گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۲)، ۸(۲): ۲۰۱-۲۱۶
مقاله پژوهشی

اثرهای سیلیکون بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش خمیدگی گل بریدنی ژربرا

(*Gerbera jamesonii* Bolus)

جواد صادقی[۱]، همایون فرهمند [۱، ۲]، فاطمه نصیبی[۳]، روح اله عبدالشاهی[۴]

۱. بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
۲. بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز
۳. بخش زیست شناسی، دانشکده علوم. دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
۴. بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان
hfarahmand@uk.ac.ir, h.farahmand@shirazu.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۲۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۸

چکیده

صنعت گل بریدنی از اهمیتِ اقتصادیِ بالایی در سطح جهان برخوردار است. ژربرا، یکی از محبوب‌ترین گل‌های بریدنی در ایران و جهان است و بهبود عمر پس از برداشت آن، اهمیت زیادی دارد. خمیدگی ساقه در اولین مراحل عمر گلجایی، یکی از مشکلات اساسی در بسیاری از رقم‌های این گل است. در این پژوهش، سیلیکون به‌عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدان در غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار استفاده شد و اثرهای آن بر برخی شاخص‌های اکسیداتیو، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) و پلی فنول اکسیداز (PPO) در سه رقم ژربرا Rosalin، Apollo و Stanza ، بررسی شد. مطالعات بافت‌شناسی نیز با برش دستی و میکروسکوپ نوری انجام شد. کاربرد سیلیکون، عمر گلجایی را در هر سه رقم ژربرا افزایش داد. کمترین عمر گلجایی (٦ روز) در رقم Stanza، بدون کاربرد سیلیکون و بیشترین عمر گلجایی (۱۷/۳۳ روز) در رقم Rosalin و با کاربرد سیلیکون ۱۰۰۰ میکرومولار به دست آمد. همچنین، افزایش معنی‌دار در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و PAL دیده شد، درحالی‌که فعالیت PPO و پراکسیداسیون لیپیدها به میزان معنی‌داری کاهش یافت. به نظر می‌رسد که سیلیکون با رُبایش رادیکال‌های آزاد، حفظ یکپارچگی غشاء، کاهش فعالیت آنزیم PPO و افزایش بافت‌های استحکامی و آوندی، سبب بهبود کیفیت پس از برداشت گل ژربرا می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ژربرا، عمرگلجایی، کیفیت پس ازبرداشت.

مقدمه

صنعت گیاهان زینتی و گل بریدنی در سطح جهان، از دیدگاه اقتصادی و اشتغال‌زایی مهم است و بیش از ۹۰ کشور جهان در این صنعت نقش دارند به‌گونه‌ای که سالیانه ارزشی برابر با ۳۰۰ میلیارد دلار دارد (Darras, 2021; Meir & Philosoph-Hadas,

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]
[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

(2021. ژربرا[1] گیاهی زینتی از تیره میناسانان[2] است که بومی جنوب آفریقا، ماداگاسکار، آسیا و اندونزی بوده و دارای حدود ۳۰ گونه می‌باشد (Manning *et al*., 2016). ژربرا، یکی از ۵ گل مهم بریدنی جهان است که گردش مالی بزرگی را در صنعت گیاهان زینتی به خود اختصاص داده است (Zhao *et al*., 2020). ارزش زیباشناختی ژربرا به دلیل گلبرگ‌های حاشیه‌ای زیبای آن بوده که دارای دامنه‌ای از رنگ‌ها مانند زرد، سفید، بنفش، نارنجی، قرمز و صورتی می‌باشد (Dole & Wilkins, 2011). گل ژربرا از گل‌های بریدنی محبوب بازار ایران است و پژوهش‌های گوناگونی که در چند سال گذشته روی کیفیت پس ازبرداشت آن انجام شده است، اهمیت این گل را نشان می‌دهد (Mirzaei *et al*., 2019, Abbasi *et al*., 2018, Sadeghi Feragheh *et al*., 2015). یکی از چالش‌های عمده گل‌های بریدنی ژربرا، خمیدگی ساقه گل است که باعث اختلال در روابط آبی و تشدید روند پیری می‌گردد (Kumari *et al*., 2022). در ابتدا، این فرضیه وجود داشت که علت خمیدگی ساقه گل‌ها، نیروی جاذبه و سنگینی گل‌آذین است اما ازآنجایی‌که پدیده خمیدگی در تمام رقم ها دیده نشد، این فرضیه منتفی شد و پژوهشگران متوجه شدند که عوامل دیگری به‌جز وزن گل‌آذین، بر خمیدگی ساقه تأثیر دارد (Perik *et al*., 2012).

پژوهش‌های سال‌های گذشته بیانگر این است که عوامل گوناگونی مانند نبود یا کمبود استحکام مکانیکی، بسته شدن آوندی، طویل شدن ساقه و کمبود بافت‌های استحکامی مانند اسکلرانشیم و لیگنین، در خمیدگی ساقه گل‌ها نقش دارند. همچنین، گزارش‌شده است که با جلوگیری از رشد باکتری‌ها در محلول گلجای، عمر گلجایی افزایش و خمیدگی ساقه‌ها نیز کاهش‌یافته است (Li *et al*., 2009)، اگرچه گزارش‌های متناقضی در این زمینه وجود دارد (Witt *et al*., 2014)، اما به‌تازگی ارتباط بین باکتری‌ها و خمیدگی ساقه گل دهنده ژربرا، به‌شدت وابسته به رقم گزارش‌شده است (Schouten *et al*., 2018). خمیدگی گردن در گل‌های بریدنی دیگری مانند ورد یا رُز نیز یکی از عوامل کاهش کیفیت پس از برداشت است (Fazli *et al*., 2020).

سیلیکون[3] به‌عنوان یک عنصر مؤثر در گیاه در شرایط تنش‌های زیستی و غیر زیستی شناخته‌شده است (Liang *et al*., 2007). وظایف اصلی سیلیکون در گیاه را می‌توان به سه دسته ساختاری، فیزیولوژیکی و حفاظتی تقسیم‌بندی کرد (Hansen *et al*., 1976). سیلیکون به دلیل کارکردهای گوناگون در رشد و نمو گیاهان، کاربردهای متفاوتی در صنعت گیاهان زینتی دارد. این عنصر سبب افزایش عمر گلجایی و کیفیت ظاهری گل‌های بریدنی و همچنین افزایش دوره گلدهی گیاهان گلدانی می‌شود (Kumari *et al*., 2022). کاربرد پیش و پس از برداشت سیلیکون، سبب افزایش عمر گلجایی (Aghajani & Jafarpour, 2016) و همچنین افزایش ضخامت ساقه‌های گل‌دهنده (Kamenidou *et al*., 2010) در گل بریدنی ژربرا شده است. افزون بر این، کاربرد هم‌زمان اسید سالیسیلیک و سیلیکون پیش از برداشت، سبب افزایش استحکام ساقه در گل بریدنی ژربرا شد (Babalar *et al*., 2016). اثر مثبت کاربرد تغذیه‌ای و پس از برداشت سیلیسیوم روی ماندگاری گل ژربرا توسط ادریسی و همکاران (۱۳۹۸) نیز گزارش‌شده است. کاربرد سیلیکون باعث افزایش کیفیت پس از برداشت در گل صدتومانی[4] (Song *et al*., 2021, Zhao *et al*., 2012) و گل لیسیانتوس[5](Kamiab *et al*., 2017) شده است. در گل بریدنی نرگس، غلظت ۵ میلی مولار سیلیکون سبب افزایش کیفیت پس از برداشت و عمر گلجایی شد (Bayat & Aminifard, 2018).

۱- Transvaal daisy, Barberton daisy, African daisy (*Gerbera jamesonii* Bolus)
۲- Asteraceae
۳- Silicon
۴- *Paeonia lactiflora* Pall.
۵- *Euostoma grandiflora* cv. Echo

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

ژربرا یکی از گل‌های بریدنی مهم جهان است و در ایران نیز از گل‌های محبوب مصرف‌کنندگان است که دارای عمر گلجایی به نسبت کوتاهی است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر آنتی‌اکسیدانی سیلیکون بر عمر گلجایی در سه رقم ژربرا Stanza، Rosalin و Apollo بود. در این پژوهش، اثر سیلیکون در کاهش خمیدگی گل ژربرا از لحاظ بافت‌شناسی و ساختاری نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با ۳ تیمار و ۳ تکرار در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. شاخه‌های گل بریدنی ژربرا که ۳۰ سانتی‌متر طول داشتند پس از برش در ۲ غلظت سیلیکون (۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار) قرار گرفتند. یک ظرف حاوی آب مقطر نیز به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در هر تیمار، ٦ شاخه گل در ظروف حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر از محلول قرار گرفتند. سه‌شاخه گل برای بررسی‌های بیوشیمیایی و سه‌شاخه گل برای بررسی عمر گلجایی، در نظر گرفته شد.

عمر گلجایی

زمانی که گل‌های شاهد پژمرده شدند و بازارپسندی خود را از دست دادند، به‌عنوان پایان عمر گلجایی گل‌های شاهد در نظر گرفته شد. در این زمان از گل‌های شاهد و تحت تیمار برای اندازه‌گیری پارامترهای بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های مورد نظر، نمونه‌برداری شد. بقیه شاخه‌ها تا پایان عمر گلجایی آن‌ها، نگهداری شدند. پایان عمر گلجایی زمانی در نظر گرفته شد که گلبرگ‌های گل پژمرده شدند و ارزش بازارپسندی خود را از دست دادند.

اندازه‌گیری پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی

اندازه‌گیری غلظت مالون دی آلدهید (MDA) به روش(Heath & Packer,1969) انجام شد. طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت گلبرگ در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک (TCA) ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه در g ×۱۰۰۰۰ سانتریفوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفوژ، ۵ میلی‌لیتر محلول TCA ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد اسید تیوباربیتوریک (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس حمام آب گرم حرارت داده شد. سپس بلافاصله در حمام یخ سرد گردید و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه درg×۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده موردنظر در این طول‌موج کمپلکس قرمزرنگ MDA-TBA است. جذب بقیه‌ی رنگیزه‌های غیراختصاصی در ٦۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر شد. برای محاسبه MDA از ضریب خاموشی معادل$mM^{-1}\ Cm^{-1}$ ۱۰۵ × ۱۵۵ استفاده شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری برحسب میکرومول برگرم وزن تر محاسبه و ارائه گردید.

اندازه‌گیری میزان پراکسید هیدروژن (H_2O_2)

مقدار پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش H_2O_2 با پتاسیم یدید (KI) و با روش(Alexieva, 2001) انجام شد. در این روش، ۰/۲گرم از بافت گلبرگ در ۳ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید (TCA)۰/۱ درصد سرد سائیده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵دقیقه در g×۵۰۰۰ سانتریفیوژگردید. سپس به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره رویی، ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات‌پتاسیم ۱۰۰mM(pH=۷) و دو میلی‌لیتر پتاسیم یدید یک مولار اضافه گردید. مخلوط واکنش به مدت یک ساعت در تاریکی در دمای اتاق قرار داده شد و سپس جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر، اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت پراکسید

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

هیدروژن از منحنی استاندارد استفاده شد. برای رسم منحنی استاندارد غلظت‌های ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار پراکسید هیدروژن تهیه شد و منحنی جذب برحسب غلظت، رسم و غلظت پراکسید هیدروژن برحسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه و گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم‌ها

تهیه عصاره پروتئینی

۵۰۰ میلی‌گرم از بافت تازه گلبرگ در ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (pH=۷/۵) که حاوی پلی‌وینیل‌پیرولیدین (PVP) یک درصد و EDTA یک میلی‌مولار بود، سائیده شد. تمام مراحل استخراج در یخ انجام گرفت. سپس عصاره‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در ۵۰۰۰×g و در دمای ٤ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند. از محلول شفاف رویی برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها استفاده گردید (Gapinska *et al*., 2008).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

سنجش فعالیت کاتالاز بر اساس کاهش جذب آب‌اکسیژنه در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر صورت گرفت (Dhindsa *et al*., 1981). مخلوط واکنش (۳ میلی‌لیتر) شامل بافر پتاسیم‌فسفات ۵۰ میلی‌مولار، آب‌اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. با افزودن آب‌اکسیژنه به مخلوط واکنش، واکنش آغاز شد و کاهش در جذب آب‌اکسیژنه در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. منحنی تغییرات جذب به مدت یک دقیقه با فواصل ۳۰ ثانیه‌ای ثبت شد برای محاسبه واحد آنزیمی، از ضریب خاموشی معادل $٤۰ mM^{-1} Cm^{-1}$ استفاده شد.

سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX)

در این روش، مخلوط واکنش حاوی بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار (pH =۷)، آسکوربات ۰/۵ میلی مولار، آب‌اکسیژنه ۰/۱ میلی مولار و ۱۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت آسکوربات بر اساس اکسیداسیون اسید آسکوربیک و کاهش در جذب، در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر به مدت دو دقیقه (با فواصل ۳۰ ثانیه‌ای) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه واحد آنزیمی، از ضریب خاموشی معادل $۲/۸ mM^{-1} cm^{-1}$ استفاده شد (Nakano & Asada, 1981).

سنجش فعالیت گایاکول پراکسیداز (GPX)

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با استفاده از پیش ماده گایاکول اندازه‌گیری شد. در این روش سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی ۲/۷۷ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۱۰۰ میکرولیتر آب‌اکسیژنه یک درصد، ۱۰۰ میکرولیتر گایاکول دو درصد و ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. افزایش جذب به دلیل اکسیداسیون گایاکول در طول‌موج ٤۷۰ نانومتر به مدت سه دقیقه (با فواصل ٦۰ ثانیه‌ای) اندازه‌گیری شد. مقدار تتراگایاکول تولیدشده با استفاده از ضریب خاموشی معادل $mM^{-1} Cm^{-1}$ ۲۵/۵ محاسبه گردید(Plewa *et al*., 1991).

سنجش فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO)

در این روش از پیروگالل به‌عنوان پیش ماده آنزیم استفاده شد. در این واکنش مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۲۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ٤۲۰ نانومتر با فواصل یک‌دقیقه‌ای خوانده شد و جذب بعد از سه دقیقه که بیشترین جذب بود گزارش شد. ضریب

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

خاموشی استفاده‌شده برای محاسبه واحد آنزیمی معادل $6/2 mM^{-1} Cm^{-1}$ بوده است (Kar & Mishra, 1996). فعالیت آنزیم بر اساس شدت رنگ نارنجی پورپوروگالین تولیدشده پس از افزودن پیروگالل اندازه‌گیری شد. ضریب خاموشی استفاده‌شده برای محاسبه واحد آنزیمی معادل $6/2 mM^{-1} Cm^{-1}$ بوده است (Kar & Mishra, 1996).

سنجش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL)

در این روش، یک میلی‌لیتر بافر استخراج، ۰/۵ میلی‌لیتر فنیل آلانین ۱۰ میلی‌مولار، ۰/٤ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شدند و به مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس نگهداری شدند. واکنش با اضافه کردن ۰/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ٦ مولار متوقف شد و جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۲٦۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Dcunha *et al.*, 1996). برای محاسبه اسید سینامیک تولید شده، از منحنی استاندارد اسید سینامیک استفاده شد.

سنجش مقدار پروتئین کل

برای سنجش غلظت پروتئین، به لوله‌های آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر معرف بیوره، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی افزوده شد و سریعاً ورتکس گردید. پس از ۵ دقیقه جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین محاسبه گردید (Bradford, 1976). (به‌منظور تهیه معرف بیوره، ۰/۱ گرم کوماسی بریلیانت بلو G250 در ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ به‌مدت یک ساعت حل گردید. سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید فسفوریک ۸۵٪ قطره قطره به آن افزوده شد. در پایان حجم کل محلول به کمک آب مقطر به یک لیتر رسانده شد، محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف گردید).

واکاوی آماری

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. داده‌های پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار SAS آنالیز شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ و ۱ درصد، مقایسه شدند.

بررسی تشریحی و بافت‌شناسی ساقه گل ژربرا در گل‌های شاهد و تیمار سیلیکون

برای بررسی ساختاری بافت ساقه، برش گیری به روش دستی و با استفاده از تیغ در زیر میکروسکوپ نوری تشریح (استریو میکروسکوپ) انجام گرفت. برش‌های عرضی بسیار نازک و یکدست تهیه و در آب مقطر قرار داده شدند. سپس برای حذف محتویات یاخته به مدت ۳ دقیقه در آب‌ژاول ٪۵ قرار داده شدند و بعد از آن با آب مقطر شستشو شدند. نمونه‌های آماده‌شده با روش رنگ‌آمیزی مضاعف با سبز متیل و قرمز کنگو رنگ‌آمیزی شدند. نمونه‌های رنگ‌آمیزی شده روی لام قرار گرفتند. پس از چسباندن با یک قطره گلیسیرین و گذاشتن لامل، با میکروسکوپ نوری بررسی و از نمونه‌ها عکس‌برداری شد.

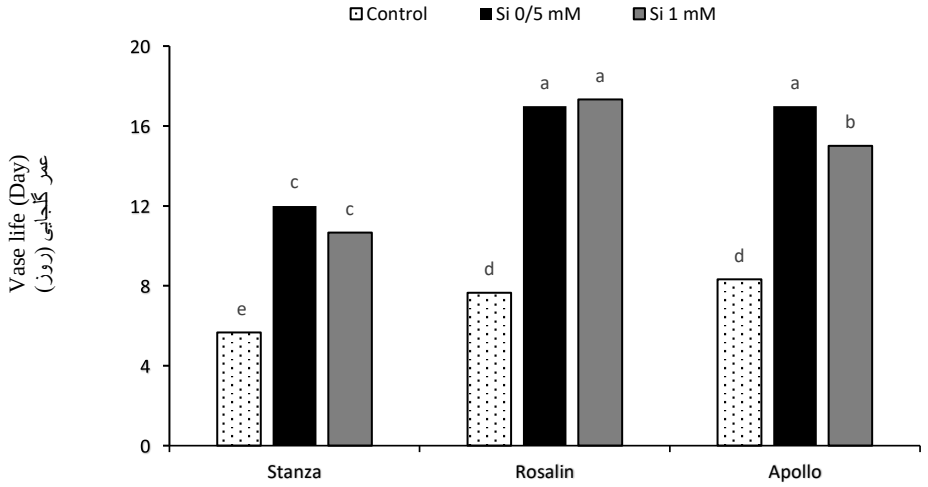
نتایج و بحث

تأثیر سیلیکون بر عمرگلجایی رنگ‌های متفاوت گل ژربرا

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، اثر ساده سیلیکون، رقم و سطوح سیلیکون بر عمر گلجایی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. کمترین عمر گلجایی در رقم Stanza، بدون کاربرد سیلیکون حدود ٦ روز و بیشترین عمر گلجایی در Rosalin و با کاربرد سیلیکون ۱۰۰۰ میکرومولار به میزان ۱۷/۳۳ روز به دست آمد (شکل ۱).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]



شکل ۱- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر عمر گلجایی گل ژربرا. میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P<0.05$ به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه، از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 1. The interaction of silicon levels and cultivar on *Gerbera* vase life. Means were compared with Duncan's test. $P<0.05$ was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters are not statistically different.

فرایند پیری تنش‌زا بوده و عامل اصلی کاهش عمر گلجایی در گل‌های بریدنی است (Kumari *et al*., 2022). کند کردن این فرآیند و افزایش عمر گلجایی گل‌های شاخه بریده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فرآیند پیری، نتیجه یک سری تغییرات فیزیولوژیک و متابولیکی است که سرانجام به مرگ یاخته، اندام و یا موجود زنده می‌انجامد. ازلحاظ تغییرات متابولیک، پیری در اثر انجام فرآیندهای اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن، اتفاق می‌افتد (Ohe *et al*., 2005). مهم‌ترین نقش سیلیس، افزایش مقاومت گیاه به بیماری‌ها به علت افزایش مقاومت دیواره یاخته‌ای می‌باشد. سیلیس توسط گیاه جذب و با پکتین و کلسیم در دیواره یاخته‌ای ترکیب می‌شود. بیشترین میزان سیلیس در گیاهان، در بافت اپیدرمی تجمع می‌یابد و به بافت مقاومت بیشتری در برابر بیماری‌ها می‌دهد که مانع نفوذ قارچ‌ها می‌شود. در این بررسی، عمرگلجایی در سیلیکون ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار افزایش یافت که اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت و بیشترین عمرگلجایی در سیلیکون ۱۰۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۱). نتایج این پژوهش با یافته‌های پیشین که اثر مثبت سیلیکون بر عمر گلجایی را گزارش کرده‌اند، همسو می‌باشد (Kumari *et al*., 2022; Edrisi *et al*., 2021; Babalar *et al*., 2016).

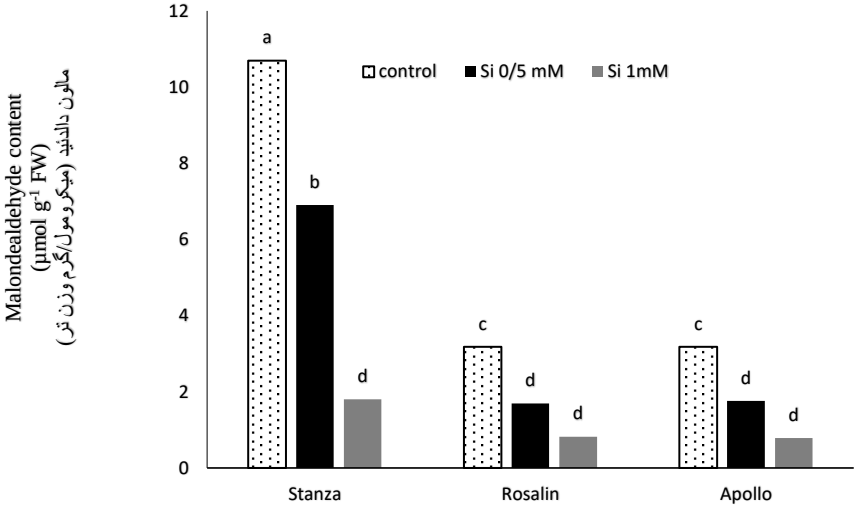
تأثیر سیلیکون بر میزان مالون دی آلدهید رقم های متفاوت گل ژربرا

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، اثر ساده سیلیکون، رقم و برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم در سطح یک درصد، بر مقدار مالون دی آلدهید معنی‌دار شد. بیشترین مقدار مالون دی آلدهید در رقم Stanza و بدون کاربرد سیلیکون به میزان ۹/۲۲ میکرو مول بر گرم وزن تر و کمترین مقدار آن در رقم Rosalin همراه با کاربرد ۱۰۰۰ میکرومولار سیلیکون، مشاهده شد.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

کاربرد سیلیکون در رقم Rosalin اگرچه مالون دی آلدهید را کاهش داد اما از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، رقم Rosalin ژربرا نسبت به رقم Stanza و Apollo، مالون دی آلدئید کمتری داشت.



شکل ۲- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر میزان مالون دی آلدهید گل ژربرا. میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. *P*<0.05 به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 2. The interaction of silicon levels and cultivar on malondialdehyde in *Gerbera.* Means were compared with Duncan's test. *P*<0.05 was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters, are not statistically different.

در این مطالعه، افزایش عمر گلجایی با کاهش پراکسیداسیون لیپید در تیمارهای مختلف همراه بود. در تیمارهایی که عمر گلجایی افزایش یافت، میزان مالون دی آلدهید کاهش نشان داد و همواره یک همبستگی منفی میان این دو عامل در تیمارها دیده شد. کاهش میزان مالون دی آلدهید بیانگر استحکام و یکپارچگی بیشتر غشاهای یاخته‌ای است. به نظر می‌رسد که غلظت‌های مختلف به‌کاررفته با کاهش پراکسیداسیون لیپید و حفظ یکپارچگی غشاء، عمر گلجایی را افزایش داده‌اند. این نتایج با یافته‌های گزارش‌شده در مورد لیسیانتوس (Kazemi *et al*., 2012a)، میخک (Kazemi*et al*., 2012b) و رز (Reezi *et al*., 2009)، همسو می‌باشد.

تاثیرسیلیکون بر میزان پراکسید هیدروژن رقم های متفاوت گل ژربرا

اثر ساده سیلیکون و رقم بر مقدار هیدروژن پر اکسید (H_2O_2) معنی‌دار شد، اما برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود. کاربرد سیلیکون ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار به ترتیب سبب کاهش H_2O_2 به میزان ۴۲ و ٤٤ درصد نسبت به شاهد شد، اگرچه ازلحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین سطوح سیلیکون دیده نشد (جدول ۱). همچنین، رقم های Apollo و Rosalin ژربرا نسبت به رقم Stanza به ترتیب ۳۲ و ۱۳ درصد کاهش H_2O_2 را نشان دادند، درصورتی‌که از لحاظ آماری میزان H_2O_2 در گل ژربرای Stanza و Rosalin تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۲).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

تاثیرسیلیکون بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز(APX) رقم های متفاوت گل ژربرا

در این پژوهش، اثر ساده سیلیکون و رقم بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار شد، اما برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر این صفت معنی‌دار نشد. کاربرد سیلیکون با غلظت ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار، سبب افزایش فعالیت این آنزیم به ترتیب به میزان ۲٤ و ٤۰ درصد نسبت به شاهد شد (جدول ۱). فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در رقم های Apollo و Rosalin به ترتیب ٤۷ و ٤۸ درصد بیشتر از Stanza بود (جدول ۲).

جدول ۱- مقادیر میانگین صفات بیوشیمیایی ارزیابی‌شده گل بریدنی ژربرا با کاربرد سیلیکون.

Table 1. The means of biochemical traits assessed in *Gerbera* cut flower using silicon.

GPX Activity (Unit mg^{-1} protein) فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (واحد فعالیت آنزیم بر گرم پروتئین)	APX Activity (Unit mg^{-1} protein) فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (واحد فعالیت آنزیم بر گرم پروتئین)	Hydrogen peroxide (µmol g^{-1} FW) پراکسید هیدروژن (میکرومول در گرم وزن تر)	Silicon (Micromolar) سیلیس (میکرومولار)
0.55 a	3.64c	1.65a	0
0.71a	4.81b	0.95b	Si (500)
0.67a	6.1a	0.92b	Si (1000)

*در هر ستون میانگین‌هایی که داری حرف یا حروف مشترک هستند ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Means followed the same letter in each column are not significantly different at 5 %, using DMRT.

جدول ۲- مقادیر میانگین صفات بیوشیمیایی ارزیابی‌شده رقم های Stanza، Rosalin و Apollo گل بریدنی ژربرا.

Table 2. The means of biochemical traits assessed in Stanza, Rosalin and Apollo *Gerbera* cultivars.

GPX Activity (Unit mg^{-1} protein) فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (واحد فعالیت آنزیم بر گرم پروتئین)	APX Activity (Unit mg^{-1} protein) فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (واحد فعالیت آنزیم بر گرم پروتئین)	Hydrogen peroxide (µmol g^{-1} FW) پراکسید هیدروژن (میکرومول در گرم وزن تر)	Cultivars
0.31b	3.01b	1.37a	Stanza
1.81a	5.81a	1.18a	Rosalin
0.41b	5.72a	0.93b	Apollo

* در هر ستون، میانگین‌هایی که داری حرف یا حروف مشترک هستند، ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Means followed the same letter in each column, are not significantly different at 5 %, using DMRT.

تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز(GPX) رقم های متفاوت گل ژربرا

با توجه به نتایج این پژوهش، تنها اثر ساده رقم ژربرا بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی‌دار شد. بیشترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در رنگ Rosalin (۱/۱۸ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) و کمترین مقدار فعالیت این آنزیم در رقم Stanza (۰/۳۱ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) دیده شد (جدول ۲). تیمار سیلیکون هیچ اثر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز نداشت (جدول ۱).

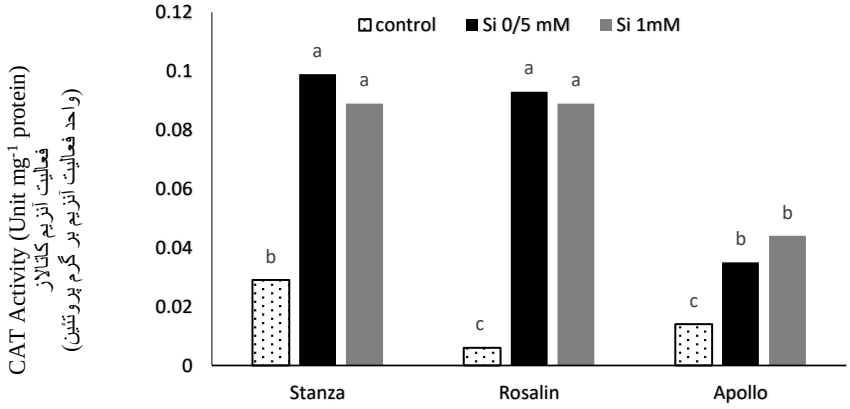
[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

در این پژوهش برای بررسی نقش سیلیکون به‌کاررفته بر سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی گیاه، فعالیت آنزیم‌های CAT، GPX و APX اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تمام تیمارهایی که عمر گل‌جایی نسبت به شاهد افزایش‌یافته است، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان CAT و APX نیز افزایش نشان می‌دهند که بیانگر نقش سیلیس در القاء فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و جلوگیری از صدمات اکسیداتیو ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد در این شرایط است. البته به نظر می‌رسد که سیلیکون نقش آنتی‌اکسیدانی خود را از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های APX و CAT ایفا نموده و بر فعالیت آنزیم GPX تأثیر معنی‌داری ندارد. گزارش‌شده است که سیلیکون با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان گیاهان، خسارت‌های ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) را که به‌وسیله تنش‌های مختلف افزایش پیداکرده است، کاهش داده است.

تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) رنگ‌های متفاوت گل ژربرا

در این پژوهش برهمکنش رنگ و سطوح سیلیکون بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار شد به‌گونه‌ای که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم Stanza ژربرا همراه با کاربرد سیلیکون ۵۰۰ میکرومولار به میزان ۰/۰۹۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین و کمترین مقدار آن در رقم Rosalin و بدون کاربرد سیلیکون به میزان ۰/۰۰۷واحد بر میلی‌گرم پروتئین مشاهده گردید. اگرچه ازلحاظ آماری در رقم Rosalin و Stanza سطوح سیلیکون باهم تفاوت معنی‌داری نداشت، اما نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (شکل ۳). کاتالاز آنزیمی است که همبستگی منفی با H_2O_2 دارد و باعث حذف پراکسید هیدروژن در یاخته‌ها می‌شود (Shigeoka *et al*., 2002).



شکل۳- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گل ژربرا. میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. *P*<0.05 به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 3. The interaction of silicon levels and cultivar on catalase activity in *Gerbera*. Means were compared with Duncan's test. *P*<0.05 was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters are not statistically different.

تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم PAL در رقم های متفاوت گل ژربرا

در این آزمایش برهمکنش سیلیکون و رقم بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز معنی‌دار شد. بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میکرومولار سیلیکون در رقم Apollo (۶۵/۵۲ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) و کمترین فعالیت آن مربوط به تیمار

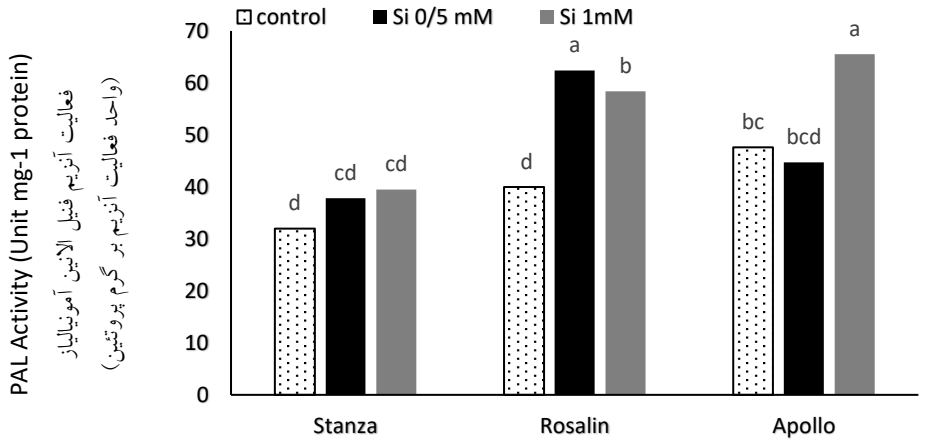
[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

شاهد در Stanza (۳۲/۱ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) بود. در رقم Rosalin بیشترین میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در سیلیکون ۵۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ٤).

تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم PPO رقم های متفاوت گل ژربرا

فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز تحت تأثیر برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم قرار گرفت، به‌گونه‌ای که بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در شاهد و Stanza (۰/۱۹۸ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) و کمترین مقدار فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در سطح ۵۰۰ میکرومولار سیلیکون و در رقم Stanza (۰/۰٤۱ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مشاهده شد (شکل ۵). در رقم Rosalin و Apollo ژربرا کمترین فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در سطح ۱۰۰۰ میکرومولار مشاهده شد.

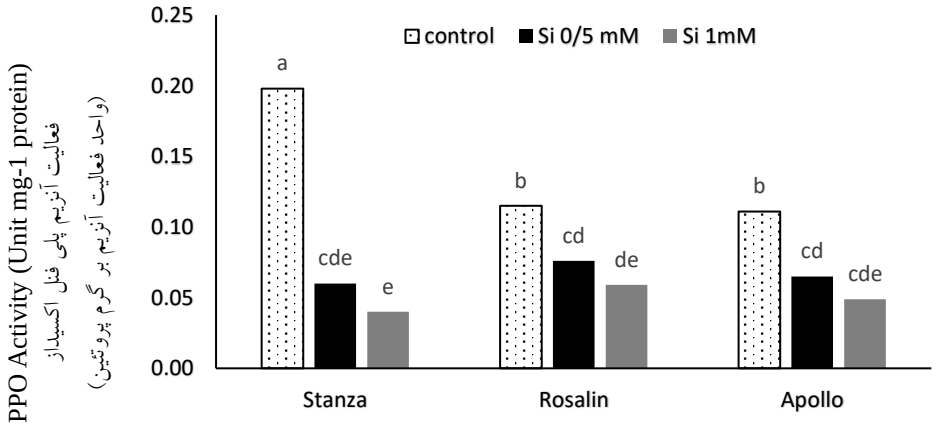


شکل٤- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز گل ژربرا. میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P<0.05$ به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 4. The interaction of silicon levels and cultivar on phenylalanine amino-lyase activity in *Gerbera*. Means were compared with Duncan's test. $P<0.05$ was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters are not statistically different.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]



شکل۵- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز گل ژربرا. میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. *P*<0.05 به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 5. The interaction of silicon levels and cultivar on polyphenol oxidase activity in *Gerbera*. Means were compared with Duncan's test. P<0.05 was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters are not statistically different.

آنزیم پلی فنول اکسیداز، یکی از آنزیم‌های یاخته‌ای است که با اکسیداسیون فنول‌ها، رنگ قهوه‌ای تولید می‌کند که در مورد گل‌های بریدنی باعث کاهش کیفیت و بازارپسندی آن‌ها می‌گردد. در این پژوهش، یکی از اثرات سیلیکون که احتمالاً باعث افزایش عمر گلجایی و حفظ کیفیت گل بریدنی ژربرا گردیده، کاهش فعالیت این آنزیم است. آنزیم PAL یکی از آنزیم‌های کلیدی در مسیر سنتز ترکیبات فنولی است و باعث تولید انواع مختلف ترکیبات فنولی ازجمله لیگنین می‌گردد (Bharti & Khurana, 1997). ترکیب های فنولی به دلیل طبیعت واکنش‌پذیر خود، توانایی واکنش با رادیکال‌های آزاد اکسیژن را داشته و به این شیوه خسارات ناشی از ایجاد رادیکال‌های آزاد را کاهش می‌دهند. تأثیر سیلیکات سدیم در افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز (PAL) و کاهش پوسیدگی قارچی در خربزه گزارش‌شده است (Guo *et al*., 2007).

سیلیکون با کاهش فعالیت ACC-oxidase در گل‌های بریدنی لیسیانتوس (Kazemi *et al*., 2012a)، ژربرا (Kazemi *et al*., 2012c) و میخک (Kazemi *et al*., 2012b)، باعث کاهش تولید اتیلن شد. همچنین، با کاربرد این ماده عمرگلجایی، کلروفیل‌کل، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت و مالون دی آلدهید کاهش پیدا کرد. پیش تیمار گل‌های رز بریدنی با نانوذرات سیلیکا[۱] سبب افزایش کیفیت پس از برداشت در گل بریدنی رز شد (El- Serafy, 2019). سیلیکون سیستم آنتی‌اکسیدانی را در گل صدتومانی بریدنی فعال کرد و عمر پس از برداشت را بهبود بخشید (Song *et al*., 2022).

اتیلن با افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال، تجمع مالون دی آلدهید ، تنفس و کاهش سیالیت غشاء، کیفیت پس از برداشت گل‌های بریدنی را کاهش می‌دهد (Mittler, 2002, Raid & Jiang, 2012). بازدارنده‌های بیوسنتز اتیلن مانند سیلیکون، استیل سالیسیلیک اسید و مالیک اسید، با کاهش تولید اتیلن، اثرات پیری را در گل‌های بریدنی کاهش می‌دهند Ansari & Misra,

۱- Silica nanoparticles

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

(2007; Karlidag *et al*., 2009; Kazemi *et al*., 2011). اگرچه تغییرات اتیلن در این پژوهش ارزیابی نشد، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در مورد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، به نظر می‌رسد که سیلیکون می‌تواند نقشی در کاهش تولید اتیلن نیز داشته باشد. البته این موضوع نیاز به پژوهش‌های کامل‌تر و بررسی تغییرات اتیلن در دوره پس از برداشت به‌ویژه در مورد گل‌های حساس به اتیلن دارد.

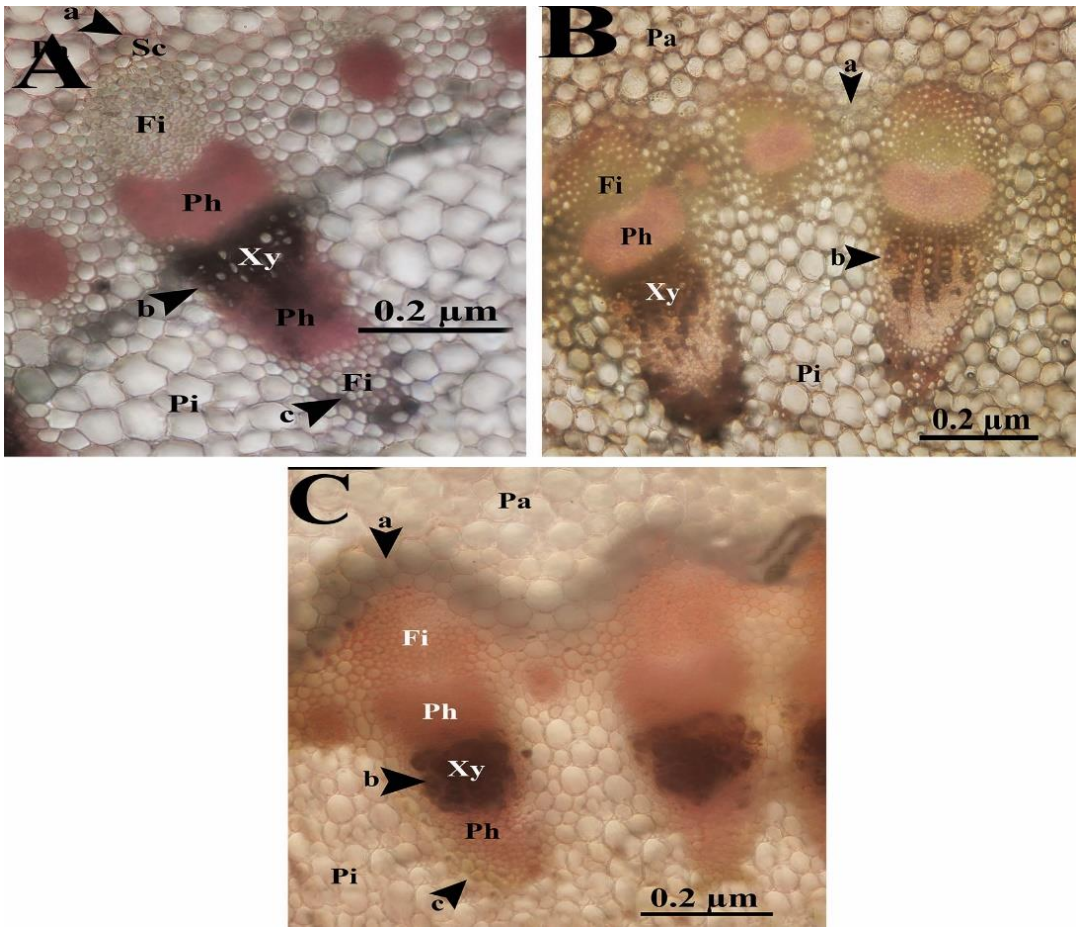
مطالعه تشریحی و مقایسه برش عرضی از قسمت بالای ساقه گل ژربرا شاهد و تحت تیمار سیلیس ۰/۵ و ۱ میکرومولار در بزرگنمایی 200x

مقایسه برش عرضی از قسمت بالای ساقه گل ژربرا شاهد و تحت تیمار سیلیس ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در بزرگنمایی 200x در شکل ٦ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود بافت استحکامی اسکلرانشیم (Sc) در ساقه تیمار شده با سیلیس ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار ضخیم‌تر شده و به به‌صورت دولایه یاخته‌ای اطراف دستجات آوندی تشکیل‌شده است درحالی‌که در ساقه شاهد و تیمار سیلیس۰/۵ میلی‌مولار، میزان این بافت کمتر دیده می‌شود. همچنین، بافت زایلم در ساقه گیاهان تیمار شده با سیلیس ضخیم‌تر از یاخته‌های زایلم گیاهان شاهد است (شکل ٦-C).

بافت اسکرانشیم و آوند چوبی حاوی مقدار زیادی لیگنین در دیواره خود می‌باشند. جلوگیری از بیان ژن سینامیل الکل دهیدروژناز که در مسیر سنتز لیگنین عمل می‌کند، باعث شد ساقه‌های برنج دارای بافت اسکلرانشیم نازک‌تر شدند که استحکام مکانیکی کمتری داشته و به‌سرعت خمیده شدند. بر اساس این پژوهش، پیشنهاد شد که جایگیری لیگنین در یاخته‌های دیواره اسکلرانشیم، برای استحکام مکانیکی بسیار مهم است (Li *et al*., 2009). در مورد گل میخک نیز تیمار پیش از برداشت سیلیکون و کلسیم، رشد رویشی، ویژگی‌های گلدهی، کیفیت گل، ساختارهای آناتومیک و عمر گلجایی را بهبود بخشیده است (El-Serafy, 2015). افزون بر این، گزارش‌شده است که سیلیس توسط گیاه برای استحکام دیواره یاخته‌های آوند چوبی استفاده می‌شود که از این طریق باعث افزایش مقاومت در برابر فشار شده و گیاه را نسبت به شرایط خشکی متحمل‌تر می‌سازد (Tofighi Alikhani *et al*., 2021, Datnoff *et al*., 2001). سیلیکون میزان لیگنین را در ساقه گل دهنده گل صدتومانی افزایش داد که به علت بیان ژن‌های تولیدکننده لیگنین می‌باشد. همچنین، غلظت‌های سیلیکون در ساقه‌های گل‌دهنده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که در کورتکس و آوند آبکش، بیشتر از مناطق دیگر بود (Zhao *et al*., 2012).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]



شکل ٦- تصاویر برش عرضی قسمت بالای ساقه گل ژربرا شاهد و تیمار سیلیس ۰/۵ و ۱ میکرومولار با بزرگنمایی 200x. A: ساقه شاهد، B: ساقه ژربرا تیمار شده با سیلیس ۰/۵ میکرومولار. C: ساقه ژربرا تیمار شده با سیلیس ۱ میکرومولار. a) ایجاد بافت اسکلرانشیم، b) افزایش دستجات آوندی چوب در ساقه تیمار شده با سیلیس c) افزایش بافت‌های نگهدارنده. Pa، بافت پارانشیم پوستی؛Sc، بافت اسکلرانشیم؛ Fi، بافت فیبر؛ Xy، چوب؛ Ph، دستجات آوند آبکش؛ Pi، بافت مغز.

Figure 6. Cross section from the upper stem of control, 0.5 and 1 µM silicon treated gerbera cut flower at 200X. A: Control stem, B: 0.5 µM silicon treated stem. C: 1µM silicon-treated stem. Induction of sclerenchyma tissue, b) Increase of vessel tissue in silicon treated stem, c) Increase of supporting tissue, (Pa): Parenchyma tissue, (Sc): Sclerenchyma tissue, (Fi): Fiber tissue, (Ph): Phloem, (Xy): Xylem, (Pi): Pith tissue.

در پژوهش‌های پیشین روی گل ژربرا، گزارش‌شده است که عوامل گوناگونی در خمیدگی ساقه گل ژربرا دخالت دارند که یکی از عمده‌ترین آن‌ها، کافی نبودن بافت اسکلرانشیم در قسمت بالای ساقه است (Perik *et al*., 2012). افزون بر این، گزارش‌شده است که جلوگیری از فعالیت آنزیم PAL، باعث افزایش خمیدگی در ساقه این گل شده است. این نتایج با این نظر که چوبی شدن[1] ناکافی یاخته‌های ساقه به میزان چشمگیری با خمیدگی ساقه گل ارتباط دارد، مطابقت دارد (Ferrante *et al*., 2007). همچنین، یافته‌های این پژوهش در ارتباط با نقش سیلیکون در بافت‌های استحکامی در گل ژربرا، با گزارش ادریسی و همکاران (۱۳۹۸) در مورد این گل، مطابقت دارد.

۱- Lignification

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

در این پژوهش بررسی‌های بافت‌شناسی در گل‌های بریدنی ژربرا، افزایش بافت استحکامی اسکلرانشیم (شکل ٦ –a) و ضخیم شدن یاخته‌های زایلم (شکل ٦–b) را در ساقه گل‌های تحت تیمار سیلیس نشان داد. همچنین، افزایش فعالیت آنزیم PAL نیز در گل‌های تیمار شده با سیلیس دیده شد. بنابراین، به نظر می‌رسد که سیلیس با افزایش سنتز لیگنین و درنتیجه افزایش بافت‌های استحکامی در ساقه گیاه، باعث حفاظت ساقه در برابر خم‌شدگی شده، شادابی بیشتر و افزایش عمر گلجایی گل‌ها را در پی داشته است. یافته‌های مربوط به مطالعه بافت‌ها و اثرات مثبت سیلیکون روی آن‌ها، با گزارش‌های پیشین در زمینه گل رز بریدنی (El-Serafy, 2015, 2019) هم‌سو می‌باشد.

نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادها

یافته های این پژوهش نشان داد که سیلیکون به‌کاررفته دارای ویژگی آنتی‌اکسیدانی بوده و توانایی افزایش فعالیت دفاعی گیاه را دارا می‌باشد. به نظر می‌رسد، این ماده نقش خود را با حفظ غشاء و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کاهش فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز، افزایش فعالیت آنزیم PAL و درنتیجه افزایش بافت استحکامی بازی می‌نماید. البته، غلظت به‌کاررفته اهمیت زیادی داشته و باید مدنظر قرار گیرد. بررسی روند تغییرات اتیلن در دوره پس از برداشت و نیز مطالعه بیان ژن‌های مربوط به تولید بافت‌های استحکامی و لیگنین برای تکمیل اطلاعات در این زمینه، پیشنهاد می‌شود.

منابع

Abbasi, J., Hassanpour Asil, M., Olfati J. A. (2018). Improvement of some growth traits of gerbera flower (*Gerbera jamesonii*) by using mineral nutrition at different stages of plant growth under effect of salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*, 865-878. (In Persian).

Aghajani, N., Jafarpour, M. (2016). Effects of pre- and postharvest treatments of silicon and rice hull ash on vase life of *Gerbera*. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *3*, 77-87.

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell & Environment*, *24*, 1337-1344.

Ansari, M.S., Misra, N. (2007). Miraculous role of salicylic acid in plant and animal system. *American Journal of Plant Physiol*ogy, *2*, 52-58.

Babalar, M., B. Edrisi., Naderi, R. (2016). Evaluation of the mechanical strength of *Gerbera* flower stem in response to silicon and salicylic acid application. *Journal of Ornamental Plants*, *6*,163-171.

Bayat, H., Aminifard, M.H. (2018). Effects of different preservative solutions on vase life of *Narcissus tazetta* cut flowers. *Journal of Ornamental Plants*, *8*, 13-21.

Bharti, A.K., Khurana, J.P. (1997). Mutant of *Arabidopsis* as tools to understand the regulation of phenylpropanoids pathway and UV-B protection mechanism. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, *65*, 765-776.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248-254.

Darras, A. (2021). Overview of the dynamic role of specialty cut flowers in the international cut flower market. *Horticulturae*, *7*,51. https://doi.org/10.3390/horticulturae7030051.

Datnoff, L.E., Synder, G.H., Korndorfer, G.H. (2001). *Silicon in Agriculture* (pp.285-290). Elsevier Sciences.

Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., Thorpe, T.A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, *32*, 93-101.

Dole, J.M., & Wilkins, F. H. (2011). *Floriculture, Principles and Species*. (Pp: 356-360). Prentice Hall.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

D'cünha, G.B., Satyanarayan, V., Nair, P.M. (1996). Purification of Phenylalanine ammonialyase from Rhodotorulaglutinis. *Phytochemistry*, *42*, 17-20.

Edrisi, B., Babalar, M., Naderi, R. (2019). Effect of silicon and salicylic acid on lignin formation and antioxidant enzymes in gerbera flower. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*, 77-89.

El-Serafy, R.S. (2015). Effect of Silicon and Calcium on Productivity and Flower Quality of Carnation. Ph.D. Thesis. Horticulture Department, Faculty of Agriculture, Tanta University. 235p.

El-Serafy, R.S. (2019). Silica nanoparticles enhance physio-biochemical characters and postharvest quality of *Rosa hybrida* L. cut flowers. *Journal of Horticultural Research*, *27*, 47-54.

Fazli, M., Ahmadi, N., Babaei A. (2020). Improving the postharvest quality characteristics of cut rose (*Rosa* × *hybrida* L.) 'Red Alert' in response to light intensity. *Flower and Ornamental Plants*, *4*, 74-86.

Ferrante, A., Albrici, A., Antonacci, S., Serra, G. (2007). Effect of promoter and inhibitors of phenyalanineammonialyase enzyme on stem bending of cut Gerbera flower. *Acta Horticulture*, *755*, 471-476.

Gapinska, M., Skodowska, M., Gabara, B. (2008). Effect of short and long-term salinity on the activities of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in tomato roots. *Acta Physiologia Plantarum*, *30*, 11-18.

Guo, Y., Liu, L., Zhao, J., Bi, Y. (2007). Use of silicon oxide and sodium silicate for controlling Trichotheciumroseum postharvest rot in Chinese cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, *42*, 1012–1018.

Hansen, D. J., Dayanandam, P., Kaufman, P. B., Brotherson, J. D. (1976). Ecological adoptions of salt marsh grass, *Distichlis spicata* (Graminae), and environmental factors affecting its growth and distribution. *American Journal of Botany*, *63*, 635-650.

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

Kamenidou, S., Cavins, T. J., Marek, S. (2010). Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. *Horticultural Science*, *123*, 390-394.

Kamiab, F., Shahmorazadeh Fahreji, S., Zamani Bahramabadi, E. (2017). Antimicrobial and physiological effects of silver and silicon nanoparticles on vase life of lisianthus (*Eustoma grandiflora* cv. Echo) flowers. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *4*,135-144.

Kar, M., Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, polyphenol oxidase activities during rice senescence. *Plant Physiology*, *57*, 315-319.

Karlidag, H., Yildirim, E., Muran, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, *66*, 180-187.

Kazemi, M., Zamani, S. &Aran, M. (2011). Effect of some treatment chemical on keeping quality and vase-life of *Gerbera* cut flowers. *American Journal of Plant Physiology*, *6* (2), 99-105.

Kazemi, M., Asadi, M., Aghdasi, S. (2012a). Postharvest life of cut lisianthus flowers as by silicon, malic acid and acetylsalicylic acid. *Research Journal of Biology*, *25*, 85-90

Kazemi, M., Gholami, M., Bahmanipour, F. (2012b). Effects of silicon and acetylsalicylic acid on antioxidative activity, membrane stability and ACC-oxidase in relation vase life of carnation cut flowers. *Biotechnology*, *2*, 87-90.

Kazemi, M., Gholami, M., Hassanvand, F. (2012c). Effects of silicon on antioxidative defense system and membrane lipid peroxidation in gerbera cut flowers. *Asian Journal of Biochemistry*, *6*, 125-187.

Kumari, P., Shrama, R., Panwar, S., Paul, S., Banyal, N. (2022). Silicon as vital element in flower crop production. *Journal of Plant Nutrition*, https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2020820

Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G., Christie, P. (2007). Mechanism of silicon-mediated alleviation of abiotic stress in higher plants. a review. *Enviromental Pollution*, *147*, 422-428.

Li, X., Yang, Y., Yao, J., Chen, G., Li, X., Zhang, Q., Wu, X. (2009). FLEXIBLE CULM 1 encoding a cinnamyl-alcohol dehydrogenase controls culm mechanical strength in rice. *Plant Molecular Biology*, *69*, 685-697.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

Manning, J.C., Simka, B., Boatwright J.C., Magee, A.R. (2016). Revised taxonomy of *Gerbera* sect. Gerbera (Asteraceae: Mutisieae). *South African Journal of Botany*, *104*, 142–157.

Meir, S., Philosoph-Hadas, S. (2021). Postharvest physiology of ornamentals: processes and their regulation. *Agronomy*, *11*, 2387.https://doi.org/10.3390/agronomy11122387

Mirzaei Esgandian, N., Z. Jabbarzadeh & Rasouli-Sadaghiani, Mir H. (2019). Investigation of some morphological and biochemical characteristics and vase life of *Gerbera jamesonii* cv. Dune cut flower using humic acid and nano calcium chelate. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *20*, 157-170. (In Persian).

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Sciences*, *7*, 405-410.

Nair, S.A., Singh, V., Sharma T.V. (2003). Effect of chemical preservatives on enhancing vase-life of gerbera flowers. *Journal of Tropical Agriculture*, *41*, 56-58.

Nakano, Y., Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, *22*, 867–880.

Ohe, M., Rapolu, M., Mieda, T., Miyagawa, Y., Yabuta, Y., Yoshimura, K., Shigeoka, S. (2005). Decline in leaf photooxidative stress tolerance with age in tobacco. *Plant Sciences*, *168*, 1487-1493.

Perik, R.J., Raze, D., Harkema, H., Zhong, Y., Van Door, W.G. (2012). Bending in cut *Gerbera jamesonii* flower related to adverse water relations and lack of stem sclerenchyma development, not to expansion of the stem central cavity or stem elongation. *Postharvest Biology and Technology*, *74*, 11-18.

Plewa, M. J., Smith, S. R., Wanger, E. D. (1991). Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. *Mutation Research*, *247*, 57-64.

Reid, M.S., Jiang, C.Z. (2012). Postharvest Biology and Technology of Cut Flowers and Potted Plants. *Horticultural Reviews*, *40*, 1-54.

Reezi, S., Babalar, M., Kalantari, S. (2009). Silicon alleviates salt stress, decreases MDA content and affects petal color of salt stressed cut rose (*Rosa × hybrida*) cv. Hot Lady. *African Journal of Biotechnology*, *8*, 1502-1508.

Sadeghi Feragheh, J., H. Farahmand, F. Nasibi., Hosseyni Torbati, F.A. (2016). Effect of exogenous nitric oxide application on physiological and antioxidant responses and scape bending reduction in *Gerbera* cut flower. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *17*,193-208. (In Persian).

Song, J., Y. Li, J. Hu, J. Lee., Jeong, B. R. (2021). Pre- and/or postharvest silicon application prolongs the vase life and enhances the quality of cut peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) flowers. *Plants*, *10*, 1742. https://doi.org/10.3390/plants10081742

Song, J., Yang, J., Jeong, B. R. (2022). Synergistic effects of silicon and preservative solution on promoting postharvest performance of cut flower of peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(21), 13211; https://doi.org/10.3390/ijms232113211

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

Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y., Yoshimura, K. (2002). Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of Experimental Botany*, *53*, 1305-1319.

Witt. Y., Harkema, H., Van Door, W. (2014). Effect of antimicrobial compounds on cut gerbera flowers: Poor relation between stem bending and numbers of bacteria in the vase water. *Postharvest Biology and Technology*, *91*, 78-83.

Zhao, D., X. Yang, S. Wu, H. He, Q. Tan, X. Chen., Shi, L. (2020). First report of *Fusarium proliferatum* causing root rot of *Gerbera* in China. *Journal of Plant Diseases and Protection*, *127*, 279–282.

Zhao, D., Hao, Z., Tao, J., Han, Ch. (2013). Silicon application enhances the mechanical strength of inflorescence stem in herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *Scientia Horticulturae*, *151*, 165-172.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]

Flower and Ornamental Plants (2024), 8(2): 201-216
Research article

Effects of silicon on antioxidant activity and the decrease of bending in cut *gerbera* (*Gerbera jamesonii* Bolus) flowers

Javad Sadeghi Feragheh[1], Homayoun Farahmand[1,2], Fatemeh Nasibi[3], Roohollah Abdolshahi[4]

1. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman
2. Department of Horticultural Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz
3. Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman
4. Department of Agronomy and Plant Breeding. Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman

hfarahmand@uk.ac.ir, h.farahmand@shirazu.ac.ir

Received: 2022/09/18, Revised: 2023/01/01, Accepted: 2023/01/17

Abstract

The cut flower industry is economically important across the world. Gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus) is one of the most popular cut flowers in Iran and worldwide and the improvement of its postharvest life is very important. Stem bending during the early stage of vase life is a critical problem in many cultivars of this flower. In this research, silicon as an antioxidant compound was used at 500 and 1000 micromolar concentrations, and the effects on some oxidative characteristics, antioxidant enzyme activity, phenylalanine ammonia-lyase (PAL), and polyphenol oxidase activity in three colors (Rosalin, Stanza, and Apollo) of cut gerbera flower were investigated. Histological studies also were performed by hand sections and light microscopy. Silicon application prolonged the vase life in all three cultivars of gerbera. The lowest vase life (6 days) was measured in the control treatment and the highest vase life (17.33 days) was gained in Rosalin using 1000 µM silicon. Meanwhile, a significant increase in the activity of antioxidant enzymes and PAL was detected, while polyphenol oxidase (PPO) activity and lipid peroxidation were significantly decreased. It seems that silicon improved the quality of gerbera cut flowers by scavenging free radical oxygen, preserving cell membrane integrity, decreasing PPO activity, and increasing the vascular and supporting tissue.

Keywords: Gerbera, Postharvest quality, Vase life.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2025-08-18]

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.201]