گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۴)، ۱۰(۱): ۹۹-۱۱۶
مقاله پژوهشی

تاثیر محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر عملکرد و کیفیت دو رقم رز بریدنی

سعید خسروی[۱]، علی تهرانی فر*[۱]، یحیی سلاح ورزی[۱]، امیرحسین خوش گفتارمنش[۲]، لیلا چهل تنان[۱]

۱. گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
tehranifar@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۱۹

چکیده

گل رز از مهمترین گل‌های بریدنی در جهان است. عناصر غذایی نقش مهمی در بهبود عملکرد و کیفیت گل‌های بریدنی از جمله گل رز دارد. از این رو، این پژوهش برای ارزیابی تاثیر محلول‌پاشی پیش از برداشت غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر رشد و عمر گلجایی گل رز طراحی شد. برای این منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی با دو فاکتور غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم شامل ۰ (آب مقطر)، ۵۰٪ (۸۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم) و ۱۰۰٪ (۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم) روی دو رقم محبوب گل رز Samurai و Jumilia با شش تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم نقش موثری بر بهبود قطر گل و قطر ساقه در Jumilia و Samurai داشت، همچنین طول ساقه در Jumilia و سطح برگ در Samurai تحت تاثیر سیلیکات کلسیم در غلظت ۱۰۰٪ قرار گرفتند اما سیلیکات کلسیم تاثیر معنی‌داری بر نسبت وزن خشک به وزن تر شاخساره و ریشه رز Samurai و Jumilia نداشت. محلول پاشی با ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم در Jumilia سبب افزایش ۳۲/۳٪ تعداد شاخه گل شد. میزان نورساخت و تعرق در ارقام Jumilia و Samurai تیمار شده با سیلیکات کلسیم در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ البته بین دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم سبب افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم برگ و ریشه در ارقام Jumilia و Samurai شد که این افزایش با کاربرد ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم به ترتیب برای Jumilia ۳۰ و ۱۳/۸٪ و برای Samurai ۹۲ و ۸/۵٪ در مقایسه با تیمار شاهد مربوطه بود. سیلیکات کلسیم سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در Jumilia و Samurai شد. در Samurai میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. کاربرد ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم به‌ترتیب موجب افزایش ۲۲/۵ و ۲۸/۴ ٪ عمرگلجایی در ارقام Samurai و Jumilia شد. این تیمار وزن تازه گل‌های برداشت‌شده را افزایش و روند کاهش آن را به‌تأخیر انداخت، در حالی‌که در شاهد پس از ۱۰ روز وزن گل‌ها کمتر از وزن اولیه بود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، رز، نورساخت، کلسیم.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

مقدمه

گل رز[1] از مهمترین محصولات تجاری است که در بین گل‌های بریدنی بیشترین فروش را در بازار جهانی دارد (Darras, 2021). گل‌های بریدنی بسیار فاسد شدنی و لطیف هستند و برای ماندگاری طولانی نیاز به مراقبت دارند (Verdonk *et al*., 2023). عمر گلجایی، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های تاثیرگذار بر کیفیت گل‌های رز است. فاکتورهای پیش از برداشت به همان اندازه عوامل پس از برداشت بر کیفیت و عمر گلجایی گل‌های بریدنی تاثیرگذار هستند. اگر عوامل پیش از برداشت به دقت کنترل شوند، کیفیت و عمر گلجایی گل‌های بریدنی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Abdolmaleki *et al*., 2015). بسته به میزان عوامل پیش از برداشت (متعادل بودن یا کمبود آن‌ها) گل‌های بریدنی مستعد برخی اختلالات هستند که در طول پس از برداشت خود را نشان می‌دهند. موارد رایج شامل گردن خمیدگی، سیاه شدن گلبرگ‌ها، پژمرده شدن و زرد شدن برگ‌ها می‌باشد (Verdonk *et al*., 2023).

سیلیکون از عناصر شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی است که جذب آن توسط گیاهان به شکل اسید سیلیس محلول $Si(OH)_4$ صورت می‌گیرد (Epstein, 1994). در گیاهان، غلظت سیلیکون ۰/۱ تا ۱۰٪ وزن خشک گیاه است، بنابراین در کشت‌های گلخانه‌ای فاقد خاک که حاوی سیلیس نیستند تامین سیلیکون نقش مهمی بر رشد گیاهان دارد (Epstein, 1994). سیلیکون در گیاهان نقش موثری در افزایش قطر گل، سطح برگ، قطر ساقه و نورساخت دارد (Abdalla, 2009; Tofighi Alikhani *et al*., 2021). تیمار گل‌های داوودی با سیلیکات کلسیم درغلظت ۷/۵ گرم در گلدان، سبب افزایش وزن خشک گیاه، سبزینهa و b، میزان کاروتنوئید برگ و جذب فسفر شد (Abdalla, 2009). گیاهانی که در غیاب سیلیس رشد می‌کنند ضعیف خواهند بود و رشد و تمایز غیرعادی نشان می‌دهند (Wang *et al*., 2017). استفاده صحیح از این ماده مغذی سبب افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها، جلوگیری از کمبود مواد مغذی، بهبود کیفیت و عملکرد محصول می‌شود (Tofighi Alikhani *et al*., 2021).

از بین تمام عناصر موجود در محلول‌های غذایی، کلسیم نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های کیفی گل‌های بریدنی رز دارد (Halevy *et al*., 2001). کلسیم یک درشت مغذی ضروری برای رشد و نمو گیاه است که به عنوان یک پیام‌رسان مهم درون یاخته ای، رابط پاسخ‌دهی به هورمون‌ها، تنش و فرآیندهای رشد در نظر گرفته می‌شود (Youssef *et al*., 2017). مشخص شده است که تیمار کلسیم پیش از برداشت، باعث افزایش عمر گلجایی گل‌های رز می‌شود (Abdolmaleki *et al*., 2015; Torre *et al*., 1999).

به طور کلی، استفاده متعادل و به موقع از منابع کلسیم در طول فصول رشد باعث بهبود ماندگاری و کیفیت تغذیه محصولات باغی از جمله گل رز می‌شود (Aghdam *et al*., 2012). البته واکنش گیاهان به مصرف کلسیم پیش از برداشت بستگی به عوامل گوناگونی مانند گونه، منبع کود، غلظت و دفعات کاربرد و همچنین مرحله رشد گیاه دارد (Youssef *et al*., 2017). کلسیم بخشی از دیواره یاخته ای است که در آن پیوندهای درون مولکولی پایدار، اما برگشت‌پذیر بین مولکول‌های پکتیک ایجاد می‌کند که منجر به سفتی دیواره یاخته ای می‌شود (Palta, 1996). کلسیم به دلیل اینکه جزء غشا و دیواره یاخته ای است سبب کاهش آسیب غشایی می‌شود. همچنین به دلیل نقش آن در القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش سطوح رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS)

۱- *Rosa hybrida* L.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

می‌شود (Sairam *et al*., 2011). با این حال، کلسیم یک عنصر غیر متحرک در نظر گرفته می‌شود و به همین دلیل گیاهان برای رشد قوی برگ و ریشه نیاز به تامین دائمی کلسیم دارند (Amor & Marcelis, 2003) که می‌تواند از طریق محلول‌پاشی تامین گردد (Youssef *et al*., 2017). در اصل کلسیم از طریق آوند چوبی و به کمک جریان تعرق به قسمت‌های هوایی گیاه منتقل می‌شود (Bauer *et al*., 2011). بنابراین اندام‌های کم تعرق چون گل‌ها، به طور طبیعی کمبود کلسیم دارند (Palta, 1996) از طرفی برگ‌ها به دلیل سطح بزرگتر، سرعت تعرق بالایی دارند و در انحراف کلسیم از گل‌ها مؤثرتر عمل می‌کنند (Abdalla, 2009). طبق پژوهش‌های (1999) .Torre *et al*، گل‌های رز که حاوی سطوح کمتری کلسیم در بافت‌های خود، به ویژه گلبرگ‌ها هستند عمر پس از برداشت کوتاه‌تری دارند. با توجه به اینکه تحرک کلسیم در گیاه کم بوده با محلول‌پاشی می‌توان میزان جذب کلسیم در گیاه را افزایش داد (Youssef *et al*., 2017) و این کمبود جبران گردد. با تامین مواد مغذی از طریق محلول‌پاشی، گیاهان می‌توانند به سرعت مواد غذایی را از بافت‌های برگ جذب کنند. به عبارتی دیگر، کوددهی برگی جایگزینی برای مدیریت تغذیه است که عمدتاً به عنوان مکمل غذایی در گیاهان استفاده می‌شود (Fageria *et al*., 2009). تاثیر تغذیه برگی کلرید کلسیم در مرحله پیش از برداشت بر افزایش ماندگاری گل رز (Abdolmaleki, *et al*., 2015) و سایر گیاهان (Moradinezhad *et al*., 2018) گزارش شده است. در محصولات زینتی تامین کلسیم باعث تاخیر در پیری و کاهش تولید اتیلن شده و عمر گلجایی گل‌ها را افزایش می‌دهد (Aghdam *et al*., 2012).

با توجه به نقش متابولیکی برجسته کلسیم و سیلیکون در گیاهان، تامین متعادل و به موقع منابع کلسیم و سیلیکون در طول فصل رشد، ماندگاری و کیفیت تغذیه‌ای را بهبود می‌بخشد. این پژوهش با هدف بررسی تاثیر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم و نقش آن‌ها بر بهبود عملکرد و عمر گلجایی دو گل رز Samurai و Jumilia طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه گیاهان زینتی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی در چهار تکرار و هر تکرار شامل شش مشاهده اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل دو رز و محلول‌پاشی با سه سطح سیلیکات کلسیم بود.

ارقام گل رز پیوندی شامل Jumilia و Samurai تهیه و در بستر هیدروپونیک ۱۰۰٪ پرلیت (۵-۳ میلی‌متر) کشت شدند و به مدت سه روز برای استقرار بهتر، با آب آبیاری شدند. پس از آن و تا پایان آزمایش با محلول غذایی هوگلند (جدول ۱) تغذیه شدند. پس از گذشت ۳۰ روز از کشت و یکسان شدن رشد گیاهان، تیمارهای مختلف اعمال و به مدت شش ماه ادامه یافت. سیلیکات کلسیم با سه غلظت ۰ (آب مقطر)، ۵۰٪ (۸۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم) و ۱۰۰٪ (۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم) به صورت هفتگی روی بوته‌های رز اسپری شد. برای تهیه محلول‌های غذایی از آب لوله‌کشی استفاده شد و مقادیر مختلف عناصر غذایی موجود در آب لوله‌کشی (جدول۲) از مقادیر مورد نیاز برای تهیه محلول هوگلند کم شد. همچنین، شستشوی بستر به صورت هفتگی از طریق آب برای جلوگیری از انباشت نمک انجام می‌شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POD))، کلسیم برگ و ریشه، سرعت نورساخت و تعرق در دوره گلدهی انجام گرفت و به محض برداشت گل تعداد شاخه گل و پارامترهای رشدی اندازه‌گیری شدند. سپس درصد تغییرات وزن تازه و عمر گلجایی ارزیابی گردید و در پایان آزمایش، نسبت وزن خشک به وزن تر ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد. بررسی صفات به مدت شش ماه انجام گرفت و میانگین آن‌ها ارائه گردید.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

جدول ۱- برنامه غذایی مورد استفاده، تهیه شده طبق فرمولاسیون هوگلند.

Table 1- The nutritional program used, prepared according to the Hoagland formulation.

Final concentration of element (ppm) غلظت نهایی گرم در عنصر(میلی لیتر)	Element عنصر	Volume of stock solution per liter of final solution (ml) حجم محلول موجود در هر لیتر محلول لیتر)نهایی(میلی	Concentration of stock solution (gL^{-1}) غلظت محلول استوک(گرم بر لیتر)	Compound ترکیب کودی	
224	N نیتروژن				Macro Nutrients عناصر پر مصرف
235	K پتاسیم	6	101.10	KNO_3 نیترات پتاسیم	
160	Ca کلسیم	4	236.16	$Ca(NO_3)_2$-$4H_2O$ نیترات کلسیم چهار آبه	
62	P فسفر	2	115.08	$NH_4H_2PO_4$ آمونیوم دی‌هیدروژن فسفات	
32	S گوگرد	1	246.49	$MgSO_4$-$7H_2O$ سولفات منیزیوم هفت آبه	
24	Mg منیزیوم				
1.77	Cl کلر	2	1.864	KCl پتاسیم کلرید	Micro Nutrients عناصر کم مصرف
0.27	B بور	2	0.773	H_3BO_3 بوریک اسید	
0.11	Mn منگنز	2	0.169	$MnSO_4$-H_2O سولفات منگنز یک آبه	
0.13	Zn روی	2	0.288	$ZnSO_4$-$7H_2O$ سولفات روی هفت آبه	
0.03	Cu مس	2	0.062	$CuSO_4$-$5H_2O$ سولفات مس پنج آبه	
0.05	Mo مولیبدن	2	0.040	H_2MoO_4(85%MoO_3) مولیبدیک اسید	
1-3	Fe آهن	0.3-1	30.0	NaFeDTPA(10%Fe) (۱۰٪آهن)آهن کلاته	

جدول۲- غلظت عناصر غذایی موجود در آب لوله‌کشی.

Table 2- The concentration of dissolved mineral elements in tap water.

SO_4 (ppm) سولفات (میلی‌گرم در لیتر)	Cl (ppm) کلر(میلی‌گرم در لیتر)	K (ppm) پتاسیم (میلی‌گرم در لیتر)	Mg (ppm) منیزیوم (میلی‌گرم در لیتر)	Ca (ppm) کلسیم (میلی‌گرم در لیتر)
249.456	102.062	3.042	32.40	90

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

اندازه‌گیری پارامترهای رشدی

پارامترهای رشدی شامل قطرگل و قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتال و طول ساقه با استفاده از خط‌کش بلافاصله پس از برداشت اندازه‌گیری شدند. تعداد شاخه گل به صورت مشاهده‌ای یادداشت و سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (WinArea_UT_10) ثبت شد.

عمر گلجایی و درصد کاهش وزن

برای تعیین عمر گلجایی، برداشت گل‌های رز در ساعات اولیه صبح انجام شد. برداشت پس از شکوفایی گل‌ها، در زمانی که کاسبرگ‌ها به سمت پایین خم شده و گل به شکل استوانه‌ای تغییر می‌یافت، انجام گرفت (Banijamali *et al*., 2018). شاخه‌های گل پس از برداشت مستقیما به سردخانه با دمای ۷ درجه سلسیوس منتقل و به مدت شش ساعت در ظرف آب نگهداری شدند (جهت شبیه‌سازی با شرایط تولیدکنندگان تجاری گل رز) سپس توسط ترازوی دیجیتال (METTLER, PJ300) با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین و برای تعیین عمر گلجایی انتهای شاخه گل دوباره در زیر آب به طول یک سانتی‌متر بریده و برگ‌ها از پایین ۱۰ سانتی‌متری ساقه جدا شدند. سپس برای جلوگیری از آمبولی هوا، هر شاخه گل بلافاصله در بطری پلاستیکی حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد. توزین شاخه گل و تعویض آب مقطر نیز هر دو روز یک‌بار انجام شد. بطری‌های حاوی شاخه گل برای تعیین عمر گلجایی در یک اتاق کنترل شده با دمای ۲ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵٪ و دوره نوری ۱۲ ساعت با لامپ‌های فلورسنت با شدت نور ۲۰ میکرو مول بر متر مربع برثانیه نگهداری شدند.

عمر پس از برداشت شاخه گل رز در هر تکرار از هر تیمار با تعداد روزهای بین برداشت و پیری گل رز تعیین شد که پایان عمر گلجایی هر گل به عنوان زمانی تعیین شد که در آن بیش از نیمی از برگ‌ها و گلبرگ‌ها کنده شده به رنگ زرد درآمده یا خشک شده و ساقه خم شده بود (یعنی ساقه خم می‌شود و زاویه گل از موقعیت عمودی بیشتر از ۴۵ درجه می‌شود) (Wei *et al*., 2021).

سرعت نورساخت و تعرق

ویژگی‌های نورساختی، از جمله سرعت نورساختی (میکرومول دی‌اکسید کربن بر متر مربع بر ثانیه) و تعرق (میکرومول اکسید هیدروژن بر متر مربع بر ثانیه) با دستگاه نورساخت متر قابل حمل (Li-Cor ، Li-3000، USA) تعیین شدند.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

۰/۲ گرم نمونه‌ی برگ از هر تکرار جدا شد و در بستر یخ با استفاده از نیتروژن مایع پودر شد. پودر حاصل در بافر ۵ میلی‌لیتری، حاوی ۵۰ میلی‌مولار فسفات سدیم (PH=7.8)، ۰/۰۱ پلی‌وینیل پیرولیدین (PVP) و ۱ میلی‌مولار اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید (EDTA) مخلوط شد. مایع رویی به‌دست آمده پس از سانتریفیوژ کردن با ۱۳۰۰۰ دور در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد استفاده قرار گرفت.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم SOD

برای محاسبه فعالیت آنزیم SOD، مخلوطی حاوی ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH = 7.8)، ۱/۳ میکرومولار ریبوفلاوین، ۶۳ میکرومولار نیترو کلرید تترازولیوم آبی، ۱۳ میکرومولار متیونین و عصاره آنزیمی در حجم سه میلی‌لیتر تهیه شد. تغییر روند

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

افزایشی جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفوتومتر (Shimadzu UV106A) بر حسب واحد میلی‌گرم از پروتئین کل مورد قرائت قرار گرفت.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم CAT

برای محاسبه فعالیت آنزیم CAT، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به همراه ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH = 7.0) و ۱۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن ترکیب شد. شروع فرآیند با افزودن عصاره آنزیمی رخ داد. فعالیت CAT با حذف H2O2، اندازه‌گیری شد و کاهش جذب در ۲۴۰ نانومتر در طول یک دقیقه برحسب میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم از پروتئین کل قرائت شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم POD

محلول واکنشPOD شامل عصاره آنزیمی، دیانیزیدین با غلظت ۰/۲٪ و ۰/۱ مولار بافر فسفات پتاسیم (pH = 7.4) بود و جذب محلول در ۴۷۰ نانومتر برحسب میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم از پروتئین کل اندازه‌گیری شد (Chen *et al*., 2009).

میزان کلسیم ریشه و برگ

نمونه‌های برگ و ریشه تمیز شده از هر تکرار و تیمار به صورت جداگانه درآون ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا نمونه‌ها خشک شوند. نمونه‌های خشک شده آسیاب شدند و پودرهای حاصل در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت حرارت داده شدند تا به خاکستر تبدیل شوند. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۲ مولار (HCL) به نمونه‌های خاکستر اضافه شد. محلول حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و عصاره با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رقیق شد (Volpin & Elad, 1991). سنجش میزان کلسیم برگ و ریشه با دستگاه طیف سنج نشر اتمی پلاسمایی جفت شده القایی (ICP-OES (Inductively Coupled Plasma atomic emission) صورت گرفت.

اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه و شاخساره

پس از پایان آزمایش و خارج کردن بوته‌ها از بستر، قسمت ریشه از شاخساره جدا گردید. سپس ریشه‌ها به طور کامل شستشو شدند و شاخساره و ریشه به طور جداگانه برای هر تکرار و تیمار با کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و مجددا با ترازوی دیجیتال توزین شدند و نسبت وزن خشک به تر ریشه و شاخساره به کمک رابطه ۱ به‌دست آمد.

رابطه ۱

$$\text{وزن خشک به تر شاخساره/ریشه} = \frac{\text{وزن خشک شاخساره/ریشه}}{\text{وزن تر شاخساره/ریشه}} \times 100$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SAS (Ver 9.4) و مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ و ترسیم نمودارها با نرم افزار EXCEL انجام گرفت.

نتایج

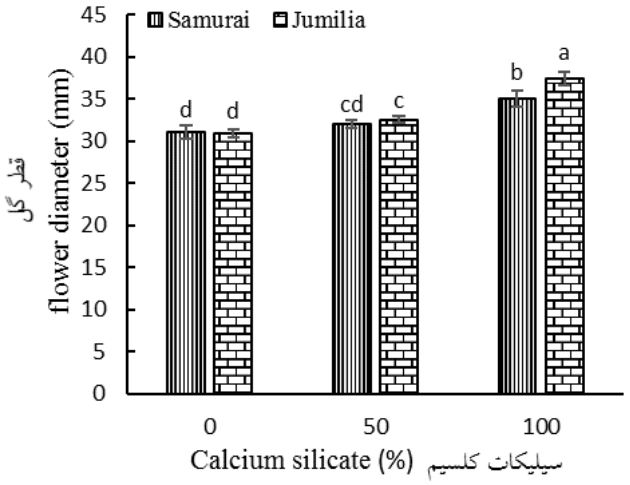
قطر گل

تیمار سیلیکات کلسیم سبب افزایش معنی‌دار قطر گل در ارقام رز شد. بیشترین قطر گل مربوط به کاربرد سیلیکات کلسیم در غلظت ۱۰۰٪ در Jumilia بود که در مقایسه با شاهد مربوطه افزایش ۲۱ درصدی را نشان داد از طرفی کمترین قطر گل در تیمار

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

شاهد Jumilia مشاهده شد که بیانگر نقش موثر سیلیکات کلسیم در غلظت ۱۰۰٪ بر بهبود قطر گل در این رقم می‌باشد (شکل ۱). در Samurai بیشترین قطر گل مربوط به غلظت ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم (۳۵/۰۳ میلی‌متر) بود که بدون تفاوت معنی‌دار با غلظت ۵۰٪ سیلیکات کلسیم منجر به افزایش ۱۲/۸ درصدی قطر گل نسبت به تیمار شاهد مربوطه شد (شکل ۱). کلسیم از عناصر ضروری برای رشد و نمو محصولات می‌باشد (Haghighi *et al*., 2023). طبق مطالعات پیشین کمبود کلسیم سبب کاهش رشد بافت‌های مریستمی می‌شود (Coutinho *et al*., 2020). در اصل کلسیم از یون‌های ضروری در تشکیل دوک میتوزی می‌باشد که به طور مستقیم بر فرآیند تقسیم یاخته ای تأثیر می‌گذارد (Hepler, 2005). در همین راستا، تیمار گل‌های لیسیانتوس با منابع کلسیم باعث افزایش ۳۲/۳ درصدی قطر گل نسبت به تیمار شاهد شد (Seydmohammadi *et al*., 2020). همچنین در پژوهشی دیگر افزایش غلظت کلسیم از ۱/۶ به ۴/۸ میلی‌مولار سبب افزایش ۷ درصدی قطر گل رز شد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا است (Banijamali *et al*., 2018). در گل داوودی کاربرد سیلیکات کلسیم سبب افزایش ۱۱/۲۳ درصدی قطر گل شد (Abdalla, 2009). سیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و محتوای سبزینه برگ سبب بهبود نورساخت شده و با تجمع متابولیت‌های نورساختی باعث بهبود رشد یاخته ای در گیاه می‌شود (Tofighi Alikhani *et al*., 2021).



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر قطر گل رز رقم Samurai و Jumilia. بارهای عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ٪۵ با آزمون LSD هستند.

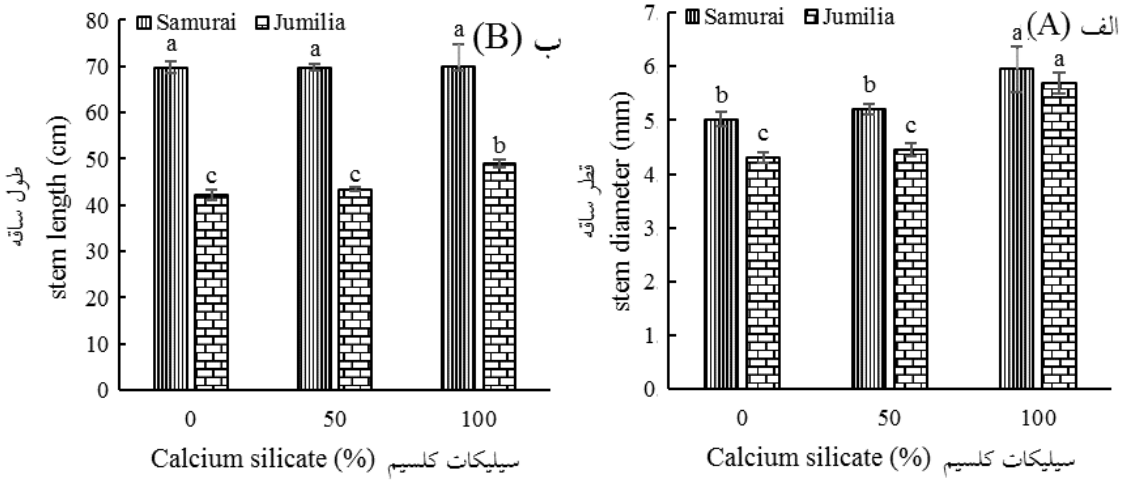
Figure 1- The effect of different concentrations of calcium silicate on the flower diameter in Samurai and Jumilia rose cultivars. The vertical bars represent the standard error of the mean. Columns sharing a common letter are not significantly different at P ≤ 5% based on the LSD test.

قطر و طول ساقه

با محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم طول و قطر ساقه Jumilia به طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲). بیشترین طول و قطر ساقه مربوط به کاربرد سیلیکات کلسیم در غلظت ۱۰۰٪ بود که به ترتیب سبب افزایش ۱۶/۳ و ۳۲/۲ درصدی طول و قطر ساقه Jumilia شد. همچنین بین غلظت ۵۰٪ و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲). تیمار سیلیکات کلسیم تاثیر معنی‌داری بر طول ساقه Samurai نداشت اما کاربرد سیلیکات کلسیم در غلظت ۱۰۰٪ سبب افزایش ۱۸/۷ درصدی قطر ساقه شد (شکل ۲ الف). نتایج این پژوهش با مطالعات (Mobaraki *et al*., 2023) مطابقت دارد که گزارش کردند محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم سبب بهبود رشد رویشی گل رز می‌شود. کلسیم موجود در کلروپلاست، مسیر نورساختی را که منبع اصلی تامین انرژی برای یاخته‌های

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

گیاهی است، تنظیم می‌کند (Wang *et al*., 2019) در نتیجه بهبود نورساخت در اثر تیمار سیلیکات کلسیم با تامین انرژی منجر به بهبود پارامترهای رشد رویشی در گل رز می‌شود. در تایید نتایج فوق Kumar و Haripriya (2010) بیان کردند مواد نورساختی به مکان‌های مختلف از جمله ساقه منتقل شده و سرانجام ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد. در گل رز افزایش غلظت کلسیم از ۵ به ۷/۵ میلی‌مولار، به ترتیب سبب افزایش ۱۲/۵۴ و ۶ درصدی طول و قطر ساقه شد (Shams *et al*., 2012). تحریک رشد گیاه با کاربرد سیلیکات کلسیم توسط Abdalla (2009) روی گل داوودی نیز گزارش شده است؛ به گونه ای که کاربرد سیلیکات کلسیم درغلظت ۵ گرم در گلدان به ترتیب سبب افزایش ۱۸/۴ و ۸/۶ درصدی قطر و طول ساقه نسبت به شاهد شد.. طبق پژوهش‌های پیشین، کاربرد کود کلسیم و سیلیکات به شکل محلول‌پاشی یا عرضه پایه به دلیل رسوب کلسیم یا سیلیکات به دیواره یاخته ای و فضای بین یاخته ای گیاه، سبب بهبود رشد رویشی می‌شود به نحوی که محلول‌پاشی کودهای سیلیکات یا کلسیم با غلظت ۰/۲٪ در گل شیپوری به ترتیب باعث افزایش ۲۱/۴ و ۱۶/۳ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شد (Cho *et al*., 2013).



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر قطر (الف) و طول (ب) ساقه رز رقم Samurai و Jumilia. بارهای عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵٪ با آزمون LSD هستند.

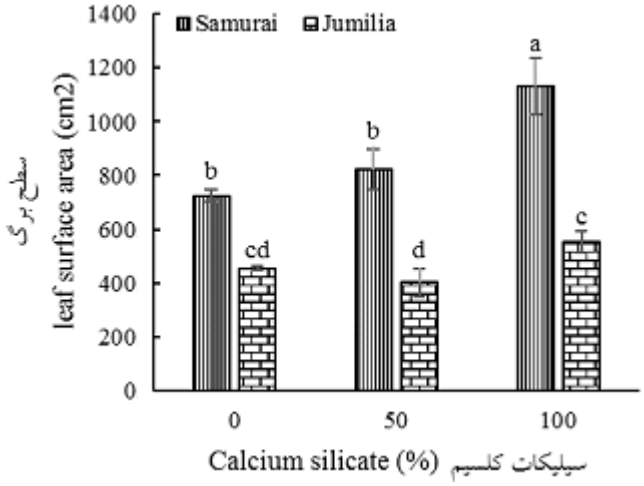
Figure 2- The effect of different concentrations of calcium silicate on stem diameter (A) and stem length (B) of Samurai and Jumilia rose cultivars. The vertical bars represent the standard error of the mean. Columns sharing a common letter are not significantly different at P ≤ 5% based on LSD test.

سطح برگ

محلول‌پاشی Samurai با سیلیکات کلسیم در غلظت ۱۰۰٪ سبب افزایش سطح برگ شد اما سیلیکات کلسیم تاثیر معنی‌داری بر سطح برگ Jumilia نداشت (شکل ۳). سطح برگ در Samurai افزایش ۵۵/۸ درصدی را در اثر تیمار ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم در مقایسه با شاهد نشان داد (شکل ۳). محلول پاشی کاهو با کلرید کلسیم در غلظت ۲۰ میلی‌مولار به طور معنی‌داری باعث افزایش متوسط سطح برگ شد (Youssef *et al*., 2017) که با نتایج پژوهش حاضر همسو است. همچنین تیمار گیاهان خیار با ۵۰ میلی گرم سیلیکون سبب افزایش ۱۰/۲۸ درصدی سطح برگ نسبت به گیاهان شاهد شد که بیانگر نقش موثر سیلیکون بر بهبود رشد گیاه است (Faroutine *et al*., 2023). در گل شیپوری، کاربرد کودهای سیلیکات یا کلسیم در غلظت ۰/۲٪ سبب افزایش به ترتیب ۲۶/۵ و ۲۱/۶ درصدی عرض برگ نسبت به شاهد شد (Cho *et al*., 2013). سطح برگ بسته به رقم و مرحله رشد می‌تواند متفاوت باشد. سطح برگ تاثیر مستقیمی بر تجمع زیست توده و عملکرد گیاه داشته زیرا امکان جذب بهتر انرژی تابشی را فراهم می‌کند و از این طریق سبب بهبود نورساخت و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Faroutine *et al*., 2023).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

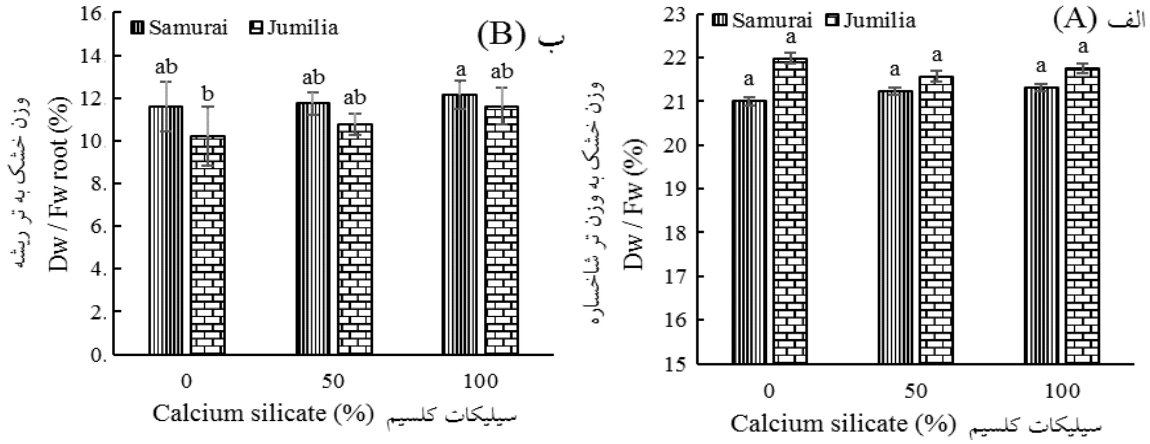


شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر سطح برگ رز رقم Samurai و Jumilia. بارهای عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ٪۵ با آزمون LSD هستند.

Figure 3- The effect of different concentrations of calcium silicate on the leaf surface area of Samurai and Jumilia rose cultivars. The vertical bars represent the standard error of the mean. Columns sharing a common letter are not significantly different at $P \leq 5\%$ based on LSD test.

نسبت وزن خشک به وزن تر شاخساره و ریشه

محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم تاثیر معنی‌داری بر نسبت وزن خشک به وزن تر شاخساره و ریشه ارقام Jumilia و Samurai نداشت (شکل ۴). که با گزارش‌های (Abdolmaleki *et al*., 2015) مبنی بر عدم تاثیر محلول‌پاشی کلرید کلسیم بر وزن تر ساقه و جوانه گل رز مطابقت دارد. همچنین پیش تیمار گیاهان گوجه فرنگی با سیلیکات کلسیم تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک شاخساره نداشت (Coutinho *et al*., 2020).



شکل ۴- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر نسبت وزن خشک به وزن تر شاخساره و ریشه رز رقم Samurai و Jumilia. بارهای عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ٪۵ با آزمون LSD هستند.

Figure 4- The effect of different concentrations of calcium silicate on the dry weight to fresh weight ratio of stems and roots of Samurai and Jumilia rose cultivars. The vertical bars represent the standard error of the mean. Columns sharing a common letter are not significantly different at $P \leq 5\%$ based on LSD test.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

تعداد شاخه گل در بوته

محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم تاثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه گل Samurai نداشت و تنها در غلظت ۱۰۰٪ سبب افزایش ۳۲/۳ درصدی تعداد شاخه گل Jumilia شد (شکل ۵)؛ که نشان‌دهنده پاسخ متفاوت ارقام به محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم می‌باشد به عبارتی دیگر محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم در افزایش تعداد شاخه گل Jumilia نسبت به Samurai مؤثرتر بوده است (شکل ۵). در گل داوودی کاربرد سیلیکات کلسیم سبب افزایش ۱۸/۸۳ درصدی تعداد گل شد (Abdalla, 2009). استفاده از کلسیم در غلظت ۲/۵ میلی‌مولار سبب افزایش تعداد شاخه گل رز شد (Shams *et al*., 2012) که با نتایج این پژوهش مبنی بر تاثیر کلسیم بر افزایش تعداد شاخه گل در Jumilia مطابقت دارد. در گل ژربرا تیمار ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات سیلیس با ۶۰ میلی‌گرم در لیتر کلات کلسیم، تعداد گل‌ها را ۱۸۲٪ در مقایسه با شاهد افزایش داد (Tofighi Alikhani *et al*., 2021).

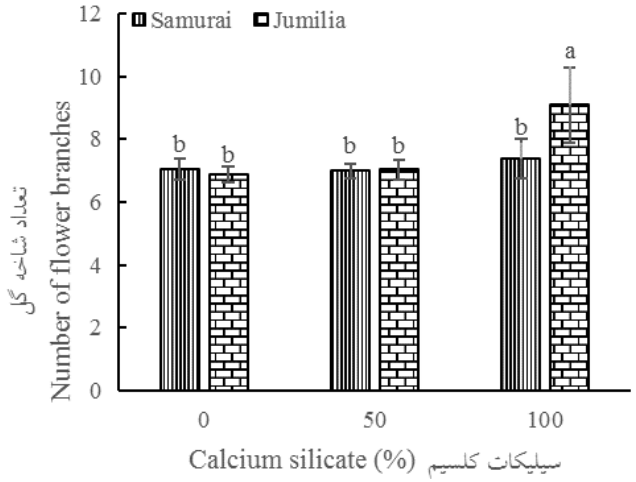
سرعت نورساخت و تعرق

سیلیکات کلسیم تاثیر معنی‌داری بر صفات نورساختی ارقام Samurai و Jumilia داشت (شکل ۶). کاربرد سیلیکات کلسیم در غلظت ۱۰۰٪ در ارقام Samurai و Jumilia به ترتیب سبب افزایش ۵۸/۶ و ۱۸/۵ درصدی نورساخت نسبت به گیاهان شاهد شد (شکل ۶ الف). کمترین میزان نورساخت مربوط به تیمار شاهد Samurai بود (شکل ۶ الف). میزان تعرق هر دو رقم رز به دنبال کاربرد سیلیکات کلسیم افزایش یافت گرچه تفاوت معنی‌داری بین دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰٪ مشاهده نشد (شکل ۶ ب). بالاترین میزان تعرق (۱۱/۹۵ mmol H2O $m^{-2}s^{-1}$) زمانی بدست آمد که Samurai با سیلیکات کلسیم در غلظت ۱۰۰٪ محلول‌پاشی شد، همچنین کمترین میزان تعرق (۵/۸۹ mmol H2O $m^{-2}s^{-1}$) نیز در شاهد Samurai مشاهده شد که بیانگر نقش موثر سیلیکات کلسیم بر بهبود میزان تعرق در ارقام مختلف رز به ویژه Samurai می‌باشد (شکل ۶ ب). محلول‌پاشی کلسیم از طریق افزایش غلظت کلسیم برگ سبب بهبود فعالیت نورساختی در گیاهان تیمار شده گردید، زیرا کلسیم در مسیرهای نورساختی به عنوان یک تنظیم‌کننده روزنه‌ای که تبادل گاز را کنترل می‌کند عمل می‌کند. علاوه بر تبادل گاز، چرخه کالوین مسیر اصلی جذب کربن می‌باشد و در استرومای کلروپلاست رخ می‌دهد. Sedoheptulose-1,7-bisphosphatase و fructose-l,6-bisphosphatase از آنزیم‌های کلیدی چرخه کالوین هستند، که فعالیت آن‌ها توسط کلسیم تنظیم می‌شود (Wang *et al*., 2019).

سیلکیون نیز با تجمع در برگ‌های گیاه سبب افزایش جذب تشعشات تابشی شده و از این طریق سبب افزایش بازده نورساختی می‌شود (Coutinho *et al*., 2020) که بیانگر نقش موثر این دو عنصر غذایی (کلسیم و سیلیکون) بر بهبود فعالیت نورساختی می‌باشد. در تایید نتاج فوق بهبود کارایی نورساخت در گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با سیلیکات کلسیم نیز گزارش شده است (Coutinho*et al*., 2020).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]



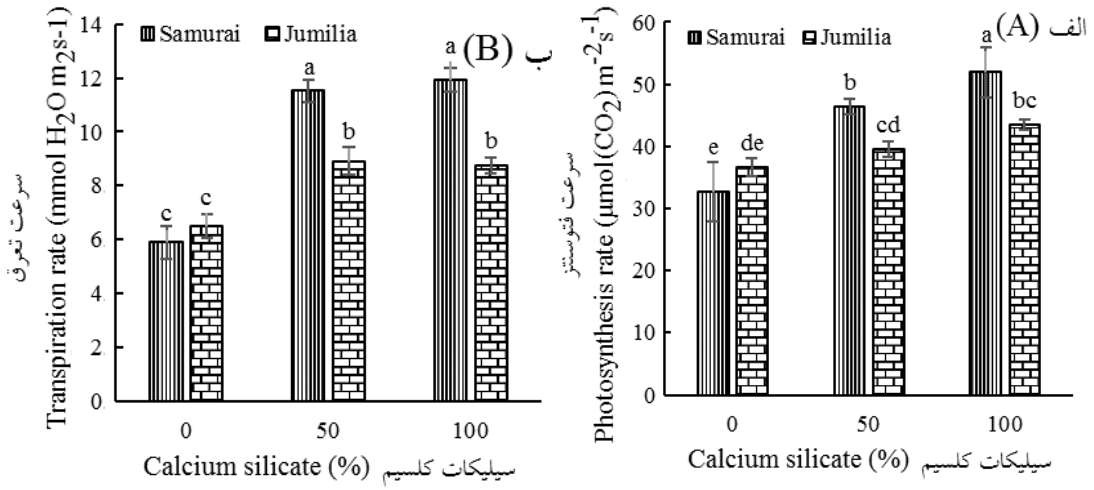
شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر تعداد شاخه گل رز رقم Samurai و Jumilia. بارهای عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ٪۵ با آزمون LSD هستند.

Figure 5- The effect of different concentrations of calcium silicate on the number of flower branches of Samurai and Jumilia rose cultivars. The vertical bars represent the standard error of the mean. Columns sharing a common letter are not significantly different at $P \leq 5\%$ based on LSD test.

کلسیم در آوند آبکش بی‌حرکت بوده و از طریق آوند چوبی منتقل می‌شود. بنابراین، غلظت آن در اندام‌های کم تعرق از جمله گل‌ها که از طریق آوند آبکش تغذیه می‌شوند، کم است. همچنین کاهش تعرق، خطر کاهش غلظت کلسیم در بافت‌ها را در شرایط بحرانی افزایش می‌دهد، بنابراین عوارض جانبی ناشی از کمبود کلسیم در اندام‌های کم تعرق از جمله گل‌ها مشاهده می‌شود (Hepler, 2005). از طرفی طبق گزارش Palta (1996) کاربرد کلسیم با افزایش رسانایی روزنه‌ای سبب افزایش فرایند تعرق می‌شود، به عبارت دیگر یکی از عواملی که بر باز شدن روزنه تأثیر می‌گذارد H^+-ATP-ase در غشای پلاسمایی است و فعالیت آن توسط پروتئین کیناز تنظیم می‌شود که توسط کلسیم تحریک می‌شود. در همین رابطه (Baas *et al*., 2023) بیان کردند، غلظت‌های موضعی کلسیم در اندام‌های گل رز با سرعت تعرق مرتبط می‌باشد. همچنین محلول‌پاشی کلسیم در سیب باعث افزایش ۴۵/۷ درصدی نورساخت و ۱۶/۷ درصدی میزان تعرق شد (Wang *et al*., 2022).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]



شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر سرعت نورساخت (الف) و تعرق (ب) رز رقم Samurai و Jumilia. بارهای عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ٪۵ با آزمون LSD هستند.

Figure 6- The effect of different concentrations of calcium silicate on the rate of photosynthesis (A) and transpiration (B) of Samurai and Jumilia rose cultivars. The vertical bars represent the standard error of the mean. Columns sharing a common letter are not significantly different at $P \leq 5\%$ based on LSD test.

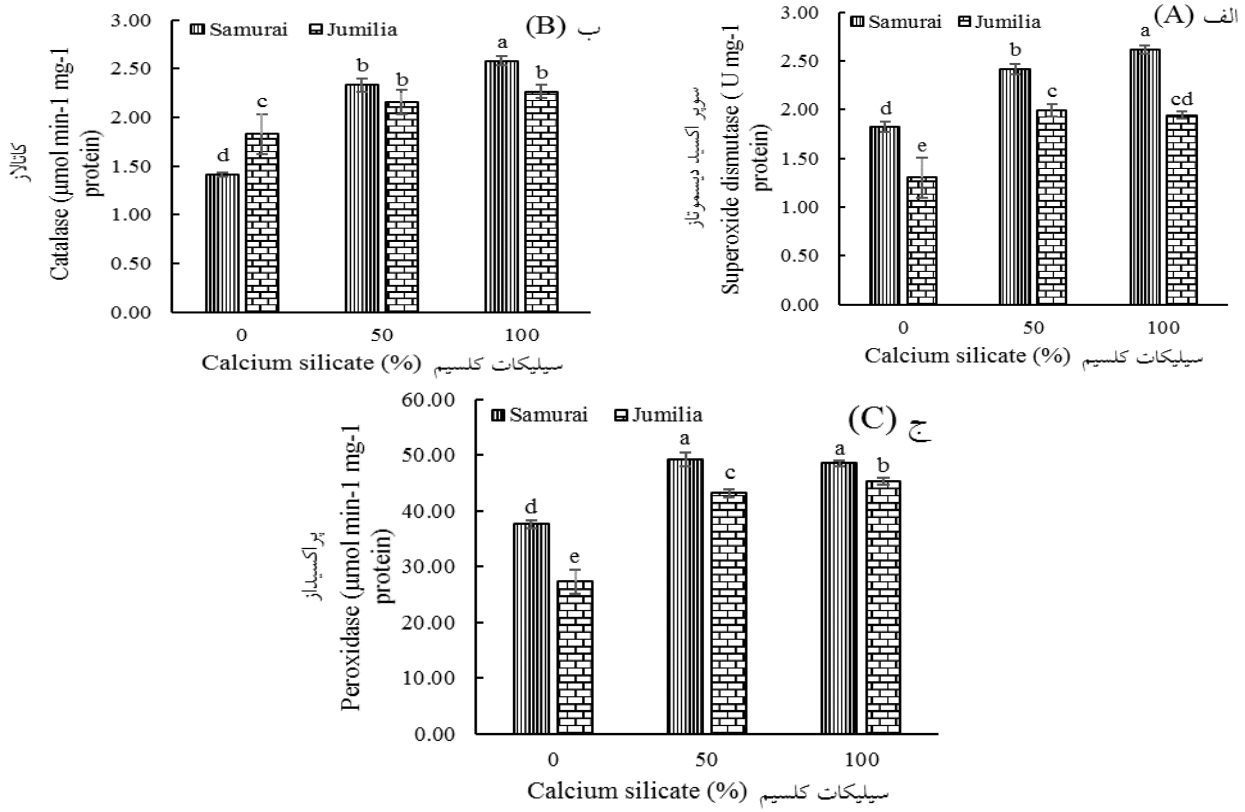
فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

افزایش غلظت سیلیکات کلسیم سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های SOD، CAT و POD شد (شکل ۷). بیشترین فعالیت آنزیم SOD مربوط به کاربرد سیلیکات کلسیم در غلظت ٪۱۰۰ در Samurai بود که تفاوت معنی‌داری با غلظت ٪۵۰ نداشت (شکل ۷ الف). در Jumilia بیشترین فعالیت آنزیم SOD مربوط به سیلیکات کلسیم در غلظت ٪۵۰ بود که نسبت به شاهد افزایش ۵۳ درصدی را نشان داد (شکل ۷ الف). کمترین فعالیت آنزیم SOD (۱/۳۰ U mg^{-1} protein) مربوط به تیمار شاهد Jumilia بود (شکل ۷ الف). محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم در غلظت ٪۱۰۰ در مقایسه با شاهد به ترتیب سبب افزایش ۸۳ و ۲۴ درصدی فعالیت آنزیم CAT در Samurai و Jumilia شد (شکل ۷ ب). بیشترین فعالیت آنزیم POD در Samurai و Jumilia به ترتیب مربوط به تیمار ۵۰ و ٪۱۰۰ سیلیکات کلسیم بود که در مقایسه با شاهد مربوطه به ترتیب افزایش ۳۰/۷ و ۶۶ درصدی را نشان دادند (شکل ۷ ج). مشخص شده است مرگ گلبرگ‌ها با از دست دادن نفوذپذیری غشا، افزایش تنش اکسیداتیو و کاهش سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو همراه است (Tripathi & Tuteja, 2007). تنش اکسیداتیو با تولید بیش از حد ROS به اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌های یاخته ای و لیپیدهای غشاء حمله کرده و منجر به زوال غشاء و در نهایت مرگ یاخته می‌شوند (Torre *et al*., 1999). حتی در زمان متابولیسم طبیعی، ROS به عنوان یک محصول جانبی در فرآیندهای انتقال الکترون مانند نورساخت و تنفس تولید می‌شود (Dolatabadian *et al*., 2013). تجمع ROS برای سیستم نورساختی از جمله فتوسیستم دو، جذب کربن و ساختار کلروپلاست مضر است (Liu *et al*., 2015). در اصل تنش اکسیداتیو از عدم تعادل بین تولید ROSها و زدودن آن‌ها توسط سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه ناشی می‌شود. این ترکیبات با قسمت‌های مختلف یاخته ای واکنش داده و منجر به تخریب آنها می‌شوند. بنابراین، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی یک مکانیسم مهم در استراتژی دفاع یاخته ای در برابر استرس اکسیداتیو می‌باشد (Shi *et al*., 2006).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

مشخص شده است کلسیم، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در گیاه افزایش می‌دهد تا از تنش اکسیداتیو محافظت کند (Mahajan & Pal, 2020). بنابراین کلسیم علاوه بر نقشی که در سیستم نورساختی دارد با کاهش تنش اکسیداتیو در محافظت از سیستم نورساختی نیز نقش دارد که سبب افزایش فعالیت نورساختی می‌شود و در راستای یافته‌های این پژوهش است. نتایج پژوهش حاضر با گزارش (Sairam *et al*., 2011) که اظهار داشتند تیمار کلسیم با افزایش فعالیت APX ، CAT و SOD در گل‌های بریدنی گلایول سبب افزایش عمر گلجایی می‌شود، همراستا می باشد. SOD از آنزیم‌های فعال در مکانیسم دفاعی می‌باشد که رادیکال‌های سوپراکسید را به اکسیژن مولکولی و پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند همچنین پاکسازی پراکسید هیدروژن توسط CAT انجام می‌گیرد و از این طریق از دستگاه نورساختی در برابر تنش اکسیداتیو محافظت می‌کنند (Pospíšil, 2012). به‌طور کلی، تیمار سیلیکات کلسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های SOD و CAT و POD در کاهش اثرات تنش اکسیداتیو و محافظت از سیستم نورساختی در گل رز مشارکت دارد. بنابراین استفاده از کلسیم ضمن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای سم‌زدایی ROS توانایی گیاه برای افزایش عمر پس از برداشت را بهبود می‌بخشد.



شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز (الف)، کاتالاز (ب) و پراکسیداز (ج) رز رقم Samurai و Jumilia. بارهای عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ٪۵ با آزمون LSD هستند.

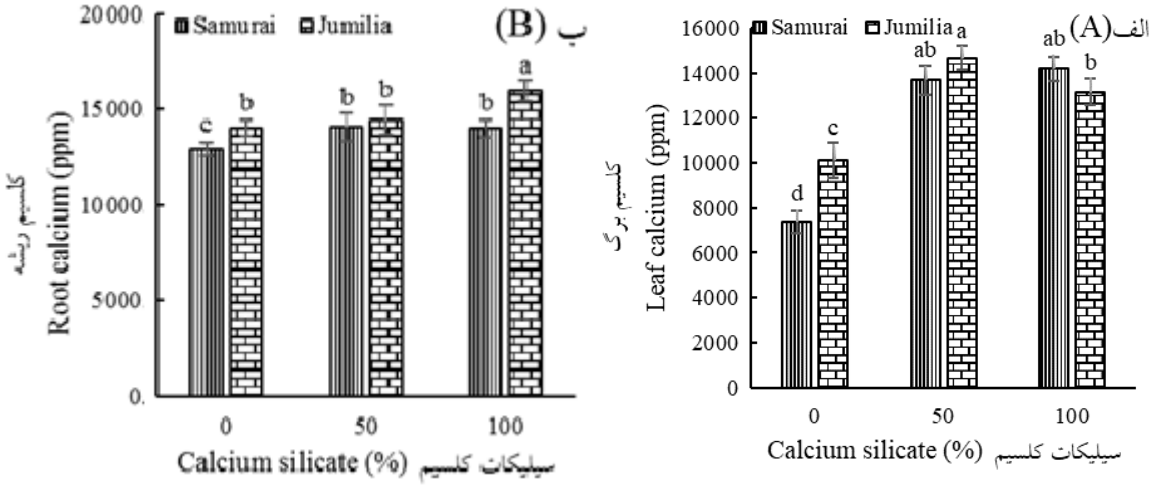
Figure 7- The effect of different concentrations of calcium silicate on the activity of superoxide dismutase enzymes (A), catalase (B), and peroxidase (C) of Samurai and Jumilia rose cultivars. The vertical bars represent the standard error of the mean. Columns sharing a common letter are not significantly different at $P \leq 5\%$ based on LSD test.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

کلسیم برگ و ریشه

محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم سبب افزایش معنی‌دار کلسیم برگ و ریشه در هر دو رقم رز شد، گرچه این افزایش در برگ چشمگیرتر بود (شکل ۸). بیشترین مقدار غلظت کلسیم برگ مربوط به کاربرد ۵۰٪ سیلیکات کلسیم در Jumilia بود که نسبت به شاهد مربوطه افزایش ۴۴/۸ درصدی را نشان داد (شکل ۸ الف). همچنین تیمار ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم در Samurai سبب افزایش ۹۲ درصدی غلظت کلسیم برگ در مقایسه با شاهد شد (شکل ۸ الف). غلظت کلسیم ریشه در Samurai و Jumilia به ترتیب در اثر محلول‌پاشی ۵۰ و ۱۰۰ درصدی سیلیکات کلسیم نسبت به تیمار شاهد مربوطه ۹/۱ و ۱۳/۸٪ افزایش یافت (شکل ۸ ب). کمترین غلظت کلسیم برگ و ریشه مربوط به تیمار شاهد Samurai بود (شکل ۸). هنگامی که مواد مغذی از طریق محلول‌پاشی استفاده می‌شوند، گیاهان می‌توانند به سرعت مواد غذایی را از بافت‌های برگ جذب کنند (Fageria *et al*., 2009). در کاهو محلول‌پاشی کلرید کلسیم منجر به افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم در برگ‌ها شد که با نتایج پژوهش فوق هم راستا است (Youssef *et al*., 2017). همچنین در پژوهشی دیگر تاثیر استفاده از منابع کلسیم در افزایش غلظت کلسیم در برگ و گلبرگ گل رز گزارش شده است (Banijamali *et al*., 2018). همچنین سیلیس در جذب و انتقال مواد مغذی بسیار مهم است و با بهبود رسانایی روزنه و افزایش جذب آب جذب کلسیم را افزایش می‌دهد (Tofighi Alikhani *et al*., 2021). تیمار گل‌های ژربرا با ۲۴۰ میلی‌گرم در لیتر کلات کلسیم و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات سیلیس غلظت کلسیم ریشه، ساقه و برگ را به ترتیب ۱/۹، ۲/۸ و ۲ برابر نسبت به شاهد افزایش داد (Tofighi Alikhani *et al*., 2021).



شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر غلظت کلسیم برگ (الف) و کلسیم ریشه (ب) رز رقم Samurai و Jumilia. بارهای عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ٪۵ با آزمون LSD هستند.

Figure 8- The effect of different concentrations of calcium silicate on the concentration of leaf calcium (A) and root calcium (B) of Samurai and Jumilia rose cultivars. The vertical bars represent the standard error of the mean.Columns sharing a common letter are not significantly different at $P \leq 5\%$ based on LSD test.

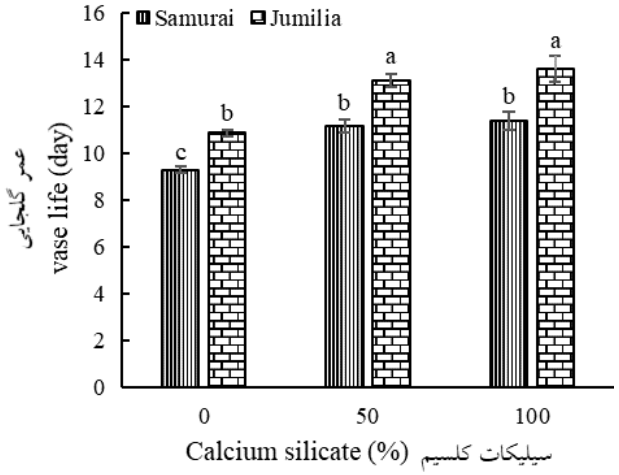
عمر گلجایی

محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم سبب افزایش عمر گلجایی رز شد. بیشترین بهبود عمر پس از برداشت با تیمار ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم در Jumilia رخ داد که در مقایسه با شاهد عمر گلجایی آن ۲/۷۴ روز افزایش یافت (شکل ۹). طولانی ترین عمر گلجایی (۱۱/۳۷ روز) مربوط به Samurai در تیمار ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم بود (شکل ۹). حداقل عمر گلجایی (۹/۲۸ روز) مربوط به تیمار شاهد Samurai بود (شکل ۹). یکی از عوامل کاهش عمر گلجایی در گل‌های بریده، عدم تامین کلسیم مورد نیاز گل است.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

بنابراین، می‌توان انتظار داشت در صورت تامین کافی کلسیم کیفیت مطلوب به دست آید. این نتایج با تحقیقات (Abdolmaleki *et al*., 2015) مطابقت دارد که گزارش کردند تیمار پیش از برداشت کلرید کلسیم، سبب کاهش آسیب به غشاهای یاخته ای در گل رز و افزایش ماندگاری آن‌ها می‌شود. همچنین (Aghdam *et al*., 2019) با بررسی تاثیر کلرید کلسیم پیش از برداشت روی گل بریدنی ژربرا نشان دادند که استفاده از کلرید کلسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و لیگنین ساقه، منجر به بهبود عارضه خمیدگی ساقه شد. آن‌ها گزارش کردند که در روز خمیدگی ساقه گل‌های شاهد، با استفاده از کلرید کلسیم برای ارقام رزالین و اینتنس به ترتیب عمر گلجایی ۹/۶۲ و ۱۰/۳۷ روز افزایش یافت. تامین متعادل کلسیم در گل رز در طول فصل رشد، ماندگاری و عمر پس از برداشت آن را بهبود بخشید. به‌طور کلی، افزایش عمر پس از برداشت ارقام رز را می‌توان با اثر مفید کلسیم بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیک و مشارکت کلسیم در حذف ROSها توصیف کرد. برای نمونه، تیمار کلسیم سبب افزایش ۳۴ درصدی عمر گلجایی در گل‌های رز رقم مرسدس بنز (Torre *et al*., 1999) و افزایش ۲۱ درصدی عمر گلجایی در گل‌های بریده زنبق شد (Zhang & Liao, 2018).

کلسیم روند پیری را به تاخیر می‌اندازد و با مکانیسم‌های مختلف باعث افزایش طول عمر گل می‌شود. اثر بازدارندگی کلسیم بر فعالیت ACC اکسیداز (Aminocyclopropane 1-carboxylic acid)، یکی از ساز و کارهایی است که باعث کاهش تولید اتیلن در گلبرگ‌ها می‌شود. همچنین، فعالیت پمپ پروتئین در غشای یاخته ای، افزایش وزن تر گل‌ها و استحکام دیواره یاخته ای، افزایش جذب آب و کاهش تنفس یاخته ای پس از برداشت از جمله این مکانیسم‌ها هستند (Tofighi Alikhani *et al*., 2021; Torre *et al*., 1999). افزون بر این، سیلیکون به دلیل اثر فزاینده‌ای که بر محتوای لیگنین دارد، ساقه را قوی‌تر می‌کند، به‌علاوه ساقه‌هایی با محتوای لیگنین بالاتر می‌توانند آب بیشتری جذب کنند (Vanholme *et al*., 2010) و از این طریق با کاهش خمش دمگل و حفظ رطوبت نسبی گلبرگ، سبب بهبود عمر پس از برداشت گل‌های بریدنی می‌شود. استفاده از سیلیکات کلسیم در پیش از برداشت با کاهش تولید اتیلن و تنفس، سبب بهبود عمر پس از برداشت گوجه فرنگی نسبت به تیمار شاهد شد (Coutinho *et al*., 2020). استفاده از ۶۰ میلی‌گرم در لیتر کلات کلسیم و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات سیلیس منجر به افزایش ۱/۵ برابری ماندگاری گل‌های ژربرا شد (Tofighi Alikhani *et al*., 2021).



شکل ۹- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر عمر گلجایی رز رقم Samurai و Jumilia. بارهای عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ٪۵ با آزمون LSD هستند.

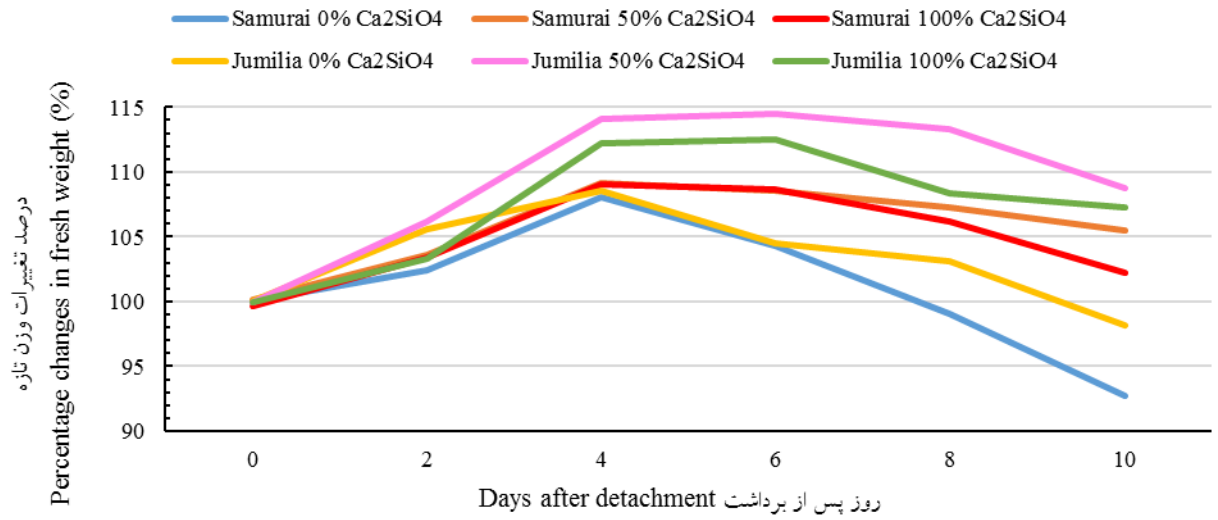
Figure 9- The effect of different concentrations of calcium silicate on the vase life of Samurai and Jumilia rose cultivars. The vertical bars represent the standard error of the mean. Columns sharing a common letter are not significantly different at P ≤ 5% based on LSD test.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

درصد تغییرات وزن تازه

سیلیکات کلسیم افزایش وزن تازه اولیه را افزایش داد و کاهش بعدی وزن تازه نسبی گل‌ها را به تاخیر انداخت (شکل ۱۰). بیشترین میزان افزایش وزن تازه در Samurai پس از چهار روز و در Jumilia پس از گذشت شش روز از زمان برداشت مشاهده شد که پس از آن وزن تازه اولیه شروع به کم شدن کرد که این کاهش در شاهد هر دو رقم شدیدتر بود (شکل ۱۰). موثرترین تیمار در افزایش وزن تازه اولیه پس از چهار روز در Samurai تیمار ۱۰۰٪ سیلیکات کلسیم بود که سبب افزایش ۹/۴ درصدی وزن تازه اولیه شد در حالی‌که در Jumilia موثرترین تیمار ۵۰٪ سیلیکات کلسیم بود که پس از شش روز سبب افزایش ۱۴/۶ درصدی وزن تازه اولیه شد. پس از ۱۰ روز، درصد کاهش وزن تازه گل‌های تیمار نشده بیشتر از سایرین بود که به کمتر از وزن اندازه‌گیری شده در زمان برداشت رسید (شکل ۱۰). کاهش وزن به دلیل جذب کمتر آب در گیاه می‌باشد به عبارتی دیگر با شروع مراحل پیری در گل‌های بریدنی توانایی جذب در آن‌ها کاهش می‌یابد و وزن آن‌ها شروع به کاهش می‌نماید (Aghdam *et al*., 2019). سیلیکون به‌دلیل رسوب به فضای بین یاخته ای سبب کاهش از دست‌دهی آب می‌شود (Cho *et al*., 2013) و کلسیم نیز با بهبود جریان آب افزایش وزن تازه اولیه را افزایش داده و کاهش بعدی وزن تازه گل‌های رز را به تاخیر می‌اندازد، در نتیجه سبب افزایش عمر پس از برداشت گل رز می‌شود که با نتایج (Torre *et al*., 1999) مبنی بر تاثیر تیمارهای کلسیم بر افزایش وزن تازه نسبی گل‌های بریدنی رز مطابقت دارد.



شکل ۱۰- اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر درصد تغییرات وزن تازه رز رقم Samurai و Jumilia.. ستون‌های دارای حرف مشترک فاقد تفاوت معنادار در سطح احتمال ٪۵ با آزمون LSD هستند.

Figure 10- The effect of different concentrations of calcium silicate on the percentage changes in fresh weight of Samurai and Jumilia rose cultivars. Columns sharing a common letter are not significantly different at P ≤ 5% based on LSD test.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که محلول‌پاشی با سیلیکات کلسیم به ویژه در غلظت ۱۰۰٪ باعث افزایش تعرق شده و منجر به افزایش جذب کلسیم توسط برگ‌های گل رز می‌شود که می‌تواند راه‌حلی مطلوب برای بهره‌مندی از مزایای نقش کلسیم در بهبود پارامترهای رشدی در ارقام Samurai و Jumilia گل رز باشد. محلول‌پاشی با سیلیکات کلسیم، مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی نظیر

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]
[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

SOD، CAT و POD را افزایش می‌دهد، که منجر به کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش سطح نورساخت می‌شود. به‌طور کلی، محلول‌پاشی پیش از برداشت ارقام Samurai و Jumilia گل رز با سیلیکات کلسیم، با افزایش فعالیت نورساختی، کیفیت گل رز تولید شده را بهبود می‌بخشد و با فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش درصد تغییرات وزن تازه رز Samurai و Jumilia، سبب افزایش عمر گلجایی می‌شود.

منابع

Abdalla, M. (2009). The response of *Dendranthema grandiflora*, Tzvelev, cv. Icecap plants to calcium silicate slag and DHT treatments. *Journal of Plant Production, 34*(6), 6781-6790 .

Abdolmaleki, M., Khosh, K. M., Eshghi, S., Ramezanian, A. (2015). Improvement in vase life of cut rose cv. Dolce Vita by preharvest foliar application of calcium chloride and salicylic acid. *International Journal of Horticultural Science and Technology, 2*(1), *55-66.*

Aghdam, M., Asil, M. H., Ghasemnezhad, M., Mirkalaei, S. M. (2019). Effects of pre-harvest applications of different source of calcium on the cell wall fractions and stem bending disorder of Gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) cultivar flowers. *Advances in Horticultural Science, 33*(1), 57-66 .

Aghdam, M. S., Hassanpouraghdam, M. B., Paliyath, G., Farmani, B. (2012). The language of calcium in postharvest life of fruits, vegetables and flowers. *Scientia Horticulturae, 144*, 102-115 .

Amor, F. D., Marcelis, L. (2003). Regulation of nutrient uptake, water uptake and growth under calcium starvation and recovery. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 78*(3), 343-349.

Baas, R., Van Oers, S., Silber, A., Bernstein, N., Ioffe, M., Keinan, M., Bar-Tal, A. (2003). Calcium distribution in cut roses as related to transpiration. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(1), 1-09.

Banijamali, S. M., Feizian, M., Bayat, H., Mirzaei, S. (2018). Effects of nitrogen forms and calcium amounts on growth and elemental concentration in *Rosa hybrida* cv. Vendentta. *Journal of Plant Nutrition, 41*(9), 1205-1213 .

Bauer, P., Elbaum, R., Weiss, I. M. (2011). Calcium and silicon mineralization in land plants: transport, structure and function. *Plant Science, 180*(6), 746-756 .

Chen, C., Lu, S., Chen, Y., Wang, Z., Niu, Y., Guo, Z. (2009). A gamma-ray–induced dwarf mutant from seeded bermudagrass and its physiological responses to drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 134*(1), 22-30 .

Cho, H. R., Joung, H. Y., Lim, K. B., Kim, K. S. (2013). Effect of calcium and silicate application on pathogenicity of Erwinia carotovora subsp. carotovora in Zantedeschia spp. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, *54*(4),364-371

Coutinho, P. W. R., de Moraes Echer, M., Braga, G. C., Guimarães, V. F., do Carmo Lana, M., Alves, T. N ,.Brito, T. S. (2020). Effect of pre-harvest calcium silicate on post-harvest quality of tomatoes. *Research, Society and Development, 9*(11), e74791110148-e74791110148 .

Coutinho, P. W. R., de Moraes Echer, M., Guimarães, V. F., do Carmo Lana, M., Alves, T .N., Inagaki, A. M. (2020). Productivity of tomato hybrids due to the application of calcium silicate. *Scientia Agraria Paranaensis*, 243-251.

Darras, A. (2021). Overview of the dynamic role of specialty cut flowers in the international cut flower market. *Horticulturae, 7*(3), 1-10.

Dolatabadian, A., Sanavy, S. A. M. M., Gholamhoseini, M., Joghan, A. K., Majdi, M., Kashkooli, A. B. (2013). The role of calcium in improving photosynthesis and related physiological and biochemical attributes of spring wheat subjected to simulated acid rain. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 19*, 189-198 .

Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 91*(1), 11-17 .

Fageria, N., Filho, M. B., Moreira, A., Guimarães, C. (2009). Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition, 32*(6), 1044-1064 .

Faroutine, G., Arteaga-Ramírez, R., Pineda-Pineda, J., Vázquez-Peña, M. A. (2023). Effect of calcium silicate and moisture content of the substrate on the growth and productivity parameters of cucumber. *Chilean Journal of Agricultural Research, 83*(3), 334-346 .

Haghighi, M., Khosravi, S., Sehar, S., Shamsi, I. H., (2023). Foliar-sprayed calcium-tryptophan mediated improvement in physio-biochemical attributes and nutritional profile of salt stressed Brassica oleracea var. italica. *Scientia Horticulturae*, 307, p.111529.

Halevy, A., Torre, S., Borochov, A., Porat, R., Friedman, H., Meir, S., Philosoph-Hadas, S. (2001). Calcium in regulation of postharvest life of flowers. *Acta Horticulturae*, 345-352 .

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

Hepler, P. K. (2005). Calcium: a central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell, 17*(8), 2142-2155 .

Kumar, S., Haripriya, K. (2010). Effect of foliar application of iron and zinc on growth flowering and yield of Nerium (*Nerium odorum* L.). *Plant Archives, 10*(2), 637-640 .

Liu, Y. F., Zhang, G. X., Qi, M. F., & Li, T. L. (2015). Effects of calcium on photosynthesis, antioxidant system, and chloroplast ultrastructure in tomato leaves under low night temperature stress. *Journal of Plant Growth Regulation, 34*, 263-273 .

Mahajan, M., Pal, P. K. (2020). Flower yield and chemical composition of essential oil from Rosa damascena under foliar application of Ca (NO3) 2 and seasonal variation. *Acta Physiologiae Plantarum* , *42*(2), 23-42.

Mobaraki, L., Rezapour Fard, J., Noruzi, P. (2023). Effects of pre-harvest application of calcium silicate and calcium chelate on some morpho-physiolocal parameters of cut rose (*Rosa hybrida*) cv. Dolce Vita. *Plant Process and Function*, *12* (57), 14.

Moradinezhad, F., Hassanpour, S., Sayyari, M. H. (2018). Influence of Pre harvest Spray of Calcium Chloride and Salicylic Acid on Physicochemical and Quality Properties of Fresh Seedless Barberry Fruit. *Journal of Horticultural Science*, *32*, 61-74.

Palta, J. P. (1996). Role of calcium in plant responses to stresses: linking basic research to the solution of practical problems. HortScience, 31(1), 51-57.

Pospíšil, P. (2012). Molecular mechanisms of production and scavenging of reactive oxygen species by photosystem II. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics, 1817*(1), 218-231 .

Sairam, R. K., Vasanthan, B., Arora, A. (2011). Calcium regulates Gladiolus flower senescence by influencing antioxidative enzymes activity. *Acta Physiologiae Plantarum, 33*, 1897-1904 .

Seydmohammadi, Z., Roein, Z., Rezvanipour, S. (2020). Accelerating the growth and flowering of Eustoma grandiflorum by foliar application of nano-ZnO and nano-$CaCO_3$. *Plant Physiology Reports, 25*, 140-148 .

Shams, M., Etemadi, N., Baninasab, B., Ramin, A. A., Khoshgoftarmanesh, A. H. (2012). Effect of boron and calcium on growth and quality of 'easy lover'cut rose. *Journal of Plant Nutrition, 35*(9), 1303-1313 .

Shi, Q., Bao, Z ,.Zhu, Z., Ying, Q., Qian, Q. (2006). Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulation, 48*, 127-135 .

Tofighi Alikhani, T., Tabatabaei, S. J., Mohammadi Torkashvand, A., Khalighi, A., Talei, D. (2021). 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*(7), 1039-1053 .

Torre, S., Borochov, A., Halevy, A. H. (1999). Calcium regulation of senescence in rose petals. *Physiologia Plantarum, 107*(2), 214-219 .

Tripathi, S. K., Tuteja, N. (2007). Integrated signaling in flower senescence: an overview. *Plant Signaling & Behavior, 2*(6), 437-445 .

Vanholme, R., Demedts, B., Morreel, K., Ralph, J., Boerjan, W. (2010). Lignin biosynthesis and structure. *Plant Physiology, 153*(3), 895-905 .

Verdonk, J. C., van Ieperen, W., Carvalho, D. R., van Geest, G., Schouten, R. E. (2023). Effect of preharvest conditions on cut-flower quality. *Frontiers in Plant Science, 14*, 1281456 .

Volpin, H., Elad, Y. (1991). Influence of calcium nutrition on susceptibility of rose flowers to Botrytis blight. *Phytopathology, 81*(11), 1390-1394 .

Wang, G., Wang, J., Han, X., Chen, R., Xue, X. (2022). Effects of spraying calcium fertilizer on photosynthesis, mineral content, sugar–acid metabolism and fruit quality of Fuji apples. *Agronomy*, *12*(10), 2548- 2563.

Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q., Guo, S. (2017). Role of silicon on plant–pathogen interactions. *Frontiers in Plant Science, 8*, 255703 .

Wang, Q., Yang, S., Wan, S., Li ,X. (2019). The significance of calcium in photosynthesis. *International Journal of Molecular Sciences, 20*(6), 1353 .

Wei, L., Wang, C., Liao, W. (2021). Hydrogen sulfide improves the vase life and quality of cut roses and chrysanthemums. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-16 .

Youssef, S., Abd Elhady, S. A. E., Abu El-Azm, N. A. I., El-Shinawy, M. Z. (2017). Foliar application of salicylic acid and calcium chloride enhances growth and productivity of lettuce (*Lactuca sativa*). *Egyptian Journal of Horticulture, 44*(1), 1-16 .

Zhang, J., Liao, W. (2018). Involvement of calcium and calmodulin in nitric oxide-regulated senescence of cut lily flowers. *Frontiers in Plant Science, 9*, 398079 .

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]

Flower and Ornamental Plants (2025), 10(1): 99-116
Research article

Effect of foliar spray with different concentrations of calcium silicate on the performance and quality of two cut rose cultivars

Saeed Khosravi[1], Ali Tehranifar*[1], Yahya Selahvarzi[1], Amir Hossein Khoshgoftarmanesh[2], Leyla Cheheltanan[1]

1. Department of Horticultural Science and Landscape, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad
2. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan

tehranifar@um.ac.ir

Received: 2024/03/19, Revised: 2024/09/07, Accepted: 2024/09/09

Abstract

Roses are among the most important cut flowers worldwide. Nutrients play an important role in improving the performance and quality of cut flowers, including roses. Therefore, this research was designed to evaluate the effect of pre-harvest foliar spray with different concentrations of calcium silicate on the growth and vase life of rose flowers. For this purpose, an experimental trial was conducted in a factorial experiment based on a randomized complete design with two factors: different concentrations of calcium silicate (0%, 50%, and 100%) applied to two popular rose cultivars, Samurai and Jumilia, with 6 replications. The results indicated that foliar application of calcium silicate had a significant effect on improving flower diameter and stem diameter in the Jumilia and Samurai cultivars. Additionally, stem length in the Jumilia cultivar and leaf area in the Samurai cultivar were influenced by calcium silicate at 100%, but calcium silicate did not have a significant effect on the dry weight to fresh weight ratio of stems and roots in rose cultivars. The foliar application of 100% calcium silicate solution in the Jumilia cultivar resulted in a 3.32% increase in the number of flower branches. The rate of photosynthesis and transpiration significantly increased in Jumilia and Samurai cultivars treated with calcium silicate compared to the control. However, there was no significant difference between the two concentrations of 50% and 100% calcium silicate. Foliar application of calcium silicate led to a significant increase in calcium concentration in the leaves and roots of Jumilia and Samurai cultivars. This increase was 30% and 13.8%, respectively, for the Jumilia cultivar and 92% and 8.5%, for the Samurai cultivar when using 100% calcium silicate concentration compared to the corresponding control treatment. Calcium silicate caused an increase in the activity of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in Jumilia and Samurai cultivars. Additionally, in the Samurai cultivar, the activity levels of superoxide dismutase and peroxidase enzymes did not differ significantly between the 50% and 100% calcium silicate concentrations. Calcium silicate at a concentration of 100% resulted in a 22.5% and 28.4% increase in vase life in Samurai and Jumilia cultivars, respectively. However, there was no significant difference between the two concentrations of 50% and 100% calcium silicate. The application of 100% calcium silicate increased vase life by 22.5% and 28.4% in Samurai and Jamila cultivars, respectively. This treatment enhanced the fresh weight of harvested flowers and delayed its subsequent decline, whereas in the control, after 10 days, the flower weight dropped below the initial value at harvest.

Keywords: Antioxidant enzymes, calcium, photosynthesis, rose.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-12-31]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.99]