرد میوه را کاهش داد، بطوری که تنش کم آبی ۵۰ درصد منجر به کاهش ۳۷/۳ درصد عملکرد میوه در مقایسه با آبیاری ۱۰۰ درصد شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم یا اسید آمینه ال-سیستین در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد و تنش کم آبی، عملکرد میوه فیسالیس را افزایش دادند به طوری که با محلول پاشی اسید آمینه سیستین ۲۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر در شرایط کم آبی ۷۵ درصد در مقایسه با گیاهان شاهد تحت آبیاری ۱۰۰ درصد، با کاهش ۲۵

منابع

- وزیری، ژاله، سلامت، علیرضا، انصاری، محمدرضا، مسچی، محمود، حیدری، نادر، و دهقانی سانچ، 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](https://doi.org/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.

- Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4, 644–652. DOI: [http://dx.doi.org/10.18006/2016.4\(Issue6\).644.652](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/f1000research.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](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 silício na bioquímica e fisiologia das plantas. In: *Nutricao e Aduacao de Grandes Culturas Na Regiao 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 Science Journal*, 3, 382–385.

- 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., Crosby, 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.

<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. *Emergent 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., Huang, G., Xua, X., & Huang, 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>

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 Khani¹, Taher Barzegar^{1*}, Jaefar Nikbakht²

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