

بررسی اثر نانوذرات سیلیکون بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی بنه‌های زعفران (*Crocus sativus*)

بهاره زارعی^۱، خدیجه کیارستمی^{۲*}، منیر حسین زاده نمین^۳، منا صراحی نوبر^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۳

چکیده

نانوذرات سیلیکون دارای ویژگی‌های فیزیوشیمیایی متمایزی هستند که از طریق ورود به گیاهان بر متابولیسم گیاه تاثیر گذاشته و موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط محیطی نامطلوب می‌شوند. این تحقیق به منظور بررسی اثرات فیزیولوژیک نانوسیلیکون بر روی بنه زعفران انجام شد. گیاهان با نانو ذره سیلیکون در دو غلظت ۹ و ۱۸ میلی گرم بر لیتر تیمار و مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه بار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تیمار با نانوسیلیکون محتوای عناصری از جمله سیلیکون، پتاسیم، آهن، روی، منیزیم و کلسیم را افزایش داد. اما تفاوت معنی‌داری بر وزن تر و خشک و همچنین محتوای پروتئین مشاهده نشد ولی تعداد بنه‌های دختری در گیاهان تحت تیمار نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین محتوای پرولین و مالون دی آلدئید به طور معنی‌داری در بنه‌های زعفران تحت تیمار افزایش یافت. بیشترین میزان فنل و فلاونوئید، به ترتیب در گیاهان تیمار شده با غلظت های ۹ و ۱۸ میلی گرم بر لیتر نانوسیلیکون مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت تیمار با نانو ذرات سیلیکون می‌تواند محتوای تغذیه ای بنه زعفران و ظرفیت سیستم پاداکسایشی را از طریق تولید متابولیت های ثانوی افزایش دهد.

واژه های کلیدی: ترکیبات فنلی، سیستم پاداکسایشی، *Crocus sativus*.

مقدمه

امروزه محققان به دنبال روش‌های جدید، جهت افزایش عملکرد گیاهان هستند. کاربرد فناوری نانو در علوم گیاهی یکی از موضوعات جدید و به روز بوده که تحقیقات در این زمینه در حال گسترش است. تاکنون بسیاری از اثرها و کارکردهای

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: kh.kiarostami@alzahra.ac.ir

۳- دانشیار گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

۴- استادیار گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

نانومواد بر سازوکارهای فیزیولوژیک، متابولیک و افزایش عملکرد گیاهان مطالعه شده است و البته همچنان جنبه‌های ناشناخته‌ی بسیاری باقی است. همچنین با توجه به روند افزایشی تولید نانوذرات و استفاده روزافزون از آنها در صنایع مختلف، احتمال ورود آنها به اکوسیستم‌های مختلف افزایش یافته است. از این رو، ارزیابی اثرات آنها بر جنبه‌های مختلف حیات موجودات زنده ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از نانوذرات در کشاورزی، از مسائل جالب و مورد توجه در جهت به‌حداقل رساندن استفاده از کودهای شیمیایی و بهبود رشد و عملکرد و کیفیت محصول می‌باشد (Majumder *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2008; Siddiqui & Al-Whaibi, 2014).

سیلیکون (Si) یکی از فراوان‌ترین عناصر موجود در پوسته‌ی زمین است که اثرات سودمند و مفید آن بر رشد گیاهان در طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Rastogi *et al.*, 2019). مطالعات نشان می‌دهد؛ سیلیکون در افزایش تحریک تولید یا فعالیت برخی آنزیم‌های پاداکساینده، کاهش حساسیت به برخی بیماری‌های قارچی، ایجاد مقاومت به بیماری‌های گیاهی، تحمل تنش‌های خشکی، شوری و فلزات سنگین از طریق فعال کردن آنزیم‌های پاداکسایشی و بهبود شاخص‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی نقش مهمی را ایفا می‌کند (Mitani *et al.*, 2008).

نانوذرات دارای پتانسیل زیادی جهت افزایش متابولیسم گیاه می‌باشند. مطالعات زیادی نشان می‌دهند که استفاده از غلظت‌های مناسب نانوذرات می‌تواند در افزایش رشد و بهبود کیفیت محصولات نقش مهمی را ایفا نماید (Sharma *et al.*, 2012). Kaveh *et al.*, 2013; Vannini *et al.*, 2013؛ استفاده از نانوذرات سیلیکون، به دلیل این ویژگی که می‌تواند به راحتی به درون سلول‌های گیاهی وارد شده و رشد و نمو را از طریق متابولیسم گیاه تحت تاثیر قرار دهند؛ می‌تواند در بهبود کشاورزی و تولید محصولات با کیفیت موثر واقع شوند (Cui *et al.*, 2017). نانوذرات سیلیکون همچنین می‌توانند به عنوان آفت‌کش، علف‌کش و کود مورد استفاده قرار گیرند و بنابراین دارای پتانسیل خوبی در بهبود کشاورزی هستند (Rastogi *et al.*, 2019). اثرات مثبت نانوذرات سیلیکون بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف گزارش شده است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: نانو ذرات سیلیکون، شرایط بهتری برای رشد گیاه گوجه فرنگی در شرایط تنش شوری فراهم آوردند و رشد ریشه و نوساقه را بهبود بخشیدند (Haghighi *et al.*, 2012). نانو ذرات سیلیکون اثرات منفی تنش شوری را بر وزن تر، غلظت کلروفیل، نرخ فتوسنتز و محتوای آب برگ گیاه سیب زمینی کاهش دادند (Haghighi & Pessarakli, 2013). افزودن نانو ذرات سیلیکون همراه با کروم (VI) دانه‌رست‌های نخود فرنگی را در مقابل سمیت کروم محافظت کرد (Tripathi *et al.*, 2015). اسپری برگی نانو سیلیکون به همراه نانو سلنیوم، رشد و کیفیت بذر، زیتوده و محتوای سلنیوم را در گیاه برنج افزایش داد (Hussain *et al.*, 2020).

زعفران با نام علمی (*Crocus sativus L.*) از سرده زعفران، تیره زنبقیان (Iridaceae) و راسته مارچوبه‌ای‌ها است که ۸۵ گونه دارد (رستمی و محمدی، ۱۳۹۱) و از نظر اقتصادی و ارزش صادراتی دارای جایگاه بسیار مهمی در کشاورزی کشور ما

می‌باشد. زعفران یک گیاه ژئوفیت است که گل‌دهی آن در فصل پاییز صورت می‌گیرد (Molina et al., 2004). مراحل رشد و نمو زعفران متأثر از عوامل محیطی و فیزیولوژی بنه است. بنه منبع ذخیره مواد فتوسنتزی است و گیاه بعد از مرحله خواب و در مراحل اولیه رشد از این ذخایر فتوسنتزی استفاده می‌کند. تنها راه تکثیر گیاه از طریق این اندام می‌باشد؛ بنابراین نقش محوری در چرخه‌ی زندگی زعفران بازی می‌کند (Saeidian, 2006). Amirshakari و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای با کاربرد بنه‌هایی با اندازه متفاوت نشان دادند که بنه‌های با اندازه بزرگ، تعداد و وزن خشک برگ را افزایش می‌دهند. همچنین وزن بنه مادری تاثیر زیادی بر تعداد گل‌های زعفران دارد و با افزایش وزن بنه مادری، بر تعداد گل‌های تولیدی افزوده می‌شود (Vurdu, 2003). مطالعات نشان می‌دهد کاربرد صحیح عناصر غذایی در رشد بنه دختری و عملکرد گل زعفران دارای اهمیت ویژه‌ای است (Amirshakari et al., 2007).

عاصمه و پوراکبر (۱۳۹۷) اثر نانوذرات سیلیکون توام با تیمار شوری را بر برخی فاکتورهای رشدی در گیاه زعفران بررسی کردند. آنها نشان دادند؛ کاربرد نانوسیلیکون از طریق محلول پاشی توانست، تا حدود زیادی اثرات منفی ناشی از تنش شوری بر فاکتورهای رشدی را بهبود بخشد.

با توجه به اینکه گزارش‌های اندکی از اثر نانوسیلیکون و دیگر نانوذرات بر زعفران وجود دارد و از طرفی طبق پژوهش‌های انجام شده اثرات مثبت آنها بر انواع گیاهان گزارش شده است، برآن شدیم تا اثر نانوذرات سیلیکون را بر بنه زعفران بررسی کنیم. در پژوهش حاضر، اثر دو غلظت نانوسیلیکون در مرحله رویشی زعفران بر رشد، پارامترهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و محتوای عناصر جذب شده در بنه زعفران -به‌عنوان گیاه غیر تجمع‌کننده سیلیکون- مورد مطالعه قرار دادیم تا با توجه به اثرات گزارش شده نانوذرات سیلیکون در افزایش رشد و بهبود محصول و اثرات آن به عنوان آفت‌کش و کود، امکان استفاده از نانو ذرات سیلیکون را در بهبود کمی و کیفی محصول زعفران و امکان استفاده از آن در ارتقای کیفیت محصول این گیاه مهم زراعی را مورد ارزیابی قرار دهیم.

مواد و روش

تهیه نانو سیلیکون

محلول نانو سیلیکون از شرکت شمس ایرانیان با مشخصات اندازه ذرات ۲-۱۰ نانومتر تهیه گردید. سپس غلظت‌های ۹ و ۱۸ میلی‌گرم در لیتر از آن تهیه و به منظور مطالعه بر گیاه زعفران مورد استفاده قرار گرفت.

جمع آوری نمونه

بنه‌های زعفران در ابتدای مرحله رویشی از منطقه تربت حیدریه جمع آوری و بلافاصله به گلخانه انتقال یافتند. بنه‌ها در تاریخ ۱۹ آذر ماه ۱۳۹۷ به تعداد ۳ عدد در هر گلدان، با حجم ۳/۵ لیتر با ترکیب ۱/۵ واحد خاک و ۰/۵ واحد کود

حیوانی، کاشته شدند و دو تیمار آبیاری با آب محتوی ۹ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون (تیمار ۱- T1) و ۱۸ میلی گرم در لیتر (تیمار- T2) اعمال شد. نمونه‌های شاهد (CO) با آب معمولی آبیاری شدند (Tripathi et al., 2015; Hussain et al., 2012; Haghghi et al., 2020). هر تیمار با ۱۰ تکرار در شرایط گلخانه‌ای دمای ۲۵ درجه و شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند. تیمارهای نانوسیلیکون در دو نوبت با فاصله‌ی زمانی یک ماه اعمال شدند. بعد از سه ماه، بنه‌ها از خاک خارج و به منظور بررسی پارامترهای رشد و فیزیولوژیک در فریزر ۷۰- نگهداری شدند.

محتوای عناصر

به این منظور ۰/۵ گرم از بافت گیاهی خشک، که حاصل از پودر خشک حداقل ۱۰ گیاه بود، در لوله‌های تفلونی حاوی اسید هیدروفلوئوریک، پرکلریک، نیتریک و هیدروکلریک اسید (هر کدام به میزان ۵ میلی لیتر)، ریخته شد و تمامی نمونه‌ها در محفظه Hotplate در دمای ۲۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت قرار گرفت تا هضم کامل نمونه‌ها و تبخیر انجام گیرد (Ali et al., 1988). پس از آن نمونه‌ها در دمای محیط خنک شده و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده شد؛ تا آماده خوانش دستگاهی با دستگاه ICP-MS (Model: ICP-MS HP series 4500) شوند.

مطالعه‌ی محتوای پروتئینی

پروتئین کل با استفاده از بافر فسفات سدیم با pH=6.8 استخراج و به روش برادفورد تعیین مقدار گردید (Bradford, 1976).

سنجش پرولین آزاد

برای سنجش پرولین آزاد از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. بدین منظور مقدار ۱ گرم از نمونه خشک بنه درون هاون با ۱۰ میلی لیتر سولفوسالسیلیک اسید 3 درصد تا یکنواخت شدن کامل (به مدت 5 دقیقه) ساییده شد. سپس با سرعت rpm 3500 سانتریفیوژ و حجم روشناور تعیین گردید. از روشناور حاصل ۲ میلی لیتر برداشت شد و به همراه ۲ میلی لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی لیتر استیک اسید گلاسیال در لوله آزمایش به مدت یک ساعت در حمام آب جوش (دمای 100 درجه سلسیوس) قرار گرفت و بعد جهت رسیدن محلول به دمای محیط، بلافاصله به حمام یخ انتقال یافت. سپس به هر لوله میزان ۴ میلی لیتر تولوئن اضافه و به مدت 20 تا 30 ثانیه ورتکس شد. جذب فاز بالایی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل LE80K در طول موج 520 نانومتر خوانده شد.

سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدها

به منظور سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء بر اساس میزان مالون دی آلدئید (MDA) تولیدشده، از روش Heath & Packer (۱۹۶۸) استفاده شد. بدین منظور مقدار ۰/۳ گرم بافت تر توسط ۵ میلی لیتر TCA (تری کلرواستیک اسید) ۰/۰۱ درصد استخراج شد. سپس عصاره به دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه در 13000 rpm سانتریفوژ شد. در مرحله بعدی به ۰/۵ میلی لیتر از محلول روشناور مقدار ۱ میلی لیتر محلول ۲۰ درصد TCA حاوی ۰/۵ درصد تیو باربیتوریک اسید اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سیلسیوس قرار داده شد و سپس نمونه ها به سرعت سرد گردید. بعد از این مراحل، مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط با سرعت 13000 rpm سانتریفوژ شد. در نهایت جذب محلول رویی حاصل از سانتریفوژ در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار مالون دی آلدئید (با ضریب خاموشی ۱۵۵ میلی مول بر سانتی متر) براساس نانومول در گرم وزن تر محاسبه گردید.

استخراج و سنجش ترکیبات فنلی و سنجش فلاونوئید کل

برای تعیین محتوای ترکیبات فنلی، ۰/۱ گرم از پودر نمونه خشک بنه در ۲۰ میلی لیتر متانول ۸۰ درصد در بن ماری با دمای ۷۰ درجه سیلسیوس استخراج شد و محتوای ترکیبات فنلی بر طبق روش Ranganna (۱۹۸۶) با استفاده از معرف فولین-دنیس اندازه‌گیری شد.

برای تعیین فلاونوئید کل، ۱ میلی لیتر از محلول استخراج شده با متانول با ۰/۲ میلی لیتر محلول کلرید آلومینیوم ۱۰٪ (وزنی/حجمی) در متانول، ۰/۲ میلی لیتر استات پتاسیم (۱ مولار) و ۵/۶ میلی لیتر آب مقطر مخلوط گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه شد و جذب در ۴۱۵ نانومتر خوانده شد. داده خروجی به صورت میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک محاسبه شد (Grand et al., 1994).

آنالیز آماری

آزمایش ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) انجام و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج

دو ماه پس از آغاز آزمایش، بنه‌های دختری با اندازه مختلف تشکیل شد (شکل ۱). بررسی محتوای نانوذرات سیلیکون در بنه‌های دختری نشان دهنده افزایش محتوای سیلیکون در بنه‌های تحت تیمار، نسبت به نمونه‌های شاهد بود (جدول ۱). بر اساس نتایج به‌دست آمده از آنالیز ICP-MS، محتوای عناصر کلسیم، پتاسیم، سیلیکون، روی، منیزیم و آهن تحت تیمار با

نانوسیلیکون افزایش یافت و بالاترین افزایش مربوط به کلسیم (از ۸۰۴ میکروگرم بر گرم در نمونه‌ی شاهد به ۲۲۸۳ میکروگرم بر گرم در تیمار ۱) بود که مقدار آن در تیمار ۱ نسبت به شاهد بیش از ۲/۸ برابر بود (جدول ۱).



شکل ۱: نمایی از ایجاد بنه های دختری در نمونه های زعفران دو ماه پس از کاشت

جدول ۱: مقادیر عناصر اندازه گیری شده در بنه های دختری تحت تأثیر غلظت های مختلف نانوسیلیکون

نمونه شاهد	تیمار ۱	تیمار ۲	
μg/g d.w	μg/g d.w	μg/g d.w	
۱۶۷/۲۵	۱۷۸/۱۸	۱۸۲/۰۸	Si
۱۱۱/۸۵	۱۱۰/۱۲	۱۱۴/۰۹	B
۸۰۴/۶۴	۲۲۸۳/۶۵	۱۱۴۱/۱۸	Ca
۲۹۰۲/۳۶	۲۹۳۸/۴۰	۳۳۰۷/۰۴	Fe
۸۹۶۷/۳۲	۹۰۸۰/۰۹	۱۰۸۶۹/۱۲	K
۱۷/۶۰	۱۹/۱۴	۲۲/۶۶	Zn
۸/۴۸	۸/۵۲	۹/۳۱	Mn
۳۳۶/۴۸	۴۴۳/۲۷	۳۷۶/۴۵	Mg

تیمار ۱: تیمار آبیاری با آب محتوی ۹ میلی‌گرم در لیتر و تیمار ۲: آبیاری با آب محتوی ۱۸ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات سیلیکون می‌باشد. اعداد مربوط به اندازه‌گیری محتوای عناصر در نمونه‌های مخلوط شده از ۱۰ نمونه گیاه می‌باشد.

در نمونه‌های تحت تیمار ۲ نانوسیلیکون، تعداد بنه‌های دختری به طرز معنی‌داری افزایش یافت. در سایر پارامترهای

رشد از جمله وزن تر، وزن خشک و اندازه بنه‌های دختری تغییر معنی‌داری تحت تیمار نانوسیلیکون مشاهده نشد (جدول ۲).

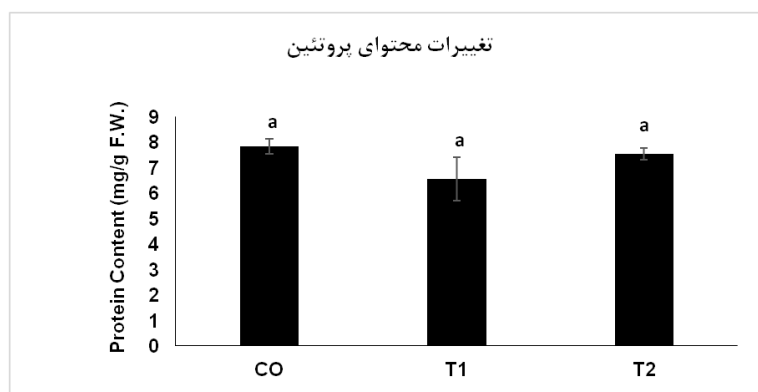
جدول ۲: برخی از شاخص‌های رشد در بانه‌های دخترگی گیاه زعفران تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون

نمونه شاهد	تیمار ۱	تیمار ۲
تعداد بانه‌های دخترگی	۵/۸±۰/۹۲b	۷/۶±۱/۴۳a
وزن تر بانه‌های دخترگی (گرم)	۱/۸۷±۰/۴a	۱/۶۲±۰/۲۰a
وزن خشک بانه‌های دخترگی (گرم)	۱/۴۸±۰/۱۴a	۱/۳۵±۰/۱۱a
اندازه (سانتیمتر)	۱/۵۵±۰/۱۵a	۱/۴۸±۰/۲۳a

تیمار ۱: آبیاری با آب محتوی ۹ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و تیمار ۲: آبیاری با آب محتوی ۱۸ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات سیلیکون می‌باشد. اعداد در هر ردیف معرف میانگین ± انحراف معیار هستند. حروف ناهمسان در هر ردیف معرف تفاوت معنی‌دار در سطح $P \leq 0.05$ براساس آزمون دانکن می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود؛ نانوذره سیلیکون منجر به تغییر معنی‌داری در محتوای پروتئینی بانه‌ها

نشده است.



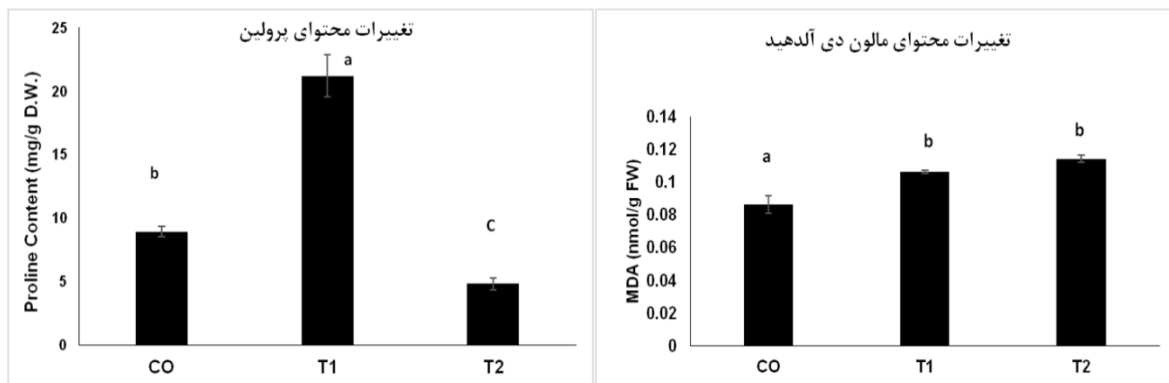
شکل ۲: تغییرات محتوای پروتئین نمونه‌های بانه‌های دخترگی زعفران تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون (T1: تیمار آبیاری با آب محتوی ۹ میلی‌گرم در لیتر و T2: آبیاری با آب محتوی ۱۸ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات سیلیکون می‌باشد). اعداد میانگین ± خطای استاندارد سه بار تکرار بوده حروف همسان تفاوت غیرمعنی‌دار را در سطح $P \leq 0.05$ براساس آزمون دانکن نشان می‌دهد.

مطالعه‌ی تغییرات مقدار پروتئین حاکی از آن است که تیمار بانه‌ها با نانوسیلیکون در غلظت ۹ میلی‌گرم در لیتر (تیمار

۱)، موجب افزایش معنی‌دار محتوای این اسیدآمین به نسبت به شاهد شد در حالی که محتوای آن در تیمار با غلظت ۱۸ میلی‌گرم

در لیتر از نانوسیلیکون نسبت به شاهد و تیمار ۱ به شکل معنی‌داری کاهش نشان داد. بررسی روند تغییرات مالون دی‌آلدئید

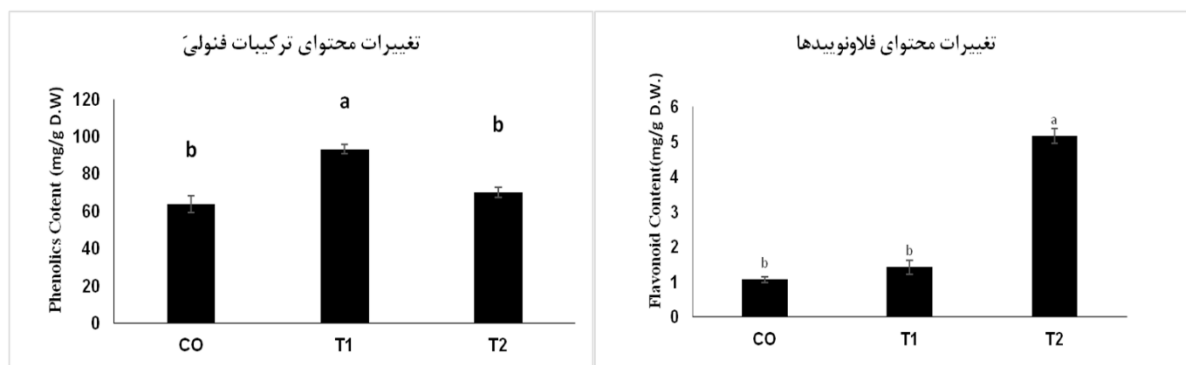
نیز نشان داد؛ محتوای این ترکیب در هر دو تیمار به صورت معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد بیشتر بود (شکل ۳).



شکل ۳: تغییرات محتوای پرولین و مالون دی آلدئید در نمونه‌های بنه دختری زعفران تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون (تیمار ۱: تیمار آبیاری با آب محتوی ۹ میلی‌گرم در لیتر و تیمار ۲: آبیاری با آب محتوی ۱۸ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات سیلیکون می‌باشد). اعداد میانگین \pm خطای استاندارد سه بار تکرار بوده، حروف غیرهمسان تفاوت معنی دار را در سطح $P \leq 0.05$ براساس آزمون دانکن نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج، تیمار ۱ نانوسیلیکون سبب افزایش معنی‌دار محتوای ترکیبات فنولی شد. مقدار فلاونوئید کل تحت

تأثیر تیمار ۱ قرار نگرفت اما در تیمار ۲ بیش از سه برابر نمونه شاهد افزایش یافت (شکل ۴).



شکل ۴: تغییرات محتوای ترکیبات فنولی و فلاونوئید کل و در نمونه‌های بنه دختری زعفران تحت تأثیر غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون (تیمار ۱: تیمار آبیاری با آب محتوی ۹ میلی‌گرم در لیتر و تیمار ۲: آبیاری با آب محتوی ۱۸ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات سیلیکون می‌باشد). اعداد میانگین \pm خطای استاندارد سه بار تکرار بوده، حروف غیرهمسان تفاوت معنی دار را در سطح $P \leq 0.05$ براساس آزمون دانکن نشان می‌دهد.

بحث

اثرات نانوذرات بر رشد گیاه، وابسته به شرایط و همچنین گونه گیاهی است. در بسیاری از مطالعات انجام گرفته بر روی گونه‌های گیاهی مشخص شده است؛ نانوذرات سیلیکون بدون تأثیر یا دارای تأثیر مثبت بر پارامترهای رشد گیاه هستند که این نتایج در گیاهان نخودفرنگی، برنج، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و باقلا گزارش شده است (Haghighi *et al.*, 2012; Hussain *et al.*, 2020; Tripathi *et al.*, 2015; Roohizahed *et al.*, 2015; Haghighi & Pessaraki, 2013). این موضوع در نتایج به دست آمده در مطالعه‌ی حاضر نیز مشهود بود به طوری که پارامترهای رشدی گیاه از جمله وزن تر، وزن خشک و ابعاد

بنه تحت تاثیر تیمار با نانو سیلیکون قرار نگرفت، درحالی‌که تعداد بنه‌های دختری افزایش یافت. محتوای پروتئین محلول نیز که به عنوان یک شاخص مهم برای رشد و فعالیت طبیعی گیاه مطرح است در گیاه در معرض نانوذره سیلیکون تغییر معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد که می‌تواند نشان دیگری از عدم وجود اثر سمی نانوذره سیلیکون بر سلول در سطح پروتئینی باشد. این شواهد نشان می‌دهد دست کم در غلظت‌های استفاده شده در تحقیق حاضر، نانو سیلیکون فاقد اثرات سمی برای زعفران بوده است.

محققان بر این باورند که سیلیکون با افزایش کشش و گسترش دیواره‌های اولیه سلولی باعث بهبود رشد گیاهان می‌شود (Epstein, 2009). داده‌های پژوهش حاضر نشان داد که تیمار نانوسیلیکون موجب افزایش محتوای سیلیکون در بنه زعفران شده است. توجه به این نکته ضروری است که با وجود اینکه سیلیکون دومین عنصر فراوان پس از اکسیژن در پوسته‌ی زمین می‌باشد اما بیشتر آن به شکل سیلیکات‌های معدنی بوده و برای جذب در دسترس گیاه قرار ندارد (Struyf *et al.*, 2010). مطالعه‌ی صورت گرفته توسط نظرعلیان و همکاران (۱۳۹۵)، در گیاه شنبلیله نیز نشان داد تیمار نانوسیلیکون (در غلظت ۰/۵ تا ۲/۵ میلی‌مولار) باعث افزایش محتوای سیلیکون در گیاه می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. فاطمی و همکاران (۱۳۸۸)، اسدی و همکاران (۱۳۹۳)، بهتاش و همکاران (۱۳۸۹) و Takahashi & Miyake (۱۹۸۳) نتایج مشابهی را در مورد اثر مثبت کاربرد تیمارهای مختلف سیلیکون بر محتوای آن به ترتیب در گیاهان توت‌فرنگی، گندم، چغندر و خیار گزارش کرده‌اند.

تاثیر مثبت تیمار نانوسیلیکون بر رشد و بویژه تعداد بنه‌های دختری زعفران، همچنین ممکن است ناشی از تاثیرات مثبت آن بر افزایش محتوای سایر عناصر بوده باشد. در مطالعه‌ی حاضر، افزایش محتوای کلسیم نسبت به نمونه شاهد، در بنه‌هایی که تحت تیمار نانوسیلیکون قرار گرفته بودند نیز مشاهده گردید. افزایش مقدار کلسیم در نتیجه‌ی تیمار سیلیکون در گیاه جو و برنج نیز گزارش شده است (Liang *et al.*, 1996; Islam & Saha, 1969). سازوکار فیزیولوژیک اثر سیلیکون بر جذب و انتقال کلسیم در گیاهان روشن نیست.

محتوای پتاسیم نیز تحت تاثیر تیمار نانوسیلیکون در بنه‌های زعفران افزایش نشان داد. Liu و همکاران (۲۰۰۹) و Miao و همکاران (۲۰۱۰) به ترتیب افزایش غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه یونجه و برگ، ساقه و ریشه گیاه سویا در اثر کاربرد سیلیسیم را گزارش کردند. Liang (۱۹۹۹) افزایش فعالیت پمپ $H^+-ATPase$ غشای پلاسمایی ریشه در اثر کاربرد سیلیسیم را عامل احتمالی افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه معرفی کرد. همچنین مطالعات، ارتباط نزدیکی بین سیالیت غشا و فعالیت $H^+-ATPase$ غشای سلولی را گزارش داده است، به نظر می‌رسد؛ سیلیکون از طریق افزایش سیالیت غشا می‌تواند بر فعالیت این پمپ تاثیر بگذارد (Leidi *et al.*, 1991).

در مطالعه‌ی حاضر افزایش محتوای روی در اثر تیمار نانوسیلیکون در بنه‌ی زعفران مشاهده گردید. عنصر روی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه، شامل فعال‌سازی آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم و نمو زایشی دخالت دارد (Chang *et al.*, 2005). یوسفی و اثنی عشری (۱۳۹۴) نشان دادند؛ تیمار میکرو و نانوذرات سیلیسیم محتوای عنصر روی را در گیاه توت فرنگی افزایش می‌دهد.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر با افزایش غلظت نانوسیلیکون، مقدار آهن جذب شده در بنه‌های زعفران نسبت به شاهد افزایش یافت. یوسفی و اثنی عشری (۱۳۹۴) با مطالعه بر روی تأثیر میکرو و نانوذرات سیلیسیم بر غلظت عناصر گیاه توت فرنگی دریافتند؛ تیمار سیلیسیم با افزایش محتوای آهن در اندام‌های هوایی گیاه همراه است که با نتایج پژوهش حاضر منطبق است. Pavlovic و همکاران در سال ۲۰۱۳ گزارش دادند که افزودن سیلیس به محلول غذایی گیاه خیار از طریق تنظیم سطوح بیان ژن پروتئین‌ها و در نتیجه آن افزایش میزان تحرک آهن باعث افزایش جذب آهن در گیاه خیار گردید. Gottardi و همکاران در سال ۲۰۱۲ افزایش محتوای آهن در نتیجه کاربرد سیلیسیم را گزارش کردند و با بررسی بیان ژن به این نتیجه رسیدند که جذب آهن در گیاهان تیمار شده با سیلیسیم مربوط به افزایش فعالیت و فراوانی رونوشت ژن Fe-chelate reductase در ریشه می‌باشد.

به طور کلی مطالعات نشان داده است که کاربرد سیلیکون جذب عناصر غذایی نظیر روی، کلسیم، پتاسیم، فسفر و بور در گیاهان مختلف را افزایش می‌دهد (Mehrabanjoubani *et al.*, 2015). این موضوع با توجه به اهمیت این عناصر در فیزیولوژی و تغذیه گیاه بسیار با اهمیت است و می‌تواند جنبه‌های مختلف حیات گیاه را تحت تأثیر قرار دهد.

مطالعات زیادی نشان می‌دهد که نانو ذرات می‌توانند از طریق تأثیر بر تولید رادیکال‌های آزاد منجر به ایجاد تنش در گیاهان شوند (Kumar *et al.*, 2018). هنگامی که تولید رادیکال‌ها از میزان حذف آنها بیشتر است، تنش اکسایشی در گیاهان رخ می‌دهد که منجر به آسیب DNA، پروتئین‌ها و چربی‌ها می‌شود (Hashemi, 2019). شاخص کلیدی تنش اکسایشی، پراکسیداسیون لیپیدها است. اسیدهای چرب غیر اشباع موجود در غشای سلولی، از مهم‌ترین هدف‌های رادیکال‌های آزاد هستند. نتایج به دست آمده در این مطالعه حاکی از افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید تحت تیمار نانوسیلیکون می‌باشد. افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی (Imtiaz *et al.*, 2016) و همچنین کاهش آسیب‌های اکسایشی از طریق القای سیستم دفاعی پاداکسایشی، از اثرات تایید شده نانوسیلیکون در گیاهان است (Shi *et al.*, 2014). طبق مطالعات Qados (۲۰۱۵) در گیاه باقلای تحت تنش شوری، تیمار نانوسیلیکون در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار (از ۲۸ تا ۸۴ میلی‌گرم در لیتر) باعث کاهش سطح MDA گردید که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی ندارد. دلیل این عدم تطابق می‌تواند؛ تفاوت غلظت مورد استفاده، نوع گیاه، نوع اندام مورد مطالعه و سن و مرحله رویشی باشد.

به دنبال ایجاد تنش‌های اکسایشی در گیاهان سیستم‌های پاداکسایشی آنزیمی و غیرآنزیمی برای حذف آنها فعال می‌شود. اسمولیت‌های سازگار از جمله پرولین به‌عنوان سیستم پاداکسایشی غیرآنزیمی نقش مهمی در جابجایی انواع فعال اکسیژن بر عهده دارند. پرولین می‌تواند در اعمالی از جمله تنظیم پتانسیل ردوکس سلول، تثبیت فسفولیپیدهای غشا، تنظیم pH سلول، حفظ پروتئین‌ها و محافظت از آنزیم‌ها در مقابل دنا توره شدن نقش داشته باشد (Chen & Murata, 2002). در مطالعه حاضر محتوای پرولین تحت تیمار ۹ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیکون افزایش بسیار معنی‌داری داشت. نتایج مشابهی نیز توسط Crusciol و همکارانش در سال ۲۰۰۹ در گیاه سیب زمینی گزارش شده است که طبق آن نانوذره‌ی سیلیکون محتوای پرولین را در گیاه سیب‌زمینی افزایش داده است. اما در تیمار ۱۸ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیکون، تفاوت معنی‌داری در محتوای پرولین رخ نداد که دلیل احتمالی آن می‌تواند؛ استفاده گیاه از سیستم‌های پاداکسایشی دیگر مانند آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی باشد که در گیاه نخودفرنگی تحت تیمار ۰/۱ میلی‌مولار و در گیاه باقلا تحت تیمار ۱ تا ۳ میلی‌مولار نانو سیلیکون نیز گزارش شده است (Qados, 2015 و Tripathi et al., 2015).

ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی مهارکننده‌های قوی تنش اکسایشی هستند و در همکاری با آنزیم‌های پاداکسایشی در جمع‌آوری یا حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن شرکت می‌کنند (Kováčik et al., 2009). این ترکیبات با داشتن گروه‌های آزاد هیدروکسیل متصل به حلقه‌ی آروماتیک در روبشگری رادیکال‌ها از طریق فروکشی اکسیژن یکتایی آسیب‌های اکسایشی را کاهش می‌دهند و به این ترتیب ساختارهای سیتوپلاسمی و کلروپلاستی را محافظت می‌نماید. این ترکیبات همچنین با جلوگیری از عمل لیپواکسیژناز از اکسیدشدن لیپیدها جلوگیری می‌نمایند (Yanishlieva-Maslarova & Heinonen, 2001). در مطالعه‌ی حاضر، محتوای فنل کل در تیمار ۹ میلی‌گرم در لیتر و محتوای فلاونوئید در تیمار ۱۸ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیکون افزایش معنی‌داری را نسبت به نمونه شاهد نشان داد که با نتایج حبیبی و عابدینی (۱۳۹۴) مبنی بر افزایش ترکیبات فنلی و تحریک سیستم دفاعی میوه‌ی آلوئی شابلون تحت تیمار ۵ گرم در لیتر سیلیکات مطابقت دارد. مطالعات Khanizadeh و همکارانش در سال ۲۰۰۸ نیز نشان داد کاربرد سیلیکون سبب افزایش ترکیبات فنلی و تحریک سیستم دفاعی میوه‌ها می‌شود.

نتیجه‌گیری

غلظت‌های ۹ و ۱۸ میلی‌گرم بر لیتر نانوذره سیلیکون نه تنها اثر سمی بر بانه‌های زعفران نداشتند بلکه با افزایش محتوای برخی عناصر مغذی مانند پتاسیم، کلسیم، سیلیکون، آهن و منیزیم و همچنین تاثیر مثبت بر تعداد بانه‌های دختری می‌تواند در ارتقای کیفیت بانه زعفران موثر باشد. علیرغم افزایش نسبی مالون‌دی‌آلدئید که شاهده‌ی ایجاد تنش اکسایشی در بانه‌های زعفران تحت تیمار نانو سیلیکون بود؛ القای تولید پرولین و افزایش محتوای ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها نیز می‌تواند

سطح آمادگی گیاه را برای مقابله با تنش‌های محیطی افزایش دهد. این مطالعه بستر ابتدایی برای بررسی اثر نانوسیلیکون بر بنه‌های زعفران به‌منظور مشاهده اثرات بعدی آن بر کیفیت گلدهی و احتمالاً کیفیت محصول نهایی فراهم آورده است.

منابع

- اسدی، ا.، حقنیا، غ.، لکزبان، ا.، مفتون، م. (۱۳۹۳). تأثیر مقادیر مختلف سیلیسیم و نیتروژن بر خصوصیات مورفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی) ۱۰۳: ۱۶۷-۱۷۸.
- بهتاش، ف.، طباطبایی، ج.، ملکوتی، م.، سرورالدین، م.، اوستان، ش. (۱۳۸۹). اثر کادمیم و سیلیسیم بر رشد و برخی ویژگیهای فیزیولوژیکی چغندر لبویی. مجله دانش کشاورزی پایدار (۲۰): ۱: ۵۳-۵۶.
- پیوست، غ.، زارع بوانی، م.، سمیعزاده لاهیجی، ح. (۱۳۸۷). تأثیر سیلیسیم بر روی عناصر غذایی و نیترات در کاهو. مجله علوم باغبانی ایران (۱) ۳۹: ۱-۸.
- دهقانی پوده، ص. (۱۳۹۱). اثر سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیکون روی رشد و نمو توت فرنگی تحت شرایط تنش آبی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸۴ صفحه.
- رستمی، م.، محمدی، ه. (۱۳۹۱). بررسی اثر کاشت تراکم بنه بر رشد و عملکرد زعفران در شرایط اقلیمی ملایر. نشریه بوم شناسی کشاورزی. (۵) ۱: ۲۸-۳۸.
- حبیبی، ق.، عابدینی، م. (۱۳۹۴). اثر کاربرد سیلیکون بر مقدار فنل، سیستم آنتی اکسیدانی و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیز در میوه های آلوی شابلون انبار شده. مجله تازه های بیوتکنولوژی سلولی. (۵) ۱۹: ۹۳-۱۰۰.
- عاصمه، م.، پور اکبر، ل. (۱۳۹۵). اثر نانوذرات سیلیکات بر برخی فاکتورهای رشدی در گیاه زعفران تحت تنش شوری. نوزدهمین کنگره ملی و هفتمین کنگره بین المللی زیست شناسی ایران، تبریز، دانشگاه تبریز و انجمن زیست شناسی ایران.
- فاطمی، س.، طباطبایی، م.، فلاحی، ا. (۱۳۸۸). اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) (۲۳) ۱: ۸۸-۹۵.
- نظر علیان، ص.، مجد، ا.، آیریان، س.، قهرمانی نژاد، ف.، نجفی، ف.، گرگر، م. (۱۳۹۵). تأثیر سیلیس و نانو ذرات سیلیس بر جوانه زنی بذرها و رشد گیاه شنبليله. فصلنامه زیست شناسی تکوینی. (۳) ۱: ۶۲-۵۳.
- یوسفی، ر.، اثنی عشری، م. (۱۳۹۶). تأثیر میکرو و نانوذرات سیلیسیم بر غظت عناصر پرمصرف، کم مصرف و میزان سیلیسیم گیاه توت فرنگی در شرایط کشت بدون خاک. مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای. (۱) ۸: ۵۷-۷۱.
- Ali, M., Zoltai, S. and Radford, F. (1988). A comparison of dry and wet ashing methods for the elemental analysis of peat. Canadian journal of soil science, 68(2), 443-447 .
- Amirshkari, H., Sorooshzadeh, A., Modares, A. and Jalali, M. (2007). Effects of root-zone temperature, corm size and gibberellin on vegetative growth of Saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agriculture Science and Natural Resource, 14, 96-103 .
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39(1), 205-207 .
- 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 .

- Chang, H.-B., Lin, C.-W. and Huang, H.-J. (2005). Zinc-induced cell death in rice (*Oryza sativa* L.) roots. *Plant Growth Regulation*, 46(3), 261-266 .
- Chen, T. H. and Murata, N. (2002). Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Current Opinion in Plant Biology*, 5(3), 250-257 .
- Crusciol, C. A., Pulz, A. L., Lemos, L. B., Soratto, R. P. and Lima, G. P. (2009). Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Science*, 49(3), 949-954 .
- Cui, J., Liu, T., Li, F., Yi, J., Liu, C. and Yu, H. (2017). Silica nanoparticles alleviate cadmium toxicity in rice cells: mechanisms and size effects. *Environmental Pollution*, 228, 363-369 .
- Epstein, E. (2009). Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology*, 155(2), 155-160 .
- Grand, A. A., Vennat, B., Pourrat, A. and Legret, P. (1994). Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *Journal de pharmacie de Belgique*, 49(6), 462-468.
- Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R. and Dalla Costa, L. (2012). Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* (L.) Laterr) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56, 14-23 .
- Haghighi, M., Afifipour, Z. and Mozafarian, M. (2012). The effect of N-Si on tomato seed germination under salinity levels. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 6(16), 87-90 .
- Hashemi, S. (2019). Effect of Nanoparticles on Lipid Peroxidation in Plants Lipid Metabolism: IntechOpen.
- Heath, R. L. and Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198 .
- Hussain, B., Lin, Q., Hamid, Y., Sanaullah, M., Di, L., Khan, M. B. and Yang, X. (2020). Foliage application of selenium and silicon nanoparticles alleviates Cd and Pb toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). *Science of the Total Environment*, 712, 136497 .
- Islam, A. and Saha, R.C. (1969), Effects of silicon on the chemical composition of rice plants. *Plant Soil*, 30:446–458.
- Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Mushtaq, M. A., Ashraf, M., Shahzad, S. M., Yousaf, B. and Mehmood, S. (2016). Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: a review. *Journal of Environmental Management*, 183, 521-529 .
- Kaveh, R., Li, Y.-S., Ranjbar, S., Tehrani, R., Brueck, C. L. and Van Aken, B. (2013). Changes in *Arabidopsis thaliana* gene expression in response to silver nanoparticles and silver ions. *Environmental Science & Technology*, 47(18), 10637-10644 .
- Khanizadeh, S., Tsao, R., Rekika, D., Yang, R., Charles, M. T. and Rupasinghe, H. V. (2008). Polyphenol composition and total antioxidant capacity of selected apple genotypes for processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(5), 396-401 .
- Kováčik, J., Grúz, J., Bačkor, M., Strnad, M. and Repčák, M. (2009). Salicylic acid-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant Cell Reports*, 28(1), 135 .
- Kumar, V., Sharma, M., Khare, T. and Wani, S. H. (2018). Impact of nanoparticles on oxidative stress and responsive antioxidative defense in plants. *Nanomaterials in Plants, Algae, and Microorganisms*, 393-406.
- Lee, W. M., An, Y. J., Yoon, H. and Kweon, H. S. (2008). Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiatus*) and wheat (*Triticum aestivum*): plant agar test for

- water-insoluble nanoparticles. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 27(9), 1915-1921 .
- Leidi, E., Silberbush, M. and Lips, S. (1991). Wheat growth as affected by nitrogen type, pH and salinity. II. Photosynthesis and transpiration. *Journal of Plant Nutrition*, 14(3), 247-256 .
- Liang, Y. (1999). Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant and Soil*, 209(2), 217 .
- Liang, Y., Shen, Q., Shen, Z. and Ma, T. (1996). Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 19(1), 173-183 .
- Liu, H.-x., Guo, Z.-g., Guo, X.-h., Zhou, X., Hui, W. and Wang, K. (2009). Effect of addition of silicon on water use efficiency and yield components of alfalfa under the different soil moisture. *Acta Ecologica Sinica*, 29(6), 3075-3080 .
- Majumder, D. D., Banerjee, R., Ulrichs, C., Mewis, I. and Goswami, A. (2007). Nano-materials: Science of bottom-up and top-down. *IETE Technical Review*, 24(1), 9-25 .
- Mehrabanjoubani, P., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H. R. and Aghdasi, M. (2015). Silicon affects transcellular and apoplastic uptake of some nutrients in plants. *Pedosphere*, 25(2), 192-201 .
- Miao, B.-H., Han, X.-G., and Zhang, W.-H. (2010). The ameliorative effect of silicon on soybean seedlings grown in potassium-deficient medium. *Annals of Botany*, 105(6), 967-973 .
- Mitani, N., Chiba, Y., Yamaji, N. and Ma, J. F. (2009). Identification and characterization of maize and barley Lsi2-like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. *The Plant Cell*, 21(7), 2133-2142 .
- Miyake, Y. and Takahashi, E. (1983). Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. *Soil Science and Plant Nutrition*, 29(1), 71-83 .
- Molina, R. V., García-Luis, A., Coll, V., Ferrer, C., Valero, M., Navarro, Y. and Guardiola, J. L. (2004). Flower Formation in the Saffron Crocus (*Crocus sativus* L). The Role of Temperature. *Acta Horticulture*, 39-48 .
- Pavlovic, J., Samardzic, J., Maksimović, V., Timotijevic, G., Stevic, N., Laursen, K. H. and Liang, Y. (2013). Silicon alleviates iron deficiency in cucumber by promoting mobilization of iron in the root apoplast. *New Phytologist*, 198(4), 1096-1107 .
- Qados, A. M. A. (2015). Mechanism of nanosilicon-mediated alleviation of salinity stress in faba bean (*Vicia faba* L.) plants. *Journal of Experimental Agriculture International*, 78-95 .
- Ranganna, S. (1986). *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*: Tata McGraw-Hill Education.
- Rastogi, A., Tripathi, D. K., Yadav, S., Chauhan, D. K., Živčák, M., Ghorbanpour, M. and Brestic, M. (2019). Application of silicon nanoparticles in agriculture. *Biotech*, 9(3), 90 .
- Saeidian, S., Keyhani, E. and Keyhani, J. (2006). Polyphenol Oxidase Activity during Development of Saffron (*Crocus sativus* L.) Corm. Paper presented at the II International Symposium on Saffron Biology and Technology 739.
- Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M., Saradhi, P. P., Khanna, P. and Arora, S. (2012). Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and antioxidant status of Brassica juncea. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167(8), 2225-2233 .

- Shi, Y., Zhang, Y., Yao, H., Wu, J., Sun, H. and Gong, H. (2014). Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 78, 27-36 .
- Siddiqui, M. H. and Al-Wahaibi, M. H. (2014). Role of nano-SiO₂ in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* seeds Mill.). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 21(1), 13-17 .
- Struyf, E., Smis, A., Van Damme, S., Garnier, J., Govers, G., Van Wesemael, B., Conley, D.J., Batelaan, O., Frot, E., Clymans, W., et al. (2010) Historical land use change has lowered terrestrial silica mobilization. *Nature Communication.*, 1(1):1-7.
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, V. P., Prasad, S. M., Dubey, N. K. and 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 .
- Vannini, C., Domingo, G., Onelli, E., Prinsi, B., Marsoni, M., Espen, L. and Bracale, M. (2013). Morphological and proteomic responses of *Eruca sativa* exposed to silver nanoparticles or silver nitrate. *Plos One*, 8(7),68-75.
- Vurdu, H. (2003). Room table: agronomical and biotechnological approaches for saffron improvement. Paper presented at the I International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology 650.
- Yanishlieva-Maslarova, N. and Heinonen, I. (2001). Sources of natural antioxidants: vegetables, fruits, herbs, spices and teas. *Antioxidants in Food, Practical Applications*, 210-266.

Effect of silicon nanoparticles on some physiological parameters of saffron corm (*Crocus sativus*)

B. Zareyi¹, Kh. Kiarostami^{2*}, M. Hosseinzadeh Namin³, M. Sorahinobar⁴

Received: 2020.2.19

Accepted: 2020.6.2

Abstract

Silicon nanoparticles have distinctive physicochemical characteristics. They are able to enter into plants and impact the metabolisms of plants as well as improve plant growth and yield under unfavorable environmental conditions. This research was done in order to study the physiological effects of nanosilicon on *Crocus sativus* corm. The corms were treated with silicon nanoparticles in concentrations of 0, 9 and 18 mg L⁻¹. The experiment was done as completely randomized design in three replicates. The results showed that nano-silicon treatment increased content of silicon, potassium, iron, zinc, magnesium and calcium contents in plants but did not affect the fresh and dry weight as well as protein content, significantly. Moreover, the number of daughter corms, malondialdehyde and proline content significantly increased in nano-silicon treated plants as compared to non-treated control. The maximum content of total phenolics and flavonoid content were observed in plants treated with 9 and 18 mgL⁻¹ respectively. Based on the results, it can be concluded that the examined concentrations of silicon nanoparticles can increase saffron corm nutrient content, its capacity of antioxidant system by the production of secondary metabolites.

Keywords: Antioxidant system, *Crocus sativus*, Nanosilicon.

1-MSc of Plant Physiology, Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran

*(corresponding author: kh.kiarostami@alzahra.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Al-Zahra University, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Al-Zahra University, Tehran, Iran