گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۴)، ۱۰(۱): ۸۳-۹۸
مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی ترکیب های سیلیسیم و کلسیم بر شاخص‌های رشد، رنگدانه‌های گیاهی و طول دوره گلدهی آهار (*Zinnia elegans* L.)

رضا عیدیان، الهام دانائی*

گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار
dr.edanaee@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۴/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۲۸

چکیده

آهار به‌دلیل داشتن گوناگونی در شکل، رنگ و طول دوره گلدهی طولانی از اهمیت بالایی برخوردار است و تغذیه یکی از عوامل موثر در افزایش کیفیت این گیاه است. سیلیسیم جزء عناصر مفید است که نقش مهمی در ایجاد تحمل به تنش‌های زیوا و نازیوا دارد و کلسیم نیز یکی از عناصر پر مصرف و از اجزای مهم دیواره یاخته ای است، که به‌دلیل کارکردهای مختلف این عناصر در متابولیسم گیاهی، نقش مثبتی در افزایش کیفیت گیاهان زینتی دارند. این آزمایش برای بررسی اثر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر رشد و گلدهی آهار (*Zinnia elegans* L.) رقم Dreamland Rose در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تجاری واقع در شهرستان کرج انجام شد. تیمارها شامل نانوکلات سیلیسیم و نانوکلات کلسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ در هزار) و سیلیکات کلسیم (صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. پس از دو هفته از استقرار کامل نشاءها در گلدان، محلول‌پاشی گیاهان سه مرتبه و هر پنج روز یک‌بار صورت گرفت. نمونه‌برداری و ارزیابی صفات حدود دو هفته پس از آخرین محلول‌پاشی و در زمان گلدهی انجام شد و در پایان نمونه‌برداری در مرحله گلدهی کامل انجام شد. نتایج نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی داشتند. به‌طوری‌که، بیشترین وزن تر و خشک گل (۲/۲۸ – ۰/۷۵ گرم)، شاخص ثبات غشاء یاخته (۸۸٪/۴۳)، قطر گل (۹/۷۵ سانتی‌متر)، محتوای کارتنوئید گلبرگ (۰/۹۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و سبزینه کل برگ (۳/۱۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (۷/۶۴ میکروگرم سینامات تولیدی بر گرم وزن تر در دقیقه) در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. بیشترین قطر ساقه (۴/۴۷ سانتی‌متر) و میزان سیلیسیم برگ (۴/۷۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در تیمار نانوکلات سیلیسیم سه در هزار بدست آمد. بیشترین تعداد گل در بوته (۱۰/۲۳)، تعداد برگ در بوته (۲۷/۶۳) و میزان کلسیم برگ (۲۱/۱۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در تیمار نانوکلات کلسیم سه در هزار حاصل شد. در حالی‌که کمترین میزان این صفات در شاهد مشاهده شد. بیشترین و کمترین طول دوره گلدهی آهار با ۱۰۹/۷۴ و ۱۰۱/۴۵ روز و بیشترین و کمترین ماندگاری گل آهار روی بوته با ۵۹/۳۶ و ۴۹/۴۵ روز در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار شاهد به‌دست آمد. لذا، با توجه به نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی توسط سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تاثیر را در بهبود رشد و گلدهی آهار (*Zinnia elegans* L.) نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آهار، تغذیه، ماندگاری گل، نانو کلات.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

مقدمه

آهار[۱] گیاهی زینتی، از تیره کاسنی[۲] و بومی مکزیک است که هم در فضای سبز و هم به‌عنوان گل بریدنی مورد استفاده قرارمی‌گیرد. آهار طول دوره گلدهی طولانی دارد و از اواخر بهار تا اواسط پاییز ادامه دارد. همچنین تحمل بالایی به خشکی و گرما دارد (Rahmani *et al*., 2019).

امروزه استفاده از روش‌های مختلف برای افزایش ماندگاری گل‌ها استفاده می‌شود (Soroori *et al*., 2021) که کاربرد نانوذرات مورد توجه بسیاری از محققین رشته کشاورزی قرار گرفته است. ذرات نانو در مقایسه با ذرات متداول، از سطح بیشتری برخوردار هستند و این ویژگی منجر به افزایش فعالیت ذرات و اثربخشی آن‌ها می‌شود (Ranjbar *et al*., 2018). نانوکودها به‌دلیل توانایی آن‌ها برای جذب و نفوذ بیشتر در گیاه و انتقال سریع‌تر آن‌ها در یاخته‌های گیاهی، اثرات بهتری در مقایسه با کودهای معمولی بر محصولات دارند و با افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و تعداد دفعات کاربرد کود را به حداقل می‌رسانند (Benzon *et al*., 2015).

عنصر سیلیسیم یکی از عناصر مفید برای گیاه می‌باشد. در طبیعت سیلیسیم به صورت سیلیکات و یا به صورت ترکیب با عناصری مانند پتاسیم، آلومینیوم، آهن، منگنز، کلسیم و سدیم یافت می‌شود (Artyszak, 2018). سیلیسیم در بیشتر بافت‌ها و اندام‌های گیاهان، از قبیل دیواره یاخته ای، فضای بین یاخته ای، اپیدرم، ریشه‌ها، برگ و اندام زایشی وجود دارد و با افزایش در فعالیت آنزیم‌های ضد اکسنده و بالا بردن محتوای اسمولیت‌ها، مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده افزایش می‌دهد. همچنین کاربرد سیلیسیم سبب رسوب آن در غشای یاخته ای و در نتیجه موجب افزایش دوام و پایداری غشاء یاخته می‌شود و نفوذ حشرات و پاتوژن‌ها به داخل گیاه را نیز کاهش می‌دهد (Zamani *et al*., 2020).

کلسیم نیز یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در گیاهان است و وظیفه اساسی آن در پایداری دیواره یاخته و رشد یاخته‌ها می‌باشد. تعادل بین کاتیون‌ها و آنیون‌ها، فعال شدن آنزیم‌های خاص و تنظیم فشار اسمزی از دیگر عملکردهای این عنصر است (Moallaye Mazraei *et al*., 2020). همچنین کلسیم با افزایش مقاومت مکانیکی دیواره یاخته، بیوسنتز اتیلن را نیز به تاخیر می‌اندازد و نقش مهمی در افزایش ماندگاری و کیفیت گیاهان دارد (Mobaraki *et al*., 2023).

نتایج پژوهش‌های صورت گرفته پیرامون تاثیر نانو کلات سیلیسیم و کلسیم و سیلیکات کلسیم نشان داد، در گل لیلیوم[۳] کاربرد نانوکلات سیلیسم ماندگاری گل، محتوای سبزینه کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل را افزایش داد (Sánchez-Navarro *et al*., 2021). همچنین نتایج Moallaye Mazraei و همکاران (2020) نشان داد، کاربرد نانو کلات کلسیم محتوای سبزینه و میزان کلسیم بافت ساقه گل‌دهنده را افزایش داد و در ماندگاری و جذب آب گل‌آذین ژربرا[۴] مؤثر بود و موجب کاهش نشت یونی گردید. در پژوهشی دیگر کاربرد سیلیکات کلسیم وزن تر و خشک گل، محتوای سبزینه a و b، غلظت سیلیسیم برگ و ماندگاری گل شاخه بریده رز[۵] را افزایش داد (Mobaraki *et al*., 2023). در گل لیلیوم نیز کاربرد نانوکلات سیلیسیم و کلسیم تاثیر مثبتی بر کیفیت گل و افزایش اندازه گل و وزن آن نشان داد، همچنین محتوای سبزینه کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل را نیز افزایش داد (Gomez-Santos *et al*., 2023).

با توجه به کاربرد فراوان گل آهار در فضای سبز شهری و همچنین نقش سیلیسیم و کلسیم در بهبود کیفیت و ماندگاری گل‌های زینتی، این پژوهش به منظور بررسی اثر نانوکلات سیلیسیم، نانو کلات کلسیم و سیلیکات کلسیم بر شاخص‌های رشدی، کیفیت و ماندگاری گل آهار انجام شد.

۱- *Zinnia elegans* L. ۲- Asteraceae ۳- *Lilium orientalis* cv. Table Dance ۴- *Gerbera jamesonii*

۵- *Rosa hybrids* cv. Dolce Vita.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر محلول‌پاشی نانو کلات سیلیسیم، نانو کلات کلسیم و سیلیکات کلسیم بر رشد و گلدهی گل آهار[1] آزمایشی به‌صورت طرح آماری کاملاً تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار در بهار سال ۱۴۰۰ در گلخانه تجاری (پلاستیکی) با میانگین دمای گلخانه ۴ ±۲۴ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰٪ و شدت نور حدود ۶۰ تا ۷۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه در شهرستان کرج انجام شد. تیمارها شامل سه نوع کود نانوکلات سیلیسیم و نانوکلات کلسیم (۷٪) با غلظت‌های صفر، ۱/۵ و ۳ در هزار از شرکت خضراء و سیلیکات کلسیم با غلظت‌های صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود که از شرکت مرک آلمان تهیه شد. در این آزمایش ابتدا بذرهای گل آهار رقم Dreamland Rose در سینی کاشت حاوی پیت ماس کشت شدند. پس از حدود یک ماه و زمانی که نشاءها به طول حدود ۱۵ سانتی‌متر رسیدند، در هر گلدان (قطر دهانه ۲۰ سانتی متر) یک نشاء در بستر کاشت شامل ۵۰٪ خاک مزرعه، ۲۵٪ ماسه و ۲۵٪ کود دامی پوسیده و ضدعفونی شده کشت شدند. نتایج آزمایش خاک در جدول ۱ ذکر شده است. حدود دو هفته پس از استقرار کامل نشاءها در گلدان، محلول‌پاشی گیاهان بر پایه آب مقطر، سه مرتبه و هر پنج روز یک‌بار در پایه‌های یکسان صورت گرفت. برای بهبود سطح تماس محلول با گیاه از توین ۲۰ به عنوان مویان استفاده شد. همچنین برای جلوگیری از جذب خاکی، سطح بستر پیش از محلول‌پاشی توسط فویل آلمینیومی پوشانده شد تا فقط جذب از طریق برگ‌ها و ساقه انجام شود. نمونه‌برداری و ارزیابی صفات حدود دو هفته پس از آخرین محلول‌پاشی انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد استفاده.

Table 1- Chemical characteristics of the used soil.

رسانایی الکتریکی عصاره اشباع EC (dS/m)	پی هاش pH	نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم قابل دسترس Potassium (mg kg^{-1})	فسفر قابل دسترس Phosphorus (mg kg^{-1})	کربن آلی Organic Carbon (%)
1.5	7.39	0.09	312	13.8	0.71

وزن تر و خشک گل: وزن تر گل‌ها بلافاصله پس از برداشت و وزن خشک گل‌های آهار پس از ۷۲ ساعت قرارگیری در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک صدم گرم توزین شد (Danaee & Abdossi, 2021).

تعداد گل و برگ: تعداد گل و برگ آهار از طریق شمارش یادداشت گردید (Dareini *et al*., 2014).

قطر گل و ساقه: قطر گل‌ها و ساقه به کمک کولیس اندازه‌گیری شد. قطر ساقه آهار در سه قسمت پایین، وسط و بالای ساقه اندازه‌گیری شد و در نهایت میانگین اعداد بر حسب سانتی‌متر یادداشت گردید (Khosravi *et al*., 2024).

شاخص ثبات غشاء یاخته: برای اندازه گیری شاخص ثبات غشاء یاخته ابتدا میزان EC_1 پس از قراردادن ۰/۱ گرم از نمونه برگ در بن‌ماری ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه و میزان EC_2 پس از قراردادن نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو ۱۲۰ درجه سیلسیوس، به‌دست آمد و درصد شاخص ثبات غشاء یاخته از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (Alhverdizadeh & Danaee, 2023).

رابطه (۱) $\text{شاخص ثبات غشاء یاخته} = \{1 - (EC_1 / EC_2)\} \times 100$

۱- *Zinnia elegans* L.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

کارتنوئید گلبرگ: محتوای کارتنوئید گلبرگ‌های آهار با استفاده از ۰/۰۵ گرم نمونه در پنج میلی‌لیتر حلال استون ۸۰٪ و توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۴۸۰ و ۵۱۰ نانومتر، اندازه‌گیری و توسط رابطه (۲) محاسبه گردید. محتوای کارتنوئید گلبرگ آهار برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر بیان شد (Arnon *et al*., 1994).

رابطه (۲)

کارتنوئید گلبرگ $= 7.6\,(A_{480\,nm}) - 1.49(A_{510\,nm}) + (V1000\times10)$

A: میزان جذب نور V : حجم استون نهایی

سبزینه کل برگ: محتوای سبزینه کل برگ‌های آهار با استفاده از ۰/۰۵ گرم نمونه برگ و طبق روش شرح داده شده توسط Akhavan Markazi و همکاران (۲۰۲۲) استخراج شد و درنهایت میزان جذب توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر، اندازه‌گیری و توسط رابطه (۳) محاسبه گردید. محتوای سبزینه کل برگ آهار برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر بیان شد.

رابطه (۳)

سبزینه کل برگ $= 20.2(A_{645\,nm}) + 8.02\,(A_{663\,nm}) + (V1000\times10)$

A: میزان جذب نور V: حجم استون نهایی

آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز: فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز بر اساس روش Beaudoin-Eagan و Thorpe (۱۹۸۵) استخراج شد و توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۲۹۰ نانومتر، اندازه‌گیری شد و درنهایت برحسب میکروگرم سینامات تولیدی بر گرم وزن تر در دقیقه بیان شد.

سیلیسیم برگ: اندازه‌گیری سیلیسیم موجود در برگ به روش هضم اتوکلاوی و رنگ‌سنجی انجام شد و درنهایت میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۸۲۰ نانومتر خوانده شد و به‌صورت درصد بیان گردید (Elliott & Snyder, 1991).

کلسیم برگ: ابتدا از برگ‌های میانی گیاه نمونه‌گیری شد و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سیلسیوس قرارگرفتند. عصاره گیاهی با محلول گرم اسیدکلریدریک دو نرمال تهیه و برای اندازه گیری کلسیم به روش تیتراسیون استفاده گردید و برحسب درصد بیان شد (Reis *et al*., 2014).

طول دوره گلدهی: از زمان ظهور اولین جوانه گل تا پایان گلدهی برحسب روز یادداشت شد (Farahani *et al*., 2021).

ماندگاری گل روی بوته: تعداد روز از زمان باز شدن گل‌ها تا رنگ پریدگی و پژمردگی گل‌های آهار یادداشت شد (Abdossi & Danaee, 2016).

واکاوی آماری داده‌ها

آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱ و ۵٪ صورت گرفت و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار بر وزن تر و خشک گل، قطر ساقه، شاخص ثبات غشاء یاخته، محتوای سبزینه کل برگ و کاروتنوئید گلبرگ، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز، میزان سیلیسیم و کلسیم برگ، طول دوره گلدهی و ماندگاری گل‌های آهار روی بوته در سطح احتمال ۱٪ و بر تعداد گل و برگ و قطر گل در سطح احتمال ۵٪، معنی‌دار شد (جدول ۲).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر رشد و گلدهی آهار (*Zinnia elegans* L.).

Table 2- Analysis of variance of the effect of different silicon and calcium compounds on the growth and flowering of *Zinnia elegans* L.

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی DF	وزن تر گل Fresh weight of flower	وزن خشک گل Dry weight of flower	تعداد گل در بوته Flower number in plant	تعداد برگ در بوته Leaf number in plant	قطر گل Flower diameter	قطر ساقه Stem diameter	شاخص ثبات غشاء یاخته Cell membrane stability index	سبزینه کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	فنیل آلانین آمولیاز Phenylalanine ammonia-lyase	سیلیسیم Silicon	کلسیم Calcium	طول دوره گلدهی Length of flowering period	ماندگاری گل روی بوته Flower longevity on the plant
		میانگین مربعات Mean square													
تیمار Treatment	6	8.25**	4.64**	36.19*	71.42*	26.17*	8.56**	174.58**	268.92**	2.17**	11.26**	9.11**	65.23**	289.21**	146.52**
اشتباه آزمایشی Error	14	0.005	0.003	0.024	0.43	0.016	0.047	0.69	0.47	0.002	0.12	0.006	0.38	0.084	0.53
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	10.43	9.65	11.03	10.46	9.58	11.23	9.38	11.23	10.73	9.12	10.53	10.36	9.47	11.09

**و * به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵٪ و غیر معنی‌دار.

** and * indicate significance at 1% and 5% level and no significance, respectively.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

شاخص‌های رشدی

نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک گل آهار با ۲/۲۸ و ۰/۷۵ گرم در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۰/۶۷ و ۰/۲۴ گرم در شاهد مشاهده شد. همچنین، بیشترین و کمترین تعداد گل آهار به ترتیب با ۱۰/۲۳ و ۷/۳۲ در تیمار نانوکلات کلسیم سه در هزار و شاهد بود. بیشترین تعداد برگ در بوته آهار (۲۷/۶۳) نیز در تیمار نانوکلات کلسیم سه در هزار و کمترین (۱۸/۴۵) در شاهد مشاهده شد. قطر گل آهار در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۹/۷۵ سانتی‌متر بیشترین بود در حالی‌که کمترین قطر گل با ۷/۰۹ سانتی‌متر در شاهد به‌دست آمد. بیشترین و کمترین قطر ساقه آهار نیز به ترتیب با ۴/۴۷ و ۳/۹۶ سانتی‌متر در تیمار نانوکلات سیلیسیم سه در هزار و تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده، افزایش وزن تر و خشک گل را می‌توان به نقش سیلیسیم در کاهش تعرق نسبت داد، زیرا سیلیسیم در دیواره یاخته ای آوندهای چوبی با ماکرومولکول‌ها یا ترکیبات آلی مانند سلولز، پکتین، گلیکو پروتئین و لیگنین، تشکیل کمپلکس‌های کلوئیدی می‌دهد که این ذرات کلوئیدی آب را به میزان زیادی جذب کرده و موجب کاهش جریان آب درون آوندچوبی می‌شوند (Balakhnina & Borkowska, 2013). این عنصر در اطراف یاخته‌های نگهبان روزنه و در دیواره یاخته ای این یاخته‌ها رسوب می‌کند و مانع باز شدن کامل روزنه‌ها می‌شود و از این طریق تعرق روزنه‌ای را کاهش داده و باعث حفظ آب گیاه و افزایش وزن تر و خشک گل می‌شود (Farahani *et al*., 2021). همچنین سیلیسیم موجب افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و محتوای سبزینه برگ می‌گردد که به همین دلیل سبب بهبود نورساخت شده و با تجمع متابولیت‌های نورساختی رشد یاخته ای را تسریع کرده و در نتیجه موجب افزایش قطر ساقه و گل می‌گردد (Tofighi Alikhani *et al*., 2021). عنصر کلسیم نیز بر فشار اسمزی و افزایش رشد و تقسیم یاخته ای تاثیر مستقیمی دارد و همچنین در متابولیسم ازت و انتقال کربوهیدرات‌ها نیز دخالت دارد (Mobaraki *et al*., 2023). افزایش نورساخت موجب افزایش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود و تجمع مواد حاصل از نورساخت در گیاه، تقسیم و رشد یاخته‌های گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در نتیجه موجب افزایش شاخص‌های رویشی مورد ارزیابی می‌گردد. مطابق با نتایج این آزمایش، Mobaraki و همکاران (۲۰۲۳) نیز تاثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم را در افزایش وزن تر و خشک گل رز[1] بیان نمودند. در ژربرا[2] نیز کاربرد نانوکلات کلسیم تعداد برگ در بوته را افزایش داد (Moallaye Mazraei *et al*., 2020).

جدول ۳- اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر شاخص‌های رشدی آهار (*Zinnia elegans* L.).

Table 3- The effect of different silicon and calcium compounds on the growth indices of *Zinnia elegans* L.

تیمار Treatment	غلظت Concentration	وزن تر گل (گرم) Fresh weight of (g) Flower	وزن خشک گل (گرم) Dry weight of Flower (g)	تعداد گل در بوته Flower number in plant	تعداد برگ در بوته Leaf number on plant	قطر گل (سانتی‌متر) Flower diameter (cm)	قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem diameter (cm)
شاهد Control	0	0.67[g]	0.24[g]	7.32[g]	18.45[e]	7.09[f]	3.96[g]
نانوکلات کلسیم Nano calcium chelat	1.5 per 1000	1.35[e]	0.32[f]	8.36[cd]	20.34[d]	7.64[e]	4.05[f]
	3 per 1000	2.21[b]	0.68[b]	10.23[a]	27.63[a]	8.82[c]	4.32[c]

۱- *Rosa hybrida* cv. Dolce Vita

۲- *Gerbera jamesonii*

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

4.19[d]	7.95[de]	19.87[de]	8.02[d]	0.39[b]	1.13[f]	1.5 per 1000	نانوکلات سیلیسیم
4.47[a]	9.36[b]					3 per 1000	
		25.78[b]	9.45[b]	0.59[c]	1.95[c]		Nano silicon chelate
4.11[e]	8.29[d]	23.56[c]	8.71[c]	0.46[d]	1.58[d]	150 mg l^{-1}	سیلیکات کلسیم
4.39[b]	9.75[a]	26.91[ab]	9.87[ab]	0.75[a]	2.28[a]	300mg l^{-1}	Calcium silicate

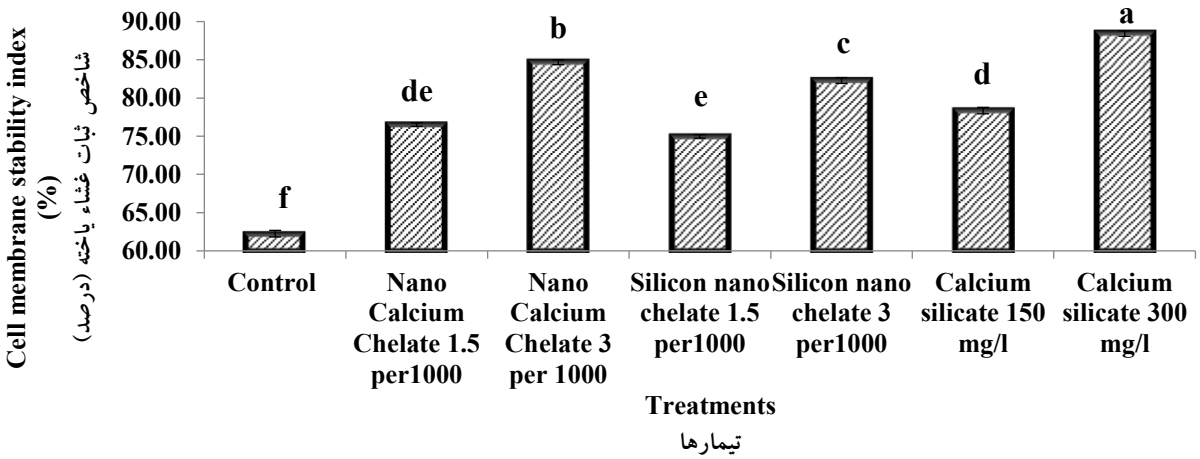
حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح $P \leq 0.05$ است.

Identical letters indicate no significant difference on Duncan's Multiple Range Test at the $P \leq 0.05$ level.

صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی

شاخص ثبات غشاء یاخته

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمارها به‌طور معنی‌داری شاخص ثبات غشاء یاخته را نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین شاخص ثبات غشاء یاخته با ۸۸/۴۳٪ در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین با ۶۲/۲۵٪ در شاهد به‌دست آمد (شکل ۱). در این پژوهش افزایش شاخص ثبات غشاء یاخته با کاربرد سیلیکات کلسیم می‌تواند مربوط به رسوب سیلیسیم در غشاء یاخته ای باشد که موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود و از پراکسیده شدن غشاء پلاسمایی و کاهش نفوذ پذیری غشاء جلوگیری می‌کند (Osmanpour *et al*., 2021) . عنصر کلسیم نیز با کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب کننده از جمله پلی گالاکتوروناز از آسیب غشائی جلوگیری کرده و بر حفظ ثبات غشاء یاخته تاثیر مثبت دارد (Mobaraki *et al*., 2023). مطابق با یافته‌های این پژوهش، کاربرد کلسیم شاخص ثبات غشاء یاخته را در گل رز[1] بهبود بخشید (Khosravi *et al*., 2024). در گل همیشه بهار[2] نیز کاربرد سیلیسیم موجب افزایش شاخص ثبات غشاء یاخته گردید (Eghlima *et al*., 2024).



شکل ۱- اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر شاخص پایداری غشاء آهار (*Zinnia elegans* L.). میانگین‌ها دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±SD).

Figure 1. Effect of different silicon and calcium compounds on the membrane stability index of the *Zinnia elegans* L. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at $P < 0.05$. (Mean ± SD).

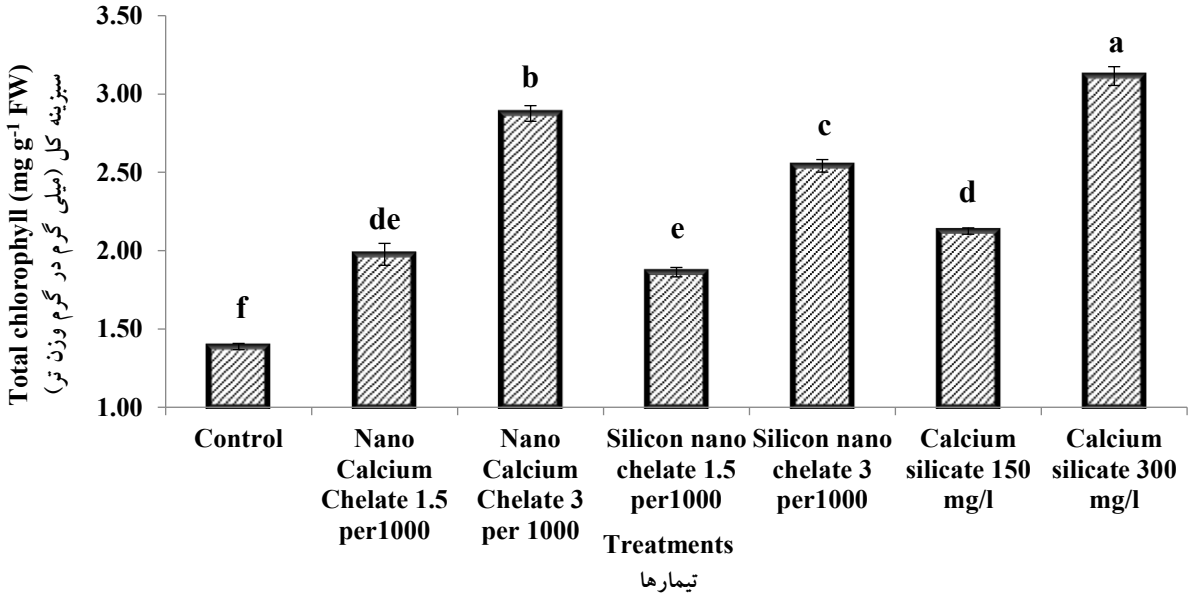
۱- *Rosa hybrida* cv. Jumilia

۲- *Calendula officinalis* L.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

سبزینه کل

بررسی‌ها نشان داد که افزایش غلظت نانو کلات سیلیسیم، نانو کلات کلسیم و سیلیکات کلسیم بیشترین تاثیر را در افزایش محتوای سبزینه کل برگ نشان داد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین محتوای سبزینه کل برگ آهار به ترتیب با ۳/۱۱ و ۱/۳۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد به‌دست آمد (شکل ۲). محتوای سبزینه برگ با کاربرد سیلیکات کلسیم افزایش یافت که دلیل آن می‌تواند مربوط به نقش سیلسیسم در حفظ انسجام کلروپلاست‌ها خصوصا گراناها باشد که موجب حفظ سبزینه در این اندامک‌ها می‌شود. همچنین با افزایش تامین مواد غذایی و تعادل عناصر کم مصرف و پرمصرف در یاخته، میزان نیتروژن، منیزیم و آهن افزایش می‌یابد که این عناصر در ساخت سبزینه نقش دارند (Savvas & Ntatsi, 2015). کلسیم نیز به طور مستقیم در فرآیندهای نورساخت دخالت داشته و با افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها موجب حفظ و ثبات رنگدانه‌های گیاهی می‌شود (Kokabi & Tabatabaei, 2011). Fani و Hajihashemi (۲۰۲۳) و Roosta و همکاران (۲۰۲۴) به ترتیب اثر سیلیسیم و کلسیم را بر محتوای سبزینه کل در گیاه کاملینا[1] و ژربرا[2] گزارش نمودند.



شکل ۲- اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر محتوای سبزینه کل برگ آهار (*Zinnia elegans* L.). میانگین‌ها دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±SD).

Figure 2. Effect of different silicon and calcium compounds on total chlorophyll content of the *Zinnia elegans* L. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at $P < 0.05$. (Mean ± SD).

کاروتنوئید

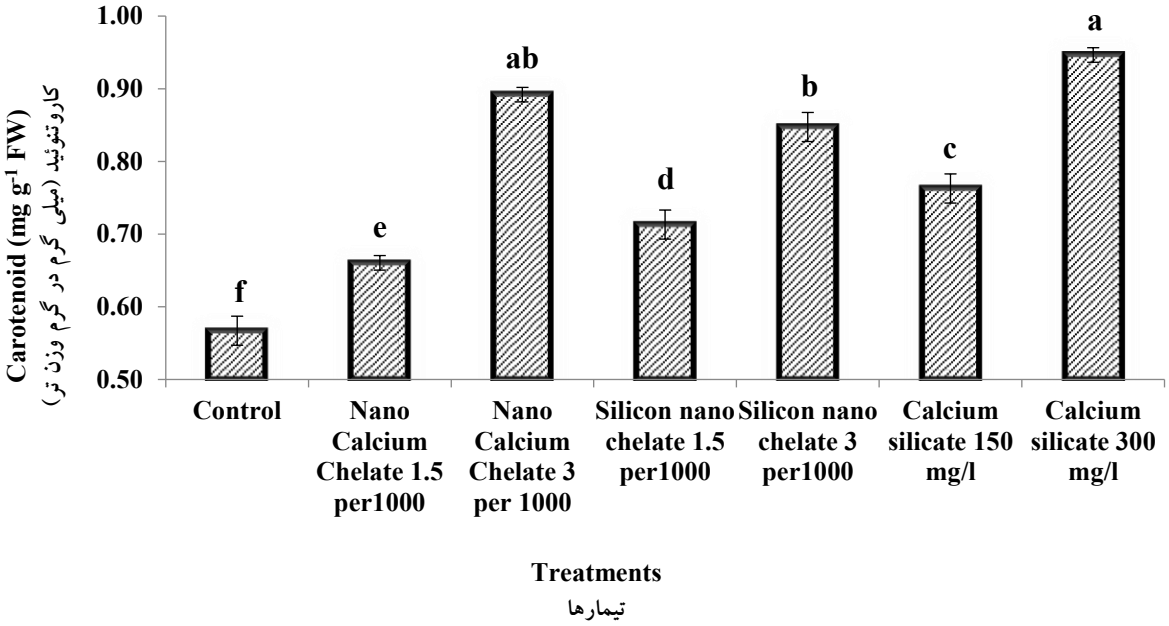
همانطور که از شکل ۳ نمایان است، کاربرد نانو کلات سیلیسیم، نانو کلات کلسیم و سیلیکات کلسیم به‌طور معنی‌داری محتوای کاروتنوئید گلبرگ را نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین محتوای کارتنوئید گلبرگ آهار با ۰/۹۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد، در حالی‌که کمترین محتوای کاروتنوئید با ۰/۵۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر در

۱- *Camelina sativa*

۲- *Gerbera jamesonii* cv. Bayadere

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

شاهد بود. افزایش محتوای کاروتنوئید با کاربرد سیلیکات کلسیم می‌تواند مربوط به نقش سیلیس در بهبود سیستم دفاعی گیاه و افزایش کارایی فتوسیستم دو و عملکرد کوآنتومی نسبت داد (Tripathi *et al*., 2017). کلسیم نیز با بهبود نورساخت و جذب عناصر غذایی توسط گیاه بر افزایش محتوای رنگدانه‌های گیاهی تاثیر مثبتی نشان داد (Kokabi & Tabatabaei, 2011). همسو با نتایج این پژوهش کاربرد سیلیسم و کلسیم محتوای کاروتنوئید را در ریحان[1] افزایش داد (Gerami *et al*., 2024; Robatjazi *et al*., 2020).



شکل ۳- اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر محتوای کاروتنوئید گلبرگ آهار (*Zinnia elegans* L.). میانگین‌ها دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±SD).

Figure 3. Effect of different silicon and calcium compounds on carotenoid content of the *Zinnia elegans* L. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at $P < 0.05$. (Mean ± SD).

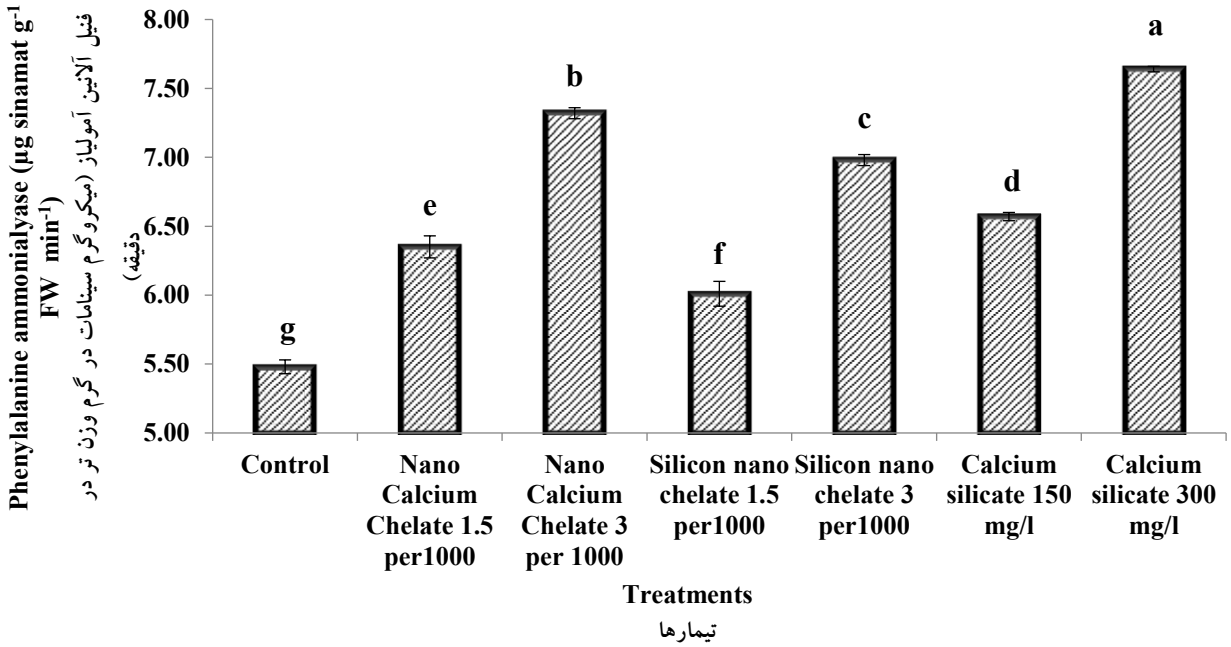
فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز

نتایج نشان داد، افزایش غلظت نانو کلات سیلیسیم، نانو کلات کلسیم و سیلیکات کلسیم تأثیر مثبتی در افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز داشت، به‌طوری‌که بیشترین فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز گل آهار (۷/۶۴ میکروگرم سینامات تولیدی بر گرم وزن تر در دقیقه) در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین (۵/۴۸ میکروگرم سینامات تولیدی بر گرم وزن تر در دقیقه) در شاهد مشاهده شد (شکل ۴). فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز به‌عنوان کلیدی‌ترین آنزیم دخیل در مسیر بیوسنتزی فنیل پروپانویید با تاثیر روی اسید آمینه فنیل آلانین و تولید سینامیک به‌عنوان پیش‌ساز مواد فنلی مانند لیگنین منجر به افزایش لیگنین می‌شود. سیلیسیم و کلسیم نیز در یاخته‌ها و بافت‌های گیاهی رسوب کرده و در شبکه پیچیده پکتین‌ها و سلولزها شرکت دارند و

۱- *Ocimum basilicum* L.
۲- *Gerbera Jamesonii* L.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

در نتیجه موجب فعالیت بیشتر آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز می‌گردند (Balakhnina & Borkowska, 2013). نتایج این آزمایش با نتایج Tofighi Alikhani و همکاران (2021b) پیرامون تاثیر نانوکلات سیلیسم و کلسیم بر ژربرا[۲] همسو است.



شکل ۴- اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمولیاز آهار (*Zinnia elegans* L.). میانگین‌ها دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±SD).

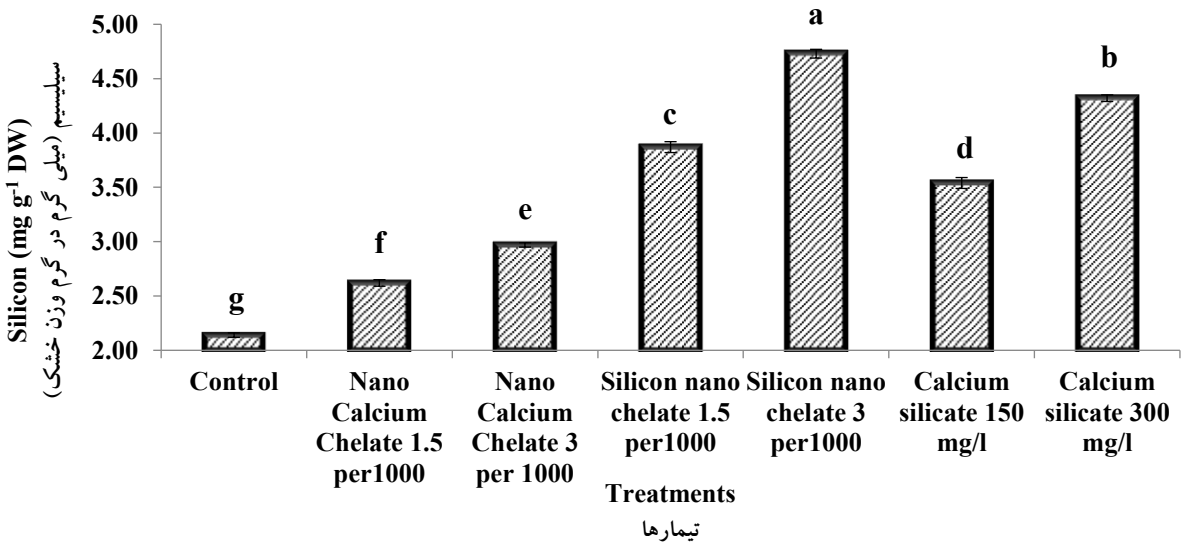
Figure 4. Effect of different silicon and calcium compounds on phenylalanine ammonia-lyase of the *Zinnia elegans* L. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at $P < 0.05$. (Mean ± SD).

سیلیسیم برگ

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزایش غلظت نانوکلات سیلیسیم میزان سیلیسم برگ را افزایش داد به‌طوری‌که بیشترین میزان سیلیسیم برگ آهار با ۴/۷۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در تیمار نانوکلات سیلیسیم سه در هزار و کمترین با ۲/۱۴ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در شاهد بود (شکل ۵). نانو کلات سیلیسیم به دلیل اندازه بسیار کوچک از منافذ برگ عبور کرده و وارد سیستم آوندی می‌شود و در نتیجه میزان جذب سیلیسیم را در گیاه افزایش می‌دهد. محلول‌پاشی گیاه توسط نانوکلات سیلیسیم موجب رسوب سیلیسیم در بافت‌های گیاهی می‌شود که در شبکه پیچیده پکتین‌ها و سلولزها شرکت دارد و به‌خوبی با کلسیم در ارتباط است. در نتیجه سیلیسیم در بافت‌ها تجمع یافته و میزان آن در سلول‌ها افزایش می‌یابد. علاوه‌بر این، سیلیس جذب شده توسط گیاه از طریق تجزیه بیولوژیک و فعالیت‌های آنزیمی شکسته شده و از بافت‌های گیاهی خارج نمی‌شود. به همین دلیل، میزان سیلیسیم در بافت گیاهی افزایش یافته است (Anser *et al*., 2012). کاربرد سیلیکات کلسیم در گل داوودی[۱] میزان سیلیسیم برگ را افزایش داد (Hajipour & Jabbarzadeh, 2018).

۱- *Dendranthema×grandiflorum* cv. Fellbacher Wein

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]



شکل ۵- اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر سیلیسیم برگ آهار (*Zinnia elegans* L.). میانگین‌ها دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±SD).

Figure 5. Effect of different silicon and calcium compounds on silicon content of the *Zinnia elegans* L. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at $P < 0.05$. (Mean ± SD).

کلسیم برگ

بررسی‌ها نشان داد، کاربرد نانو کلات کلسیم و سیلیکات کلسیم بیشترین تاثیر را در افزایش میزان کلسیم برگ در گل آهار نشان داد، بطوریکه بیشترین و کمترین میزان کلسیم برگ آهار با ۲۱/۱۳ و ۱۱/۳۵ میلی‌گرم در گرم وزن خشک به ترتیب در تیمار نانوکلات کلسیم سه در هزار و شاهد بدست آمد (شکل ۶). نانوکلات کلسیم با بهره‌گیری از فناوری نانو، نقش مهمی در افزایش جذب و تامین کلسیم در گیاهان ایفا می‌کند. این کود به دلیل اندازه بسیار کوچک ذرات، قابلیت نفوذ و جذب بالایی از طریق برگ ها دارد و کلسیم را به‌طور موثر به بافت‌های هدف منتقل می‌کند و به‌دلیل پایداری و حلالیت بالا، کارایی بالاتری نشان می‌دهد (Moallaye Mazraei *et al*., 2020). Mirzaee و همکاران (۲۰۲۰) نیز افزایش غلظت کلسیم را با کاربرد منابع مختلف کلسیم در گل ژربرا[1] گزارش نمودند.

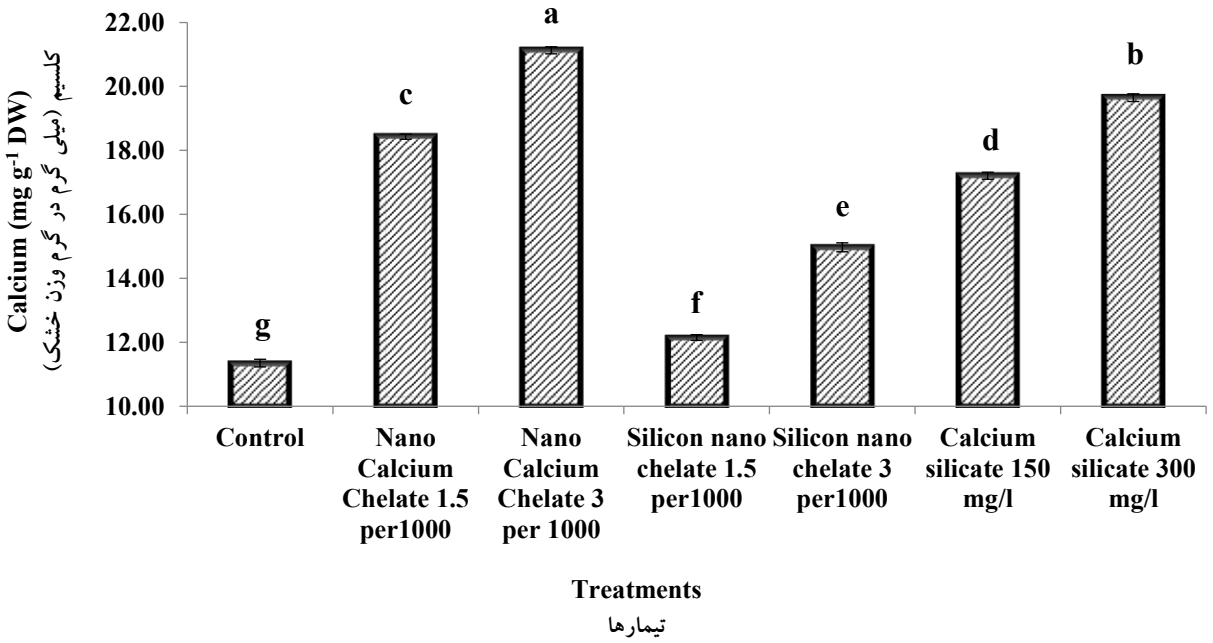
طول دوره گلدهی

نتایج نشان داد، تیمارها بطور معنی‌داری طول دوره گلدهی آهار را نسبت به شاهد افزایش دادند، به‌طوری‌که در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین طول دوره گلدهی (۱۰۹/۷۴ روز) و کمترین (۱۰۱/۴۵ روز) در شاهد بود. افزایش طول دوره گلدهی با کاربرد سیلیکات کلسیم می‌تواند مربوط به نقش سیلیس در حفظ آب داخل یاخته و اندام‌های گیاه و همچنین نقش کلسیم در جلوگیری از تخریب دیواره یاخته ای، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود فرآیند رشد و نمو نسبت داد که موجب افزایش طول مدت گلدهی گردیده است (Nazari, 2019). Anitha و همکاران (۲۰۲۳) افزایش ماندگاری گل روی بوته را با کاربرد نانو کلات سیلیسیم و کلسیم در ژربرا[2] گزارش نمودند.

۱- *Gerbera jamesonii* cv. Dune

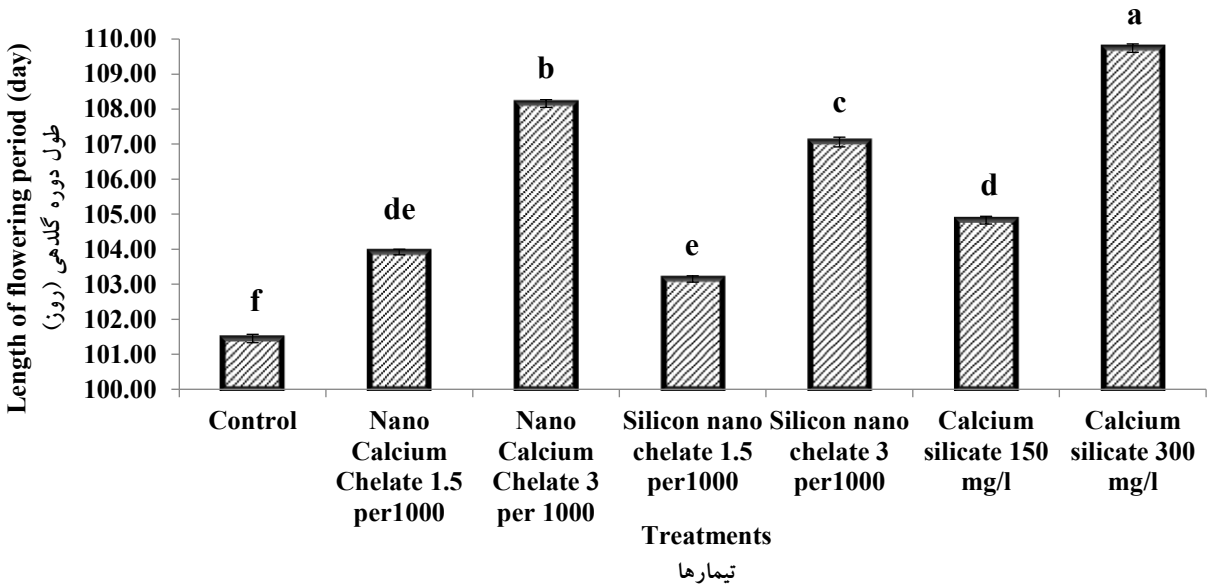
۲- *Gerbera jamesonii* Bolus Ex. Hook

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]



شکل ۶- اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر کلسیم برگ آهار (*Zinnia elegans* L.). میانگین‌ها دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±SD).

Figure 6. Effect of different silicon and calcium compounds on calcium content of the *Zinnia elegans* L. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at *P* < 0.05. (Mean ± SD).



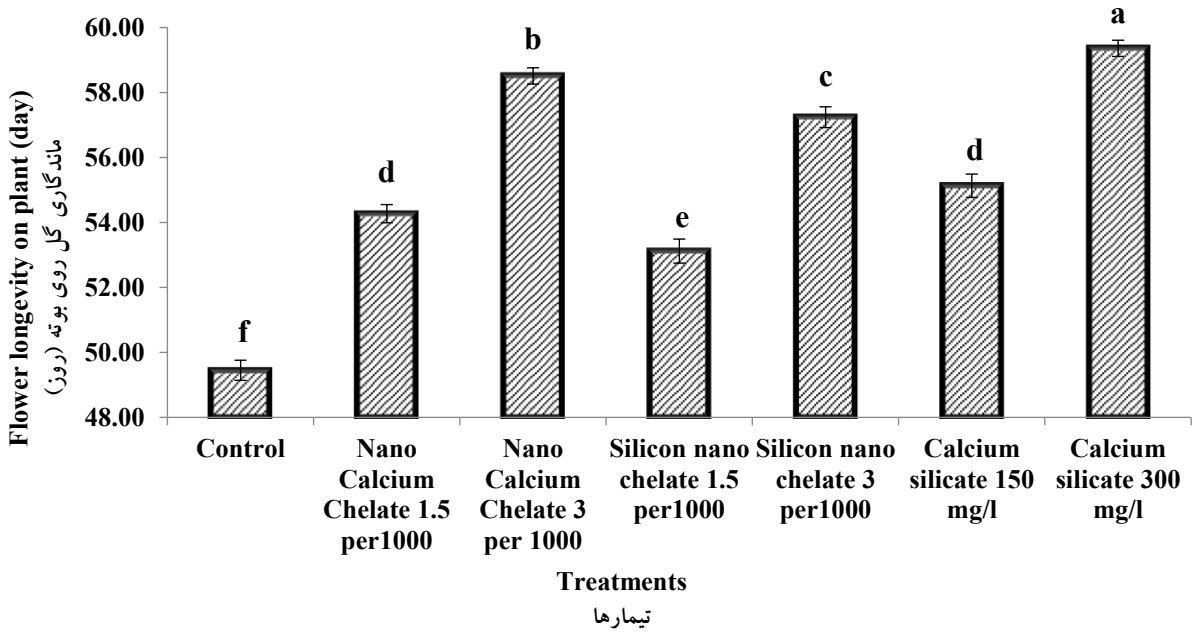
شکل ۷- اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر طول دوره گلدهی آهار (*Zinnia elegans* L.). میانگین‌ها دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±SD).

Figure 7. Effect of different silicon and calcium compounds on the length of flowering period of the *Zinnia elegans* L. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at P < 0.05. (Mean ± SD).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

ماندگاری گل روی بوته

نتایج نشان داد، تیمارها موجب افزایش معنی‌دار ماندگاری گل روی بوته نسبت به شاهد شدند به‌طوری‌که بیشترین و کمترین ماندگاری گل آهار روی بوته به ترتیب با ۵۹/۳۶ و ۴۹/۴۵ روز در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد بود (شکل ۸). سیلیسیم در افزایش لیگنین نقش دارد و ساقه را قوی‌تر می‌کند در نتیجه می‌توانند آب بیشتری جذب کنند و در نتیجه با کاهش خمیدگی دمگل و حفظ رطوبت گل، ماندگاری گل روی بوته را افزایش می‌دهد (Khosravi *et al*., 2024). کلسیم نیز روند پیری را به تاخیر می‌اندازد و با مکانیسم‌های مختلف ماندگاری گل روی بوته را افزایش می‌دهد. کلسیم با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و مقدار نورساخت میزان کربوهیدرات را در گیاه افزایش می‌دهد. همچنین با کاهش فعالیت آنزیم ACC اکسیداز و کاهش تولید اتیلن و آنزیم‌های تخریب کننده مانند پلی گالاکتروناز ماندگاری گل روی بوته را افزایش می‌دهد (Nazari, 2019). یافته‌های این آزمایش با نتایج Mobaraki و همکاران (۲۰۲۴) در گل رز[1] مطابقت دارد.



شکل ۸- اثر ترکیبات مختلف سیلیسیم و کلسیم بر ماندگاری گل روی بوته آهار (*Zinnia elegans* L.). میانگین‌ها دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. (میانگین±SD)

Figure 8. Effect of different silicon and calcium compounds on flower longevity on the plant of the *Zinnia elegans* L. Means with the same letters are not significantly different based on Duncan's Multiple Range Test at $P < 0.05$. (Mean ± SD).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی گل آهار با ترکیبات نانو کلات سیلیسیم، نانو کلات کلسیم و سیلیکات کلسیم صفات رویشی و فیزیولوژیک گیاه آهار را بهبود بخشید و موجب افزایش طول دوره گلدهی و ماندگاری گل روی بوته گردید.

۱- *Rosa hybrida* cv. Dolce Vita.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

به‌طوری‌که بیشترین وزن تر و خشک گل، شاخص ثبات غشاء یاخته، قطر گل، محتوای کارتنوئید گلبرگ و سبزینه کل برگ، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز، طول دوره گلدهی و ماندگاری گل روی بوته در تیمار سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد و بیشترین تعداد گل، تعداد برگ و میزان کلسیم برگ در تیمار نانوکلات کلسیم سه در هزار به‌دست آمد. همچنین بیشترین قطر ساقه و میزان سیلیسیم برگ در تیمار نانوکلات سیلیسیم سه در هزار مشاهده شد. به‌طورکلی محلول‌پاشی گل آهار توسط سیلیکات کلسیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تاثیر مثبت را بر رشد و گلدهی این گیاه نشان داد.

منابع

Akhavan Markazi, V., Naderi, R., Danaee, E., Kalateh Jari, S., Nematollahi, F. (2022). Comparison of Phytoremediation Potential of Pothos and Sansevieria under Indoor Air Pollution. *Journal of Ornamental Plants*, *12*(3), 235-245.

Allahverdizadeh, S., Danaee, E. (2023). Effect of humic acid and vermicompost on some vegetative indices and proline content of *Catharanthus roseous* under low water stress. *Environment and Water Engineering*, *9*(1), 141-152. (In Persian).

Anitha, J., Kaladhar Babu, K., Prasanth, P., Jyothi, G., Gouthami, P. (2023). Effect of nano calcium and silicon on growth, yield and quality of gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus Ex. Hook) grown under shade net conditions. *Pharma Innovation, 12*(11), 1201-1206.

Anser, A., Basra, S.M.A., Hussain, S., Iqbal, J. (2012). Salt stress alleviation in field crops through nutritional supplementation of silicon. *Pakistan Journal of Nutrition*, *11*(8), 637-655

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris .Plant Physiology, 24*(1), 1–15.

Artyszak, A. (2018). Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality- A literature review in Europe. *Plants (Basel, Switzerland)*, *7*(3), 54; https://doi.org/10.3390/plants7030054

Balakhnina, T., Borkowska, A. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: Review. *International Agrophysics*, *27*(2), 225-232.

Beaudoin-Eagan, L., Thorpe, TA. (1985) Tyrosine and phenylalanine ammonia-lyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Physiology,78*, 438–441

Benzon, H R L., Rubenecia, M R U., Ultra, V U., S C, Lee. (2015). Nano-fertilizer affects the growth, development, and chemical properties of rice. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 7*, 105-117.

Danaee, E., Abdossi, V. (2016). Evaluation of the effect of plant growth substances on longevity of gerbera cut flowers cv. Sorbet. *Iranian Journal of Plant Physiology, 7*(1), 1943- 1947.

Danaee, E., Abdossi, V. (2021). Effect of foliar application of iron, potassium and zinc nano-chlates on morphological, physiological and phytochemical traits of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Food & Health Journal*, *4*(4), 13-20.

Dareini, H., Abdossi, V., Danaee, E. (2014). Effect of some essential oils on postharvest quality and vase life of gerbera cut flowers (*Gerbera Jamesonii* cv. Sorbet). *European Journal of Experimental Biology, 4*(3), 276-280.

Eghlima, G., Mohammadi, M., Ranjabr, ME. (2024). Foliar application of nano-silicon enhances drought tolerance rate of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) by regulation of abscisic acid signaling. *BMC Plant Biology, 24*, 1220.

Elliott, E., Snyder, G. H. (1991). Autoclave-induced digestion for the colorimetric of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *39*(6), 1118-1119.

Fani, E., Hajihashemi,S .(2023). Investigation of the effect of silica spraying and salinity stress on some physiological traits of *Camelina sativa* oil plant. *Journal of Plant Environmental Physiology. 69*(18), 149-159. (In Persian).

Farahani, H., Sajedi, N., Madani, H., Changizi, M., Naeini, M. R. (2021). Effect of potassium silicate on water use efficiency, quantitative traits and essential oil yield of damask rose (*Rosa damascena* Miller) under water deficit stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(1), 171-182. (In Persian).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

Gerami, M., Akbari Nodehi, D., Amiri, M., Darvakh, E. (2024). Effects of calcium nano-paticle on some physiologic and biochemical characteristics of *Ocimum basilicum* L. under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *40*(2), 415-400. doi: 10.22092/ijmapr.2024.131551. (In Persian).

Gómez-Santos, M., González García, Y., Perez, M., Cadenas-Pliego, G. (2023). Impact of Calcium-Silicon nanoparticles on flower quality and biochemical characteristics of Lilium under salt stress. *Plant Stress*, *10*, 100270.

Hajipour, H., Jabbarzadeh, Z. (2018). Growth and photosynthetic responses of chrysanthemum to foliar application of sodium and calcium silicate. *Plant Process and Function, 6*(19), 129-138. (In Persian).

Khosravi, S., Tehranifar, A., Selahvarzi, Y., Khoshgoftarmanesh, A.H., Cheheltanan, L. (2024a). Comparing the effect of Calcium itrate and Calcium Amino Chelate (Lysine) foliar application on nutritional status, vegetative and reproductive characteristics, and postharvest longevity of 'Jumilia' Rose cultivar. *Journal of Soil and Plant Interactions, 15*(3), 89-107. (In Persian)

Kokabi, S., Tabatabaei, S J. (2011). Effect of different ratios of potassium to calcium on the yield and quality of galia melons in hydroponic. *Journal of Horticultural Science*, *25*(2), 178-184. (In Persian).

Mirzaee, N., Jabbarzadeh, Z., Rasouli-Sadaghiani, M. (2020). Influence of humic acid and nano-calcium chelate application on photosynthetic pigments and nutrient uptake of Gerbera jamesonii cv. Dune. *Plant Process and Function*, 9(39), 61-76.

Moallaye Mazraei, S., Chehrazi, M., Khaleghi, E. (2020). The effect of calcium nanochelate on morphological, physiological, biochemical characteristics and vase life of three cultivars of gerbera under hydroponic system. *Plant Productions*, *43*(1), 53-66. (In Persian).

Mobaraki, L., Rezapour Fard, J., Norouzi, P. (2024). Effects of calcium silicate and calcium chelate on bent neck and vase life of roses (*Rosa hybrida*) cv. 'Dolce Vita'. *Journal of Plant Production Research*, Doi: 10.22069/jopp.2024.21076.3035 (In Persian).

Mobaraki, L., Rezapour Fard, J., Noruzi, P. (2023). Effects of pre-harvest application of calcium silicate and calcium chelate on some morpho-physiological parameters of cut rose (*Rosa hybrida*) cv. Dolce Vita. *Plant Process and Function, 12*(57), 231-250. (In Persian)

Nazari, F. (2019). The effect of foliar application of calcium chloride and nano-calcium chelated on vegetative, reproductive and post-harvest life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32*(2), 497-510. (In Persian).

Osmanpour, S., Mozafari, A.A., Ghaderi, N. (2021). The effect of Jasmonic Acid and Silica Nanoparticles on some physiological traits of Strawberry under salinity stress. *Journal of Soil and Plant Interactions, 12*(1), 1-15. (In Persian).

Rahmani, F., Mohammadi, A., Moradi, H. (2019). Studying the effect of phosphorus on flowering and vegetative traits of zinnia (*Zinnia sp*.) in vermicompost medium. *Flower and Ornamental Plants*, *4*(1), 13-25. (In Persian).

Ranjbar, S., Rahemi, M., Ramezanian, A. (2018). Comparison of nano-calcium and calcium chloride spray on postharvest quality and cell wall enzymes activity in Apple cv. Red Delicious. *Scientia Horticulturae*, *240*, 57-64.

Reis, L. S., Azevedo, R. A., Pereira, G. (2014). Determination of Calcium in Plant Material by Complexometric Titration with EDTA. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences, 9*(3), 412-418

Robatjazi, R., Roshandel, P., Hooshmand, S. (2020). Benefits of Silicon nutrition on growth, physiological and phytochemical attributes of Basil upon salinity stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *7*(1), 37-50.

Roosta, H., Nili, F., Pourkhaloee, A., Askari, N. (2024). Effects of supplemental light quality and foliar application with Calcium on photosynthetic parameters and flower stem strength of cut Gerbera (*Gerbera jamesonii* 'Bayadere'). *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *11*(1), 69-82.

Sánchez-Navarro, J., González García, Y., Benavides-Mendoza, A., Morales-Díaz, A., González-Morales, S., Cadenas-Pliego, G., Garcia, M. (2021). Silicon nanoparticles improve the shelf life and antioxidant status of Lilium. *Plants, 10*(11), 2338.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

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

Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, K., Ladan Moghadam, A R. (2021). Metabolic and enzymatic responses of *Calendula officinalis* L. to foliar application of Spermidine, Citric Acid and Proline under drought stress in a post-harvest condition. *Journal of Agricultural Science and Technology, 23*(6), 1339-1353.

Tofighi Alikhani, T., Tabatabaei, S., Torkashvand, A., Khalighi, A., Talei, D. (2021b). Silica nanoparticles and calcium on the histological characteristics and stem bending in gerbera cut flower. *Ornamental Horticulture. 27*(3), 334-343.

Tofighi Alikhani, T., Tabatabaei, S., Torkashvand, A., Khalighi, A., Talei, D. (2021a). Effects of silica nanoparticles and calcium chelate on the morphological, physiological and biochemical characteristics of gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) under hydroponic condition. *Journal of Plant Nutrition, 44*, 1-15. (In Persian).

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.

Zamani, G., Nabipour, Z., Gheisari, Y. (2021). The effect of Silicon application on some physiological characteristics, yield and yield components of Sunflower (*Helianthus annus* L.) under different moisture levels. *Applied Soil Research*, *9*(3), 57-72. (In Persian).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]

Flower and Ornamental Plants (2025), 10(1): 83-98
Research article

The effect of foliar application of silicon and calcium compounds on growth indices, plant pigments, and flowering period of Zinnia (*Zinnia elegans* L.)

Reza Eidian[1], Elham Danaee[1*]

Department of Horticulture, Garmsar Center, Islamic Azad University, Garmsar
dr.edanaee@iau.ac.ir
Received: 2025/03/03, Revised: 2025/07/17, Accepted: 2025/07/19

Abstract

Zinnia is highly valued due to its diverse shapes, colors, and long flowering period, and nutrition is a significant factor in enhancing the quality of this plant. Silicon is a beneficial element that plays a crucial role in building tolerance to biotic and abiotic stresses, and calcium is also a macronutrient and an important component of cell walls. Due to the various functions of these elements in plant metabolism, they have a positive role in increasing the quality of ornamental plants. This experiment was conducted to investigate the effect of foliar application of different silicon and calcium compounds on the growth and flowering of *Zinnia elegans* L. variety Dreamland Rose, in a completely randomized design with three replications in a commercial greenhouse located in Karaj. The treatments included nano-chelated silicon and nano-chelated calcium (0, 1.5, and 3 per 1000) and calcium silicate (0, 150, and 300 mg l^{-1}). Two weeks after the complete establishment of seedlings in pots, the plants were foliar-sprayed three times every 5 days. Sampling and evaluation of traits were performed about two weeks after the last foliar application and at the time of flowering, and finally, sampling was performed at the full flowering stage. The results showed that the treatments had a significant effect on the evaluated traits. The highest fresh and dry weight of flowers (2.28 - 0.75 g), cell membrane stability index (88.43%), flower diameter (9.75 cm), petal carotenoid content (0.94 mg g^{-1} fresh weight), total leaf chlorophyll (3.11 mg g^{-1} fresh weight), and phenylalanine ammonia-lyase enzyme activity (7.64 µg of cinnamate produced g^{-1} fresh weight per minute) were observed in the calcium silicate treatment at 300 mg l^{-1}. The highest stem diameter (4.47 cm) and leaf silicon content (4.73 mg g^{-1} dry weight) were obtained in the nano-chelated silicon treatment at 3 per 1000. The highest number of flowers in a plant (10.23), the number of leaves in a plant (27.63), and leaf calcium content (21.13 mg g^{-1} dry weight) were observed in the nano-chelated calcium treatment at 3 per 1000, while the lowest values for these traits were observed in the control group. The longest and shortest flowering periods of Zinnia were 109.74 and 101.45 days, and the longest and shortest longevity of Zinnia flowers on the plant were 59.36 and 49.45 days in the calcium silicate treatment at 300 mg l^{-1} and the control treatment, respectively. Therefore, according to the results of this study, foliar application of calcium silicate at 300 mg l^{-1} showed the greatest effect on improving the growth and flowering of *Zinnia elegans* L.

Keywords: Nutrition, Nano-chelate, Shelf life, Zinnia.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-11]