مقاله پژوهشی

تعدیل تنش شوری با محلول‌پاشی نانوسیلیکون در رز باغی مینیاتوری (*Rosa chinensis* Jacq.)

میلاد کریمی، حنیفه سید حاجی‌زاده*، سید مرتضی زاهدی و سحر عزیزی

گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۳/۲۷، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۶/۲۲)

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی نانوسیلیکون در تعدیل تنش شوری در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز آزمایشی براساس فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه مراغه در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا شد. دراین پژوهش برای بهبود صفات کمی، کیفی و بیوشیمیایی گل رز باغی در شرایط شور (صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار)، از محلول‌پاشی نانوسیلیکون در غلظت‌های مختلف (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) استفاده شد. نتایج نشان داد شوری ۵۰ میلی‌مولار در تمامی فاکتورهای اندازه‌گیری شده باعث کاهش شدید این پارامترها نسبت به گیاهان شاهد شد و کمترین مقدار هر پارامتر در غلظت ۵۰ میلی‌مولار شوری حاصل شد. درحالیکه محلول-پاشی نانوسلیکون تحت شوری ۵۰ میلی‌مولار، باعث محافظت از شاخص کلروفیل، و منجر به افزایش تعداد برگ (۶۴/۲ درصد)، فلورسانس حداکثر (۵۵/۴ درصد) و فلورسانس متغیر (بیش از سه برابر) گردید. همچنین محلول‌پاشی منجر به کاهش میزان فلورسانس حداقل (۴۴ درصد) در شرایط شوری ۵۰ میلی‌مولار گردید. نانوسیلیکون با تحریک رشد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، میزان مالون دی‌آلدئید و درنهایت باعث کاهش تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی شد. محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش باعث افزایش میزان سنتز پرولین و کاهش آسیب اکسیداتیو به پروتئین شد. به نظر می‌رسد با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، محلول‌پاشی نانوسیلیکون به‌ویژه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط تنش شوری در گل رز قابل توصیه است.

کلمات کلیدی: درختچه، پرولین، تنش غیرزیستی، محافظت آنتی‌اکسیدانی، شاخص کلروفیل

مقدمه

رزها (*Roses*) یکی از مهم‌ترین گیاهان برای کشت در فضای سبز هستند و به دلیل گوناگونی در شکل گل، عادت رشدی گیاه و سازگاری با محیط، به‌طور گسترده زیر کشت قرار می‌گیرند (Cai *et al*., 2014). همچنین رزها به دلیل تنوع در رنگ و زیبایی گل، یکی از محبوبترین و پرفروش‌ترین گل‌های شاخه بریده در سرتاسر دنیا محسوب می‌شوند. از طرفی اخیراً با توجه به کاربردهای گوناگون در زمینه تهیه فرآورده‌های دارویی، غذایی و آرایشی و بهداشتی، توجه زیادی به این گیاه شده است. گزارش شده که گل رز نسبتاً به شوری حساس بوده و چنانچه در معرض شوری ۲ تا ۳ دسی‌زیمنس بر متر قرار گیرد، عملکرد آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: hajizade@maragheh.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

(Kataria and Verma, 2018). گزارش‌های مختلف روی ارقام گل رز نشان می‌دهد شوری به‌ویژه در غلظت‌های بالا اثر معنی‌داری بر بسیاری از پارامترهای رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی داشته است؛ به‌طوری‌که شوری منجر به کاهش سطح برگ، ارتفاع، تعداد شاخه های فرعی و اندازه گل گردیده است (Yazdani-Biouki *et al*., 2020). اصغری و دیانت (Asgari and Diyanat, 2021) نشان دادند شوری علاوه بر پارامترهای رشدی، برخی از صفات فیزیولوژیکی مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در گیاه رز رقم مینیما تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. شوری از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعات نشان می‌دهد تنش شوری حداقل باعث خسارت ۲۰ درصدی به محصولات کشاورزی در سراسر جهان شده است (Hussain *et al*., 2018). معمول‌ترین نوع شوری که در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل کمبود آب رخ می‌نماید ناشی از کلرید سدیم است. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض شوری منجر به تنش‌های قابل توجه یونی و اکسیداتیو می‌شود که به‌دلیل جریان بیشتر کلرید سدیم به داخل گیاه است (Ferchichi *et al*., 2018). اثرات زیان‌آور شوری بر گیاهان به شیوه‌های مختلف از قبیل مرگ و یا کاهش تولید گیاه نمایان می‌شود (Parida and Das, 2005). تجمع نمک‌ها غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل و کاروتنوئید را کاهش داده و پس از آن با مهار آنزیم ریبولوز۱و۵- بیس‌فسفات، مراکز واکنش در فتوسنتز را تخریب و درنتیجه باعث تولید مقادیر زیادی از گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS) می‌شود (Fing *et al*., 2018). علاوه بر این، مقادیر بیش از حد ROS مانع تعرق و جذب مواد مغذی شده و به درشت‌مولکول‌های حیاتی مانند اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و لیپیدها و نیز یکپارچگی غشاء آسیب رسانده و در سایر متابولیسم‌های حیاتی اختلال ایجاد می‌کند (Morton *et al*., 2019). برای غلبه بر تنش شوری، گیاهان باید شرایط محرومیت یونی، تحمل اسمزی، هموستازی اکسیداسیون و احیا و کارایی فتوسنتز خود را بهبود بخشند.

سیلیکون دومین عنصر فراوان در خاک است و در بسیاری از گیاهان به‌عنوان یک عنصر مفید برای رشدونمو گیاه مطرح است. کاربرد سیلیکون (Si) باعث بهبود رشدونمو در گیاهان مختلف بخصوص هنگامی که تحت تنش‌های زیستی و غیرزیستی نظیر تنش فلزات سنگین، شوری، خشکی، سرما و یخ‌زدگی قرار گیرند، می‌شود (Zhu and Gong, 2014). سیلیکون، از طریق مکانیسم‌های مختلف تنظیم‌کننده مانند افزایش فعالیت فتوسنتزی، بهبود وضعیت آب و مدیریت مناسب مواد مغذی، سم‌زدایی از گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن با استفاده از سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان‌ها و غیر آنتی‌اکسیدان‌ها، کاهش جذب سدیم یا افزایش پتاسیم وابسته به پمپ H^+-ATPase در اندام‌های مختلف، تحمل به تنش شوری را افزایش می‌دهد (Liu *et al*., 2019). مطالعات نشان می‌دهد اخیراً استفاده از نانو ذرات در کشاورزی گسترش زیادی پیدا کرده است، هرچند کاربرد آن‌ها در کشاورزی حتی در سطح جهانی، در مرحله ابتدایی قرار دارد. به‌دلیل اینکه دیواره سلول گیاهی به‌عنوان یک مانع برای ورود آسان هر عامل خارجی به داخل سلول‌های گیاهی عمل می‌کند، نانو ذرات که قطر منفذ کمتری نسبت به قطر منفذ دیواره سلولی دارند، به راحتی می‌توانند از منافذ روی دیواره عبور کنند. نانو ذرات در سطح برگ از طریق منافذ روزنه‌ای و یا پایه‌های کرک وارد گیاه می‌شوند و سپس به بافت‌های مختلف منتقل می‌شوند (Nair *et al*., 2010). برخی مطالعات به‌منظور بررسی تنش شوری در گونه‌های گل رز انجام شده است. به‌عنوان مثال در پژوهشی روی شش رقم رز هیبرید باغچه‌ای، محققان مشاهده نمودند که با افزایش سطح شوری در ارقام Caldwell Pink, Carefree Delight, Marie, New Dawn, Pavie, The Fairy علاوه بر کاهش سرعت رشد گیاهان، میزان عملکرد و تعداد گل نیز کاهش می‌یابد (Cai *et al*., 2014). Hajizadeh و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که نانو سیلیکون به‌ویژه در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر باعث بهبود رشد، صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ژربرا شد. ضخامت ساقه را افزایش داد اما طول ساقه را کمی تحت تأثیر قرار داد که در شوری ۳۰ میلی‌مولار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

NaCl این تفاوت بسیار مشهود بود. شوری نشت الکترولیت (۳۲/۵ ٪)، مالون دی‌آلدئید (۸۳/۸ ٪)، پراکسید هیدروژن (۱۱۳/۵ ٪)، و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز (۳/۴ برابر) و گایاکول پراکسیداز (۶ برابر) را افزایش داد محلول‌پاشی گیاهان ژربرا با نانو سیلیکون باعث تعدیل آن شد. همچنین افزایش SiO_2-NPs به‌ویژه در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش جذب Ca^{2+} (۲۵/۳ درصد) و همچنین K^+ (۲۷/۱ درصد) و کاهش جذب Na^+ (۶/۳ درصد) شد. نتایج حاکی از تأثیر زیاد SiO_2-NPs در بهبود تحمل به شوری در ژربرا و نیز در بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه در شرایط غیرشور داشت. اثر مطلوب کوددهی سیلیسیم بر تعدیل ناهنجاری‌های ناشی از تنش شوری در گیاهان متعدد دیگری از جمله گل ژربرا (Savvas *et al*., 2002) نیز گزارش شده است.

با توجه به اهمیت گیاه رز در صنعت گل و گیاهان زینتی و طراحی فضای سبز و این که یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظاهر گل و حفظ طراوت و کیفیت آنها، تغذیه بهینه در طول دوره رشدونمو گل است. از طرفی وجود شرایط نامناسب محیطی از جمله تنش شوری در منابع آبی و خاکی اثرات منفی در رشدونمو گیاهان زینتی و نیز تغذیه متعادل آن‌ها دارد. بنابراین شناسایی راهکارهای مناسب با هزینه کم جهت تعدیل اثرات شوری و افزایش کمیت و کیفیت گیاهان زینتی چندساله در فضای سبز از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا هدف از این مطالعه بررسی پتانسیل استفاده از نانوسیلیکون در شرایط شوری بر خصوصیات رویشی، فیزیولوژیکی و فعالیت رنگدانه‌های فتوسنتزی گل رز باغچه‌ای رقم ساناز است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و در آزمایشگاه پژوهشی گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه مراغه روی رزهای باغی مینیاتوری رقم ساناز (*Rosa chinensis* Jacq. cv. Sanaz)، براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. برای این منظور، قلمه‌های ریشه‌دار شده رز از شهرستان محلات خریداری شد و به گلخانه تجاری در شهرستان مراغه با میانگین دمای ۵±۲۰ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۱۸۰-۲۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه و متوسط رطوبت نسبی ۸۰ درصد جهت استقرار و اعمال تیمارها منتقل شدند. قلمه‌های ریشه‌دار شده رز در گلدان‌های پلاستیکی سه لیتری حاوی بستر کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۱:۲ کشت شدند. همچنین به منظور تغذیه پایه گیاهان از محلول یک دوم هوگلند استفاده شد. یک ماه پس از استقرار گیاهان در بستر کشت و قبل از گلدهی، به‌منظور اعمال تنش شوری از نمک کلرید سدیم (NaCl) به همراه محلول غذایی در سطوح صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار استفاده شد و غلظت‌های مختلف نمک در محلول غذایی هوگلند حل شد و برای آبیاری گیاهان به‌مدت یک ماه استفاده گردید. برای تیمار شاهد فقط از محلول غذایی هوگلند استفاده شد. جهت جلوگیری از تجمع نمک، بستر کشت هر دو هفته یکبار به‌صورت کامل توسط آب شهری شستشو داده می‌شد. نانوسیلیکون (با اندازه کوچکتر از ۵۰ نانومتر) از شرکت نانوسانی (ایران) طبق مشخصات ارائه‌شده در پژوهش قبلی (Hajizadeh *et al*., 2021) تهیه شد. پس از یک ماه اعمال سطوح مختلف شوری، محلول‌پاشی با نانوسیلیکون در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌صورت محلول‌پاشی به فاصله هر سه روز یکبار در پنج مرحله انجام گرفت. محلول‌پاشی تیمارهای شاهد با آب‌مقطر انجام شد. یک هفته بعد ازپایان محلول‌پاشی، نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شد و برخی صفات شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، فلورسانس کلروفیل، مقدار پرولین، مقدار پروتئین و مالون دی‌آلدئید و نیز میزان فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

شاخص کلروفیل: برای اندازه‌گیری کلروفیل برگ از دستگاه کلروفیل سنج (SPAD-520، ژاپن) استفاده شد. به‌طوری‌که از بین برگ‌های بالغ توسعه‌یافته و از بخش میانی بوته‌ها سه برگ به‌طور تصادفی انتخاب شد و در هر برگ از سه قسمت متفاوت و خارج از محل رگبرگ‌ها نمونه‌برداری و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

اندازه‌گیری کلروفیل صورت گرفت (Raeini and Shiukhy, 2014).

شاخص فلورسانس کلروفیل: اندازه‌گیری فلورسانس‌کلروفیل با استفاده از دستگاه فلورومتر (مدل WALZ-2500 Germany,)، از برگ‌های شاخساره‌های کاملاً توسعه‌یافته در حالت روشنایی صورت گرفت و سپس مقادیر فلورسانس حداقل (*Fo*)، فلورسانس حداکثر (*Fm*)، فلورسانس‌متغیر (*Fv*) و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (*Fv/Fm*) محاسبه شد (Hosseinzadeh *et al*., 2016).

پرولین: طبق روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، ۰/۵ گرم از برگ گیاه توزین و در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ساییده شد. از هر کدام از محلول‌های حاصل ۲ میلی‌لیتر برداشته و در لوله‌های آزمایش ریخته شد و سپس به هر یک ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید خالص افزوده شد. لوله‌ها به‌مدت یک ساعت در بن‌ماری ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و سپس در حمام یخ قرار گرفتند. به هر کدام از لوله‌ها ۲ میلی‌لیتر تولوئن افزوده و به شدت تکان داده شدند. سپس میزان جذب در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, UV-1800) خوانده شد.

مالون دی‌آلدهید : بافت تازه برگ (۰/۲ گرم) در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید (TCA) یک درصد ساییده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفوژ به‌مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ گردید. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل، ۴/۵ میلی‌لیتر از محلول TCA که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری حرارت داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد جذب این محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, UV-1800) در دو طول‌موج ۵۳۲ و ۶۱۰ نانومتر خوانده شد (Packer and Heath, 1969).

پروتئین محلول کل: برای سنجش غلظت پروتئین، به لوله‌های آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر معرف بیوره، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی افزوده شد و به سرعت با همزن آزمایشگاهی مخلوط گردید. پس از پنج دقیقه، جذب آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری (Shimadzu ,UV-1800) با طول‌موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری گردید (Mac-Adam *et al*., 1992).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: کمپلکس واکنشی (یک میلی‌لیتر) شامل، ۲۵۰ میکرولیتر از محلول بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (اسیدیته =۷)، ۲۵۰ میکرولیتر از آسکوربات یک میلی‌مولار، ۲۵۰ میکرولیتر از اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید (EDTA) ۰/۴ میلی‌مولار، ۱۹۰ میکرولیتر آب دو بار تقطیر، ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی استخراج شد. جذب واکنش آنزیمی در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر در زمان شروع و پس از یک دقیقه از شروع واکنش توسط اسپکتروفتومتر (Shimadzu.UV-1800) خوانده شد (Yoshimura *et al*., 2000).

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: جهت سنجش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از روش Beauchamp و Fridovich (۱۹۷۱) استفاده گردید. محلول‌های مورد نیاز برای سنجش فعالیت این آنزیم شامل۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (اسیدیته ۷/۸)، ۱۳ میلی‌مولار متیونین، ۷۵ میکرومولار نیتروبلوتترازولیوم (NBT)، ۰/۱ میلی‌مولار اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید (EDTA)، ۲ میکرومولار ریبوفلاوین بودند. ابتدا نمونه کنترل که شامل موارد ذکرشده در بالا به غیر عصاره آنزیمی بود تهیه شد. سپس تحت تابش دو لامپ فلورسنت ۲۰ وات به‌مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت. سپس جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, UV-1800) خوانده شد.

آنزیم گایاکول پراکسیداز: کمپلکس واکنشی (دو میلی لیتر) شامل، یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (اسیدیته=۷)، ۲۵۰ میکرولیتر اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید (EDTA) ۰/۱ میلی‌مولار، یک میلی‌لیتر گایاکول پنج میلی‌مولار، یک میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار و۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی استخراج شد. میزان جذب واکنش آنزیمی در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

طول‌موج ۴۷۰ نانومتر در زمان شروع واکنش و یک دقیقه پس از آن محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, UV-1800) خوانده شد (Tang and Newton, 2005).

داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد آنالیز شدند. رسم جداول و نمودارها با استفاده از مجموعه نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ است.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد اثرات متقابل شوری و محلول‌پاشی نانوذرات سیلیکون تأثیر معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بر تعداد برگ، فلورسانس حداقل و متغیر و در سطح پنج درصد بر فلورسانس حداکثر داشت. اثرات متقابل شوری و محلول‌پاشی نانوذرات بر میزان شاخص کلروفیل و فتوسیستم II معنی‌دار نبود، اما اثر اصلی محلول‌پاشی در سطح پنج درصد بر میزان شاخص کلروفیل و اثر اصلی هر دو تیمار در سطح یک درصد بر میزان فتوسیستم II اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱).

شوری ۵۰ میلی‌مولار منجر به کاهش تعداد برگ (۱۱/۸۱ مقابل ۲۳/۵۹)، فلورسانس حداکثر (۱/۷۵ مقابل ۲/۵۳) و فلورسانس متغیر (۰/۵۶ مقابل ۱/۵۷) در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. میزات فلورسانس حداقل تحت تنش شدید (۱/۸۴ مقابل ۱/۲۸) افزایش یافت (جدول ۲). محلول‌پاشی نانوسلیکون تحت شوری ۵۰ میلی‌مولار منجر به افزایش تعداد برگ (۱۹/۴۱ مقابل ۱۱/۸۱)، فلورسانس حداکثر (۲/۷۲ مقابل ۱/۷۵) و فلورسانس متغیر (۲/۳۸ مقابل ۰/۵۶) گردید. همچنین محلول‌پاشی منجر به کاهش میزان فلورسانس حداقل (۱/۰۳ مقابل ۱/۸۴) در شرایط شوری ۵۰ میلی‌مولار گردید (جدول ۲).

محلول‌پاشی نانوسیلیکون به‌ویژه در غلظت‌های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش شاخص کلروفیل برگ شد. غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون منجر به افزایش شاخص کلروفیل (۴۸/۵ مقابل ۴۱/۲) در مقایسه با گیاهان شاهد گردید (شکل ۱).

کاربرد نانوسیلیکون میزان این شاخص (۱/۰۱ مقابل ۰/۴۳) را افزایش داد (شکل a ۲). شوری شدید میزان کارایی فتوسیستم II (۰/۵۸ مقابل ۰/۹) را در مقایسه با شرایط عدم شوری (شاهد) کاهش داد (شکل b ۲).

در شرایط طبیعی، گیاهان در معرض بسیاری از عوامل تنش‌زای محیطی قرار می‌گیرند. که این تنش‌های محیطی می‌توانند دستگاه فتوسنتزی را مختل کنند و باعث کاهش بهره‌وری گیاه و عملکرد کلی شوند. فتوسنتز به‌ویژه به محدودیت‌های محیطی حساس است (Kalaji *et al.*, 2012). افزایش تعداد برگ یکی از راه‌هایی است که گیاه می‌تواند فتوسنتز و کربوهیدرات خود را افزایش دهد (Bayat *et al.*, 2012). سیلیسیم از انتقال و تجمع Na و Cl در اندام‌های هوایی گل رز جلوگیری کرد (Savvas *et al.*, 2007). تعداد برگ بیش‌تر که در گیاهان تحت تنش به همراه تیمار سیلیسیم به ثبت رسیده بیان می‌کند که سیلیسیم علاوه بر اثرات سودمند در حفظ آب بافت و افزایش تورژسانس سلولی، می‌تواند در متابولیسم دیواره سلولی هم نقش ایفا کرده و قابلیت دیواره را در انبساط و درنتیجه اتساع سلول بهبود بخشد (Romero-Aranda *et al.*, 2006). سیلیسیم با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش مقدار کلروفیل برگ باعث افزایش فتوسنتز می‌شود (Reezi *et al.*, 2009) افزایش فتوسنتز موجب افزایش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود. تجمع مواد حاصل از فتوسنتز در گیاه، تقسیم و رشد سلول‌های گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و باعث بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک می‌شود. این امر درنهایت منجر به افزایش اندام‌های رویشی نظیر تعداد برگ می‌شود (Bayat *et al.*, 2012). کلروفیل از مهمترین رنگدانه‌های نوری در گیاه محسوب می‌شود که مسئولیت اصلی آن دریافت انرژی نورانی برای استفاده در فتوسنتز است که با کاهش میزان کلروفیل در گیاه مقدار فتوسنتز برگ کاهش یافته که نتیجه آن کاهش تولید محصول است (Solomakhin and Blanke, 2008). با توجه به اینکه قسمت اعظم کلروفیل برگ در کلروپلاست‌ها قرار دارد، سیلیسیم با حفظ انسجام کلروپلاست‌ها، به‌خصوص گرانا،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری و نانوسیلیکون بر تعداد برگ، شاخص کلروفیل و برخی پارامترهای فلورسانس کلروفیل در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد برگ	شاخص کلروفیل	فلورسانس حداقل	فلورسانس حداکثر	فتوسیستم II	فلورسانس متغیر
تنش شوری	۲	۹/۶۹^{ns}	۳۰/۲۱^{ns}	۱/۲۶۶ **	۲/۶۰۸ **	۰/۳۳۶ **	۷/۵۳۴ **
نانوسیلیکون	۴	۹/۶۴^{ns}	۷۹/۴۲*	۰/۹۰۵ **	۱/۲۳۲ **	۰/۴۱۵ **	۶/۳۶۵**
تنش شوری × نانوسیلیکون	۸	۱۳۹/۹۹**	۵۶/۴۷^{ns}	۰/۰۱۵ **	۰/۰۱۱ *	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۱۱۲ **
خطای آزمایشی	۳۰	۳۱/۱۶	۲۹/۲۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات (درصد)		۲۳/۸۷	۱۱/۹۷	۵/۲۳	۲/۶۷	۴/۰۲	۵/۴۸

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری**

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر تعداد برگ، شاخص کلروفیل و برخی پارامترهای فلورسانس کلروفیل در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز

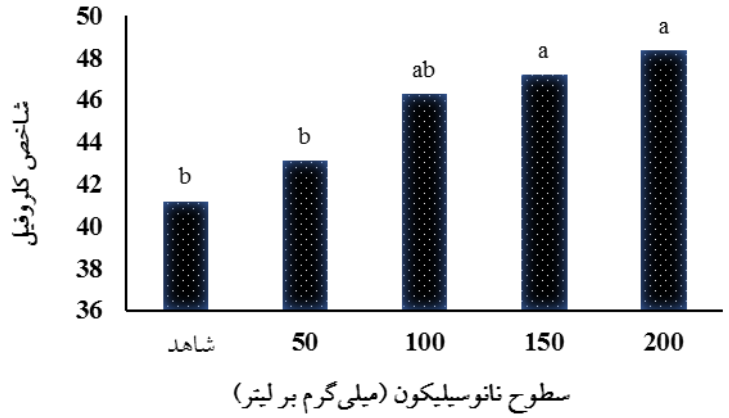
شوری (کلرید سدیم)	نانوسیلیکون (میلی‌گرم بر لیتر)	تعداد برگ	فلورسانس حداقل (*F0*)	فلورسانس حداکثر (*Fm*)	فلورسانس متغیر (*Fv*)
شاهد	۰	۲۳/۵۹ $^{c-d}$	۱/۲۸ ^{d}	۲/۵۳ ^{g}	۱/۵۷ ^{h}
	۵۰	۲۳/۵۹ $^{c-d}$	۰/۹۸ ^{e}	۲/۸۶ ^{d}	۲/۱۹ ^{f}
	۱۰۰	۲۵/۹۸ ^{bc}	۰/۸۲ ^{f}	۳/۰۲ ^{c}	۲/۶۵ ^{d}
	۱۵۰	۳۰/۰۵ ^{b}	۰/۷۲ ^{gh}	۳/۲۹ ^{b}	۳/۲۸ ^{b}
	۲۰۰	۴۱/۵۴ ^{a}	۰/۶۰ ^{i}	۳/۵۹ ^{a}	۴/۳۱ ^{a}
۲۵ میلی‌مولار	۰	۱۸/۶۱ $^{e-g}$	۱/۵۶ ^{b}	۲/۱۵ ^{i}	۰/۹۹ ^{j}
	۵۰	۲۰/۹ $^{c-f}$	۱/۳۲ ^{d}	۲/۳۹ ^{h}	۱/۴۸ ^{hi}
	۱۰۰	۲۱/۱ $^{c-f}$	۱/۰۱ ^{e}	۲/۶۰ ^{fg}	۲/۰۲ ^{f}
	۱۵۰	۲۱/۰۹ $^{c-f}$	۰/۸۱ ^{fg}	۲/۷۳ ^{e}	۲/۴ ^{e}
	۲۰۰	۲۴/۲۵ ^{cd}	۰/۶۳ ^{hi}	۲/۹۶ ^{cd}	۲/۹۲ ^{c}
۵۰ میلی‌مولار	۰	۱۱/۸۱ ^{h}	۱/۸۴ ^{a}	۱/۷۵ ^{k}	۰/۵۶ ^{k}
	۵۰	۱۴/۵۶ ^{gh}	۱/۶۵ ^{b}	۱/۹۵ ^{j}	۰/۸۶ ^{j}
	۱۰۰	۱۷/۷۹ ^{fg}	۱/۴۴ ^{c}	۲/۲۵ ^{i}	۱/۳۲ ^{i}
	۱۵۰	۱۹/۳۷ $^{d-h}$	۱/۲۸ ^{d}	۲/۴۹ ^{gh}	۱/۸۱ ^{g}
	۲۰۰	۱۹/۴۱ $^{d-g}$	۱/۰۳ ^{e}	۲/۷۲ ^{ef}	۲/۳۸ ^{z}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نمی‌باشند.

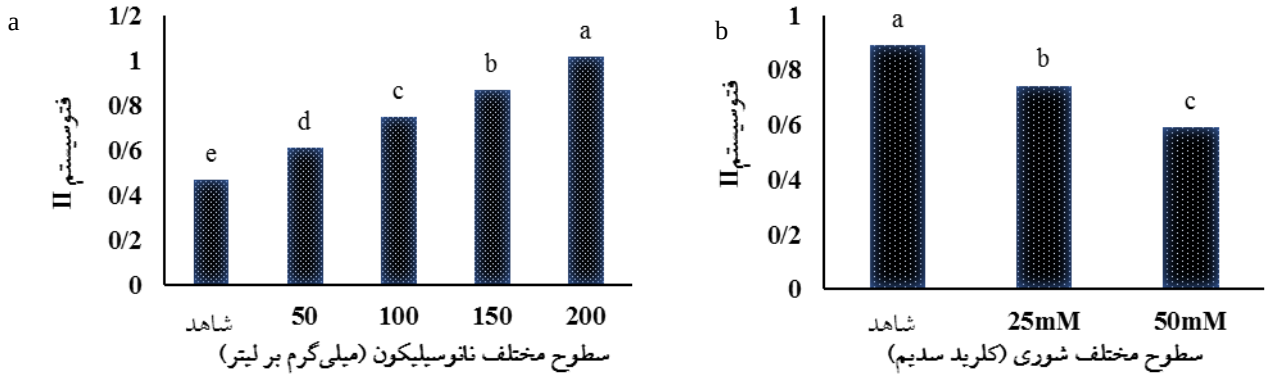
باعث حفظ کلروفیل در این اندامک‌ها می‌شود (Savvas and Ntatsi, 2015). سیلیسیم باعث افزایش تأمین مواد غذایی و تعادل عناصر ماکرو و میکرو در سلول می‌شود (Abdalla, 2010). Perez-Perez و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که شوری بر *F0* تأثیری نداشت، اما سایر پارامترهای فلورسانس، *Fm* و *Fv/Fm* کاهش یافته بودند. Jamil و همکاران (۲۰۰۷)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]



شکل ۱- اثر سطوح مختلف نانوسیلیکون بر میزان شاخص کلروفیل. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون دانکن است.



شکل ۲- (a) اثر سطوح مختلف نانوسیلیکون بر میزان کارایی فتوسیستم II. (b) اثر شوری بر میزان کارایی فتوسیستم II. در هر نمودار حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

نشان دادند که در تربچه *Fv/Fm* تحت شرایط شوری کاهش یافته و در شرایط تنش شدید کمترین میزان بود. همچنین، Bao-Shan و همکاران (۲۰۰۴) گزارش داد که تیمار نانوسیلیکون غلظت کلروفیل و شاخص‌های رویشی را در نهال‌های کاج اروپایی (*Larix sp.* Mill.) افزایش داد. جذب سیلیکون و رسوب آن در برگ‌ها ممکن است مستقیماً با ساختار بافت‌های فتوسنتزی درگیر باشد و بنابراین برای بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مفید باشد. از آنجایی که فتوسنتز منبع اصلی انرژی برای گیاهان است، برای رشد گیاه ضروری است و مستقیماً با ساختار برگ‌ها مرتبط است (Asmar *et al.*, 2013).

صفات بیوشیمیایی: اثر اصلی شوری بر پرولین و سوپراکسید دیسموتاز در سطح پنج و بر باقی صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بود درحالی‌که اثر اصلی نانوسیلیکون بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد صفات بیوشیمیایی شامل پرولین، مالون دی‌آلدئید، پروتئین کل و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت‌تأثیر اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی نانوسیلیکون قرار گرفتند و همه این پارامترها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳).

شوری ۵۰ میلی‌مولار منجر به افزایش میزان پرولین (۹/۷۱ مقابل ۲/۴۹) و مالون دی‌آلدئید (۱/۹۴ مقابل ۱/۴۹) در مقایسه با گیاهان شاهد گردید اما میزان پروتئین (۰/۸۵ مقابل ۱/۵۴)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری و نانوسیلیکون بر صفات بیوشیمیایی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز

منابع تغییر	درجه آزادی	پرولین	مالون دی‌آلدئید	پروتئین کل	آسکوربات پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	گایاکول پراکسیداز
تنش شوری	۲	۱۱/۸۸ *	۰/۲۷۸ **	۱/۶۷ **	۲۲۷/۲۶ **	۳۳/۰۶ *	۰/۰۰۲ **
نانوسیلیکون	۴	۳۱/۱۶ **	۰/۵۳۳ **	۰/۱۳۳ **	۲۰۷/۹۷ **	۸۰/۲۲ **	۰/۰۰۱ **
تنش شوری × نانوسیلیکون	۸	۲۷/۷۷ **	۰/۴۲۲ **	۰/۲۴۲ **	۳۲۵/۱۰ **	۵۴/۹۸ **	۰/۰۰۱ **
خطای آزمایشی	۳۰	۳/۰۵	۰/۰۴۳	۰/۰۱۶	۷/۵۳	۹/۰۶	۰/۰۰۰۰۳
ضریب تغییرات		۲۵/۰۲	۱۷	۹/۰۳	۱۲/۰۳	۳/۸۴	۱۴/۴۱

****و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری**

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و نانوسیلیکون بر برخی صفات بیوشیمیایی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز

شوری (کلرید سدیم)	نانوسیلیکون (میلی‌گرم بر لیتر)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)	مالون دی‌آلدهید (نانومول بر گرم وزن تازه)	پروتئین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	آسکوربات پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	گایاکول پراکسیداز
		(میکرو مول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)					
شاهد	۰	۲/۴۹ e	۱/۴۹ b	۱/۵۴ c-e	۱۱/۸۱ h	۶۵/۶۹ d	۰/۰۱۵ fg
	۵۰	۷/۶ b-d	۱/۱۶ b-d	۱/۵۸ c-e	۱۴/۵۶ gh	۷۲/۵۶ c	۰/۰۱۷ fg
	۱۰۰	۳/۹۵ e	۰/۸۰ de	۱/۶۵ b-d	۱۷/۷۹ fg	۷۶/۸۵ bc	۰/۰۱۸ fg
	۱۵۰	۳/۷۹ e	۰/۶۸ ef	۱/۸۵ b	۱۸/۶۱ e-g	۷۷/۳۸ bc	۰/۰۲۰ gh
	۲۰۰	۸/۳۱ b	۰/۴۰ f	۲/۴۹ a	۱۶/۲۰ f-h	۷۷/۰۳ bc	۰/۰۱۸ fg
۲۵ میلی‌مولار	۰	۸/۰۷ bc	۱/۵۳ b	۱/۱۲ g-i	۱۹/۳۷ d-g	۷۸/۸۴ ab	۰/۰۲۴ e-g
	۵۰	۸/۳۵ b	۱/۳۲ bc	۱/۲۶ f-h	۱۹/۴۷ d-g	۷۹/۳۴ ab	۰/۰۲۸ ef
	۱۰۰	۹/۳۲ b	۱/۲۷ bc	۱/۳۶ ef	۲۰/۹۲ c-f	۷۹/۲۹ ab	۰/۰۳۲ de
	۱۵۰	۴/۷۸ de	۱/۲۱ bc	۱/۴۴ d-f	۲۱/۰۹ c-f	۷۹/۸۱ ab	۰/۰۴۵ cd
	۲۰۰	۴/۹۰ c-e	۱/۲۰ bc	۱/۶۸ bc	۲۱/۱۰ c-f	۸۰/۶ ab	۰/۰۴۷ bc
۵۰ میلی‌مولار	۰	۹/۷۱ b	۱/۹۴ a	۰/۸۵ j	۲۳/۵۹ c-e	۸۱/۰۷ ab	۰/۰۵۰ bc
	۵۰	۹/۳۲ b	۱/۴۸ b	۱/۰۴ ij	۲۵/۹۸ bc	۸۲/۱۵ ab	۰/۰۵۲ b
	۱۰۰	۱۴/۶۸ a	۱/۴۵ b	۱/۰۱ ij	۳۰/۰۸ b	۸۲/۷ ab	۰/۰۵۳ b
	۱۵۰	۸/۳۱ b	۱/۳۵ bc	۱/۰۵ ij	۴۲/۳۸ a	۸۲/۵ ab	۰/۰۷۳ a
	۲۰۰	۷/۴ b-d	۱/۵۳ b	۱/۳۱ fg	۴۳/۳۲ a	۸۳/۵۲ a	۰/۰۷۹ a

میانگین‌های دارای حرف مشترک دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن نمی‌باشند.

تحت شوری شدید کاهش یافت (جدول ۴). تحت شرایط شوری شدید، محلول‌پاشی به‌ترتیب توسط غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسیلیکون منجر به افزایش پرولین (۱۴/۶۸ مقابل ۹/۷۱) و پروتئین (۱/۳۱ مقابل ۰/۸۵) در مقایسه با عدم محلول‌پاشی (شاهد) گردید. از طرفی محلول‌پاشی توسط غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسیلیکون منجر به کاهش میزان مالون دی‌آلدئید (۱/۳۵ مقابل ۱/۹۴) گردید (جدول ۴).

یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش شوری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

بیوسنتز و تجمع مواد آلی با وزن ملکولی کم از جمله پرولین است که از مهمترین اسمولیت‌ها در بسیاری از گیاهان است که در شرایط تنش تولید آن در گیاه افزایش می‌یابد (Ashraf and Foolad, 2007). یکی از نقش‌های پرولین در شرایط تنش شوری حفاظت اسمزی است که آنزیم‌ها و ساختار سلولی را در برابر تنش اسمزی محافظت می‌نماید. در شرایط تنش شوری با افزایش غلظت یون‌های سدیم و کلر در محیط ریشه و افزایش جذب آن‌ها، گیاهان برای خنثی‌کردن اثر سمی این یون‌ها، آن‌ها را به واکوئل منتقل می‌کنند و به‌منظور برقراری تعادل اسمزی، مواد آلی محلول از قبیل پرولین را در سیتوپلاسم تجمع می‌دهند (Vendruscolo *et al*., 2007). در پژوهشی که روی گندم در شرایط تنش خشکی انجام شد سیلیسیم با بالابردن مقدار تنظیم‌کننده‌های اسمزی نظیر بتائین، پرولین و گلیسین و حفظ تعادل آبی سلول از کاهش شدید محتوی نسبی آب برگ جلوگیری کرده و این امر سبب پایداری ساختار سلول در برابر تنش کم آبی شد (Ahmad and Haddad, 2011). رادیکال‌های فعال اکسیژن در گیاه باعث می‌شوند که برای کاهش اثرات سمی تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری، مکانیسم‌های متنوعی در گیاه فعال شود. یکی از موارد آسیب اکسیداتیو حاصل از شرایط تنش شوری، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی و تغییر در نفوذپذیری غشاء (افزایش نشت یونی) و خسارت به سلول است که منجر به تولید مالون دی‌آلدئید شده و می‌تواند به‌عنوان شاخصی از میزان تأثیر تنش شوری مورد توجه قرار گیرد (باقری کشتلی و خسروی‌نژاد، ۱۳۹۶). مطالعات نشان می‌دهد کاربرد سیلیکون، باعث کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن شده و از فرآیندهای فیزیولوژیکی که در معرض تنش قرار گرفته‌اند محافظت می‌کند (مخلصیان و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهش موسی‌پور و اصغری‌پور (۱۳۹۵) افزودن کودهای سیلیکات به خاک‌های شور می‌تواند اثرات تنش شوری را بر گیاه رز مینیاتوری کاهش دهد (Asghari and Marjani, 2021). سیلیکون با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی رازیانه باعث ایجاد اثر محافظتی در برابر پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش شد. در گیاه سیاه‌دانه تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار پرولین، آنزیم لیپوکسیژناز، مالون دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها می‌شود (Juan *et al*., 2005). به نظر می‌رسد کاهش محتوای پروتئین تحت شرایط تنش با کاهش سنتز آن، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین مرتبط است. همچنین گروه‌های کربونیل که در اثر اکسیده‌شدن پروتئین تولید می‌گردند تحت تنش در گیاه افزایش می‌یابد (Tayebi *et al*., 2012). تغذیه سیلیکون نقش مهمی در تعدیل فراهمی اگزوگلوتارات (2-Oxoglutarate) برای متابولیسم اسید آمینه‌ها ایفا می‌کند. بر این اساس کاربرد سیلیکون باعث افزایش مقدار پروتئین (با جلوگیری از تخریب آن) می‌شود (Savvas and Ntatsi, 2015). همچنین مطالعات نشان داد میزان پروتئین در شرایط اعمال سیلیکون در خیار (AL-Aghabary *et al*., 2005) و گوجه‌فرنگی (Zhu *et al*., 2004) تحت تنش شوری افزایش یافت.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: نتایج نشان داد شوری شدید منجر به افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل آسکوربات پراکسیداز (۲۳/۵۹ مقابل ۱۱/۸۱)، سوپراکسید دیسموتاز (۸۱/۰۷ مقابل ۶۵/۶۹) و گایاکول پراکسیداز (۰/۰۵۰ مقابل ۰/۰۱۵) در مقایسه با گیاهان شاهد (عدم تنش شوری) گردید. از طرفی تحت تنش شوری، محلول‌پاشی نانوسیلیکون در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر منجر به افزایش فعالیت این آنزیم‌ها (به‌ترتیب ۴۳/۳۲ مقابل ۲۳/۵۹، ۸۳/۵۲ مقابل ۸۱/۰۷ و ۰/۰۷۹ مقابل ۰/۰۵۰) در مقایسه با گیاهان شاهد (محلول‌پاشی با آب) گردید (جدول ۴).

رادیکال‌های واکنشگر اکسیژن به‌طور بالقوه دارای پتانسیلی هستند که با بسیاری از ترکیب‌های سلولی واکنش داده و سبب خسارت به غشا و سایر ماکرومولکول‌های ضروری از قبیل رنگدانه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شوند (Gill and Tuteja, 2010). به‌منظور کاهش اثرات سمی اکسیداتیو ناشی از تنش‌های خشکی و شوری، مکانیسم‌های متنوعی در گیاه فعال می‌شود. گیاهان با دارابودن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی که شامل ترکیب‌های آنزیمی (سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز) و غیرآنزیمی (اسید آسکوربیک، کارتنوئیدها، گلوتاتیون و توکوفرول) است، معمولاً مقدار ROS را در سلول در حد متعادل نگه می‌دارند (Venkatesan and Sridevi, 2009). مطالعات نشان می‌دهد سیلیکون با افزایش در فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در مقایسه با گیاهانی که تنها تحت تیمار شوری بودند، باعث کاهش خسارات اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن شد و از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهانی که در معرض تنش قرار گرفتند محافظت کرد (طالع احمد و حداد، ۱۳۸۹). نتایج پژوهش مخلصیان و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد، در هر دو رقم گیاه جو کاربرد سیلیکون در تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی جهت افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان نقش داشته و فعالیت آنزیم‌های ضداکسنده را تحت شرایط تنش خشکی افزایش داد. افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز همراه با افزایش میزان پرولین درتحمل برنج به تنش شوری تأثیر مثبتی داشت (باقری کشتلی و خسروی‌نژاد، ۱۳۹۶). استفاده از سیلیکون در شرایط تنش شوری از طریق افزایش کارایی فتوسیستم موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گوجه‌فرنگی می‌شود (AL-Aghabary *et al.*, 2005). در گزارشی نیز بیان شد در گیاه نعناع‌فلفلی نیز محلول‌پاشی سیلیکون و نانوسیلیکون فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و درصد اسانس را افزایش داد و باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری گردید (دانایی و عبدوسی، ۱۴۰۰).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد شوری با افزایش میزان نشانگرهای اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد، اثرات منفی بر رشدونمو و فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رز داشت. از طرفی محلول‌پاشی نانوسیلیکون منجر به تعدیل اثرات منفی شوری از طریق محافظت از سبزینگی برگ و فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی گیاه شد. همچنین، نانوسیلیکون با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه باعث ایجاد اثر محافظتی در برابر پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش شد. از اینرو با توجه به نتایج پژوهش حاضر و اهمیت محافظت و گسترش فضای سبز، استفاده از نانوسیلیکون راهکار مناسبی جهت مقابله با تنش‌های محیطی به‌ویژه شوری آب و خاک باشد.

منابع

باقری کشتلی، ع. و خسروی‌نژاد، ف. (۱۳۹۶) تأثیر قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر بهبود شاخص‌های رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تنش شوری. زیست‌شناسی تکوینی ۹: ۷۱-۵۷.

دانایی، ا. و عبدوسی، و. (۱۴۰۰) اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۳۷: ۱۱۲-۹۸.

طالع، ا. س. و حداد، ر. (۱۳۸۹) اثر سیلیکون بر فعالیت آنزیم‌های ضداکسنده و محتوای تنظیم‌کننده‌های اسمزی در دو ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی. مجله به‌زراعی نهال و بذر (نهال و بذر) ۲۶: ۲۲۵-۲۰۷.

مخلصیان، ص.، حداد، ر.، گروسی، ق. و قنادنیا، م. (۱۳۹۳) بررسی پاسخ آنزیمی و بیان نسبی ژن‌های کاتالاز و آسکوربیت پراکسیداز به تنش خشکی تحت تأثیر سیلیکون در گیاه جو. مجله علمی ـ پژوهشی زیست‌فناوری گیاهان زراعی ۴: ۲۰-۱۱.

موسی‌پور یحیی‌آبادی، ح. و اصغری‌پور، م. (۱۳۹۵) اثرات تنش خشکی و برهمکنش آن با سیلیکون بر سامانه آنتی‌اکسیدان و میزان پراکسیداسیون لیپیدی رازیانه (*Foeniculum vulgar*). فرایند و کارکرد گیاهی ۵: ۸۵-۷۲.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

Abdalla, M. M. (2010) Sustainable effects of diatomite on the growth criteria and phytochemical contents of *Vicia faba* plants. Agriculture and Biology Journal of North America 1: 1076-1089.

Ahmad, S. T. and Haddad, R. (2011) Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding 47: 17-27.

AL-Aghabary, K., Zhujun, Z. and Qinhua, S. (2005) Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Plant Nutrition 27: 2101-2115.

Asghari, F. and Diyanat, M. (2021) Effects of silicon on some morphological and physiological traits of rose (*Rosa chinensis* var. *minima*) plants grown under salinity stress. Journal of Plant Nutrition 44: 536-549.

Ashrsf, M. and Foolad, M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant aboitic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 207-216.

Asmar, S. A., Castro, E. M., Pasqual, M., Pereira, F. J. and Soares, J. D. R. (2013) Changes in leaf anatomy and photosynthesis of micropropagated banana plantlets under different silicon sources. Scientia Horticulturae 161: 328-332.

Bao-Shan, L., Chun-hui, L., Li-jun, F., Shu-chun, Q. and Min, Y. (2004) Effect of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of *Changbai larch* seedlings. Journal of Forestry research 15: 138-140.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for stress-water studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Bayat, H., Nemati, S. H. and Selahvarzi, Y. (2012) Effect of silicon on growth and some physiological characteristics of Persian petunia (*Petunia hybrida*). HortScience 26: 10-16.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. (1971) Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry 44: 276-287.

Cai, X., Niu, G., Starman, T. and Hall, C. (2014) Response of six garden roses (*Rosa*× *hybrida* L.) to salt stress. Scientia Horticulturae 168: 27-32.

Ferchichi, S., Hessini, K., Dell'Aversana, E., D'Amelia, L., Woodrow, P., Ciarmiello, L. F., Fuggi, A. and Carillo, P. (2018) *Hordeum vulgare* and *Hordeum maritimum* respond to extended salinity stress displaying different temporal accumulation pattern of metabolites Function. Plant Biology 45: 1096-1109.

Fing, D. H., Wang, G. Z., Si, W. T., Zhou, Y., Liu, Z. and Jia, J. (2018) Effect of salt stress on photosynthetic pigments and activity of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in *Kalidium foliatum*. Russian Journal of Plant Physiology 65: 98-103.

Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48: 909-930.

Hajizadeh, H. S., Asadi, M., Zahedi, S. M., Hamzehpour, N., Rasouli, F., Helvacı, M. and Alas, T. (2021) Silicon dioxide-nanoparticle nutrition mitigates salinity in gerbera by modulating ion accumulation and antioxidants. Folia Horticulturae 33: 91-105.

Heath, R. L. and Packer, L. (1969) Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.

Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H. and Ismaili, A. (2016) Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica 54: 87-92.

Hussain, M., Ahmad, S., Hussain, S., Lal, R., Ul-Allah, S. and Nawaz, A. (2018) Rice in saline soils: Physiology, biochemistry, genetics, and management. In Advances in Agronomy 148: 231-287.

Jamil, M., Lee, K. J., Kim, J. M., Kim, H. S. and Rha, E. S. (2007) Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. Scientia Agricola 64: 111-118.

Juan, M., Rivero, R. M., Romero, L. and Ruiz, J. M. (2005) Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. Environmental and Experimental Botany 54: 193-201.

Kalaji, H. M., Carpentier, R., Allakhverdiev, S. I. and Bosa, K. (2012) Fluorescence parameters as early indicators of light stress in barley. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 112: 1-6.

Kataria, S. and Verma, S. K. (2018) Salinity Stress Responses and Adaptive Mechanisms in Major Glycophytic Crops: The Story So Far. In Salinity Responses and Tolerance in Plants. Springer International Publishing.

Liu, B., Soundararajan, P. and Manivannan, A. (2019) Mechanisms of silicon-mediated amelioration of salt stress in plants. Plants 8: 307.

Mac-Adam, J. W., Nelson, C. J. and Sharp, R. E. (1992) Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. Plant Physiology 99: 872-878.

Morton, M. J., Awlia, M., Al-Tamimi, N., Saade, S., Pailles, Y., Negrao, S. and Tester, M. (2019) Salt stress under the scalpel–dissecting the genetics of salt tolerance. Plant Journal 97: 148-163.

Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Sakthi Kumar, D. (2010) Review: Nano particulate material delivery to plants. Plant Science 179: 154-163.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 324-349.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

Perez-Perez, J. G., Syvertsen, J. P., Botia, P. and Garcia-Sanchez, F. (2007) Leaf water relations and net gas exchange responses of salinized *Carrizo citrange* seedlings during drought stress and recovery. Annals of Botany 100: 335-345.

Raeini, M. and Shiukhy, S. (2014) Evaluation of the effect of geographical aspects and fruit location within orange tree canopy on Sangin orange fruit quality. Journal of Agricultural Meteorology 2: 57-66.

Reezi, S., Babalar, M. and Kalantari, S. (2009) Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of salt stressed cut rose (*Rosa hybrida* L.) 'Hot Lady'. American Journal of Biochemistry and Biotechnology 8: 1502-1508.

Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. and Cuartero, J. (2006) Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Journal of Plant Physiology 163: 847-855.

Savvas, D. (2002) Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo Publications, Athens.

Savvas, D. and Ntatsi, G. (2015) Biostimulant activity of silicon in horticulture. Scientia Horticulturae 196: 66-81.

Savvas, D., Gizas, G., Karras, G., Lydakis-Simantiris, N., Salahas, G., Papadimitriou, M. and Tsouka, N. (2007) Interactions between silicon and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. European Journal of Horticultural Science 72: 73.

Solomakhin, A. and Blanke, M. (2008) Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. Plant Growth Regulation 56: 211-218.

Tang, W. and Newton, R. J. (2005) Peroxidase and catalase activities are involved in direct adventitious shoot formation induced by thidiazuron in eastern white pine (*Pinus strobus* L.) zygotic embryos. Plant Physiology and Biochemistry 43: 760-769.

Tayebi, A., Afshari, H., Farahvash, F., Masood sinki, J. and Nezarat, S. (2012) Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. Journal of Plant Physiology 2: 445-453.

Vendruscolo, E. C. G., Schuster, I., Pilegg, M., Scapim, C. A., Molinari, H. B. C., Marur, C. J. and Vieira, L. G. E. (2007) Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. Journal of Plant Physiology 164: 1367-1376.

Venkatesan, A. and Sridevi, S. (2009) Response of antioxidant metabolism to NaCl stress in the halophyte *Salicornia brachiat*a roxb. Phytochemistry 4: 242-248.

Yazdani-Biouki, R., Rahimian, M. H., Beyrami, H., Rad, M. H. and Ranjbar, G. H. (2020) Effects of different levels of salinity stress on the morphological traits of damask rose (*Rosa damascene* Mill). JSPI 11: 1-12.

Yoshimura, K., Yabute, Y., Ishikawa, T. and Shigeoka, S. (2000) Expression of spinach ascorbate peroxidase isoenzymes in response to oxidative stresses. Journal of Plant Physiology 123: 223-233.

Zhu, Y. and Gong, H. (2014) Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. Agronomy for Sustainable Development 34: 455-472.

Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yu, J. (2004) Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). Plant Science 167: 527-533.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]

Amelioration of salinity stress by spraying of SiO_2-NPs in miniature garden rose (*Rosa chinensis* Jacq.)

Milad Karimi, Hanifeh Seyed Hajizadeh*, Seyed Morteza Zahedi and Sahar Azizi

Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
(Received: 17/06/2022, Accepted: 13/09/2022)

Abstract

In order to investigate the effects of nanosilicon in salinity stress amelioration in miniature garden rose 'Sanaz' a factorial experiment as a completely randomized design was done with three replications at greenhouse of University of Maragheh in 1399. In this study, for improving quantitative, qualitative and biochemical traits of miniature garden roses under salt stress (0, 25 and 50 mM NaCl), SiO_2-NPs spray was used at different levels (0, 50, 100, 150 and 200 mg L^{-1}). Results showed that all measured traits were decreased severely at 50 mM salinity compared to the controls and the least amount of each parameter was recorded at 50 mM level of salinity. Meanwhile, SiO_2-NPs spray at 50 mM salinity caused to preserve chlorophyll index and led to an increase in the number of plant leaves (62.4%), maximum florescence (55.4%) and variable florescence (more than 3 folded). Also, SiO_2-NPs spray decreased the minimum florescence (44%) at 50 mM salinity. Nanosilicon by stimulating growth and increasing in the activity of the antioxidant enzymes resulted in a decreased lipid peroxidation, malondialdehyde amount and, subsequently decreased oxidative stress in plant cells. Spray of nanosilicon under salinity stress, increased the amount of proline but decreased the oxidative damage to the protein. It seems that according to the present results foliar application of SiO_2-NPs especially at 200 mg L^{-1} under salinity stress can be recommended in garden roses.

Keywords: Rose, Proline, Abiotic stress, Antioxidant preservation, Chlorophyll index

Corresponding author, Email: hajizade@maragheh.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.53.1.9]