گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۲)، ۸(۱): در انتظار انتشار
مقاله پژوهشی

# تاثیر سیلیکون بر فعالیت آنتی اکسیدانی و کاهش خمیدگی گل شاخه بریده ژربر (*Gerbera jamesonii* Bolus)

**جواد صادقی[۱]، همایون فرهمند [۱، ۲]، فاطمه نصیبی[۳] و 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

**چکیده**

صنعت گل بریده از اهمیتِ اقتصادیِ بالایی در سطح جهان برخوردار است. ژربرا، یکی از محبوب ترین گل های شاخه بریده 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 رقم های این گل است. در این پژوهش، سیلیکون به عنوان یک ترکیب آنتی اکسیدان در غلظت های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار استفاده شد و اثرات آن بر برخی شاخص های اکسیداتیو، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز(PAL) و پلی فنل اکسیداز(PPO) در سه رنگ گل ژربرا (صورتی، قرمز و زرد)، بررسی شد. مطالعات بافت شناسی نیز با برش دستی و میکروسکوپ نوری انجام شد. کاربرد سیلیکون، عمر گلجایی را در هر سه رنگ ژربرا افزایش داد. کمترین عمر گلجایی (۶ روز) در گل قرمز، بدون کاربرد سیلیکون و بیشترین عمر گلجایی (۱۷/۳۳ روز) در گل صورتی ژربرا و با کاربرد سیلیکون ۱۰۰۰ میکرومولار روز به دست آمد. همچنین، افزایش معنی دار در فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان و PAL دیده شد، در حالی که فعالیت PPO و پراکسیداسیون لیپیدها به میزان معنی داری کاهش یافت. به نظر می رسد که سیلیکون با رُبایش رادیکال های آزاد، حفظ یکپارچگی غشاء، کاهش فعالیت آنزیم PPO و افزایش بافت های استحکامی و آوندی، سبب بهبود کیفیت پس از برداشت گل ژربرا می شود.

**واژه های کلیدی**: ژربرا، عمرگلجایی،کیفیت پس ازبرداشت

**مقدمه**

صنعت گیاهان زینتی و گل بریده در سطح جهان، از دیدگاه اقتصادی و اشتغالزایی مهم است و بیش از ۹۰ کشور جهان در این صنعت نقش دارند به گونه ای که سالیانه ارزشی برابر با ۳۰۰ میلیارد دلار دارد (Darras, 2021; Meir & Philosoph-Hadas, 2021). ژربرا[۱] گیاهی زینتی از تیره میناسانان[۲] است که بومی جنوب آفریقا، ماداگاسکار، آسیا و اندونزی بوده و دارای حدود

[1] - Transvaal daisy, Barberton daisy, African daisy (*Gerbera jamesonii* Bolus)
[2] - Asteraceae

۳۰ گونه می‌باشد (Manning *et al*., 2016). ژربرا، یکی از ۵ گل مهم شاخه بریده 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 رنگ ها مانند زرد، سفید، بنفش، نارنجی، قرمز و صورتی می باشد (Dole & Wilkins, 2011). گل ژربرا از گل های بریده محبوب بازار ایران است و پژوهش های گوناگونی که در چند سال گذشته روی کیفیت پس ازبرداشت آن انجام شده است، اهمیت این گل را نشان می دهد (Mirzaei *et al*., 2019, Abbasi *et al*., 2018, Sadeghi Feragheh *et al*., 2015). یکی از چالش های عمده گل های بریدنی ژربرا، خمیدگی ساقه گل است که باعث اختلال در روابط آبی و تشدید روند پیری می گردد (Kumari *et al*., 2022). در ابتدا، این فرضیه وجود داشت که علت خمیدگی ساقه گل ها، نیروی جاذبه و سنگینی گل آذین است اما از آنجایی که پدیده خمیدگی در تمام ارقام مشاهده نشد، این فرضیه منتفی شد و پژوهشگران متوجه شدند که عوامل دیگری به جز وزن گل آذین، بر خمیدگی ساقه تاثیر دارد (Perik *et al*., 2012).

پژوهش های سال های گذشته بیانگر این است که عوامل گوناگونی مانند نبود یا کمبود استحکام مکانیکی، بسته شدن آوندی، طویل شدن ساقه و کمبود بافت های استحکامی مانند اسکلرانشیم و لیگنین، در خمیدگی ساقه گل ها نقش دارند. همچنین، گزارش شده است که با جلوگیری از رشد باکتری ها در محلول گلجای، عمر گلجایی افزایش و خمیدگی ساقه ها نیز کاهش یافته است (Li *et al*., 2009)، اگرچه گزارش های متناقضی در این زمینه وجود دارد (Witt *et al*., 2014)، اما به تازگی ارتباط بین باکتری ها و خمیدگی ساقه گلدهنده ژربرا، به شدت وابسته به رقم گزارش شده است (Schouten *et al*., 2018). خمیدگی گردن در گل های بریدنی دیگری مانند ورد یا رُز نیز یکی از عوامل کاهش کیفیت پس از برداشت است (Fazli *et al*., 2020).

سیلیکون[1] به عنوان یک عنصر موثر در گیاه در شرایط تنش های زیستی و غیر زیستی شناخته شده است (Liang *et al*., 2007). وظایف اصلی سیلیکون در گیاه را می توان به سه دسته ساختاری، فیزیولوژیکی و حفاظتی تقسیم بندی 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 گل های بریدنی و همچنین افزایش دوره گلدهی گیاهان گلدانی می شود (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 سالیسیلیک اسید و سیلیکون پیش از برداشت، سبب افزایش استحکام ساقه در گل بریدنی ژربرا شد (Babalar *et al*., 2016). اثر مثبت کاربرد تغذیه ای و پس از برداشت سیلیسیوم روی ماندگاری گل ژربرا توسط ادریسی و همکاران (۱۳۹۸) نیز گزارش شده است. کاربرد سیلیکون باعث افزایش کیفیت پس از برداشت در گل صدتومانی[2] (Song *et*

[1] - Silicon
[2] -*Paeonia lactiflora* Pall

*al*., 2021, Zhao *et al*., 2012) و گل لیزیانتوس[1](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).

ژربرا یکی از گل های بریده مهم جهان است و در ایران نیز از گل های محبوب مصرف کنندگان است که دارای عمر گلجایی به نسبت کوتاهی است. بنابر این، هدف از این پژوهش بررسی تاثیر آنتی اکسیدانی سیلیکون بر عمر گلجایی در سه رنگ صورتی، زرد و قرمز گل بریدنی ژربرا بود. در این پژوهش، اثر سیلیکون در کاهش خمیدگی گل ژربرا از لحاظ بافت شناسی و ساختاری نیز مورد بررسی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها**

این آزمایش با ۳ تیمار و ۳ تکرار در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی انجام گرفت. شاخه های گل بریده ژربرا که ۳۰ سانتی متر طول داشتند پس از برش در ۲ غلظت سیلیکون (۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار) قرار گرفتند. یک ظرف حاوی آب مقطر نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در هر تیمار، ۶ شاخه گل در ظروف حاوی ۵۰۰ میلی لیتر از محلول قرار گرفتند. سه شاخه گل برای بررسی های بیوشیمیایی و سه شاخه گل برای بررسی عمر گلجایی در نظر گرفته شد.

**عمر گلجایی:** زمانی که گل‌های شاهد پژمرده شدند و بازار پسندی خود را از دست دادند، به عنوان پایان عمر گلجایی گل های شاهد در نظر گرفته شد. در این زمان از گل های شاهد و تحت تیمار برای اندازه‌گیری پارامترهای بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های مورد نظر، نمونه برداری شد. بقیه شاخه‌ها تا پایان عمر گلجایی آنها، نگهداری شدند. پایان عمر گلجایی زمانی در نظر گرفته شد که گلبرگ های گل پژمرده شدند و ارزش بازارپسندی خود را از دست دادند.

**اندازه گیری پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی**: اندازه‌گیری غلظت مالون دآلدئید(MDA) به روش(Heath & Packer,1969) انجام شد. طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت گلبرگ در هاون چینی حاوی ۵ میلی لیتر تری کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفوژ به مدت ۵ دقیقه در g ×۱۰۰۰۰ سانتریفوژ شد. به یک میلی لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفوژ، ۵ میلی لیتر محلول TCA ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد 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 طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده مورد نظر در این طول موج کمپلکس قرمز رنگ MDA-TBA است. جذب بقیه‌ی رنگیزه‌های غیر اختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر شد. برای محاسبه MDA از ضریب خاموشی معادل$mM^{-1}$ $Cm^{-1}$ ۱۵۵ × ۱۰$^{۵}$ استفاده شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب 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 ۳میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید (TCA)۰/۱ درصد سرد

[1] - *Euostoma grandiflora* cv. Echo

سائیده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵دقیقه در ۵۰۰۰×g 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 طول موج ۳۹۰ نانومتر، اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت پراکسید 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 وEDTA یک میلی‌مولار بود، سائیده شد. تمام مراحل استخراج در یخ انجام گرفت. سپس عصاره‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در ۵۰۰۰×g و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد 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 آب اکسیژنه در طول موج ۲۴۰ نانومتر صورت گرفت (Dhindsa *et al*., 1981). مخلوط واکنش (۳ میلی لیتر) شامل بافر پتاسیم‌فسفات ۵۰ میلی‌مولار، آب اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. با افزودن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش، واکنش شروع و کاهش در جذب آب اکسیژنه در در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. منحنی تغییرات جذب به مدت یک دقیقه با فواصل ۳۰ ثانیه ای ثبت شد برای محاسبه واحد آنزیمی، از ضریب خاموشی معادل $۴۰mM^{-1} Cm^{-1}$ 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، آب اکسیژنه ۰/۱ میلی مولار و ۱۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت آسکوربات بر اساس اکسیداسیون آسکوربیک اسید و کاهش در جذب، در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت دو دقیقه (با فواصل ۳۰ ثانیه ای) اندازه گیری شد. برای محاسبه واحد آنزیمی، از ضریب خاموشی معادل $۲/۸mM^{-1} Cm^{-1}$ استفاده شد (Nakano & Asada, 1981).

**سنجش فعالیت گایاکول پراکسیداز (GPX)**: فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با استفاده از پیش ماده گایاگول اندازه گیری شد. در این روش سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی ۲/۷۷ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۱۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه یک درصد،۱۰۰ میکرولیتر گایاکول دو درصد و ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. افزایش جذب به دلیل اکسیداسیون گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت سه دقیقه (با فواصل ۶۰ ثانیه ای) اندازه گیری شد. مقدار تتراگایاکول تولید شده با استفاده از ضریب خاموشی معادل $۲۵/۵mM^{-1} Cm^{-1}$ محاسبه گردید(Plewa *et al*., 1991).

**سنجش فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO)**: در این روش از پیروگالل به عنوان پیش ماده آنزیم استفاده شد. در این واکنش مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتربافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۲۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار و

۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۲۰ نانومتر با فواصل یک دقیقه ای خوانده شد و جذب بعد از سه دقیقه که بیشترین جذب بود گزارش شد. ضریب خاموشی استفاده شده برای محاسبه واحد آنزیمی معادل $mM^{-1}\ Cm^{-1}$ ۶/۲[1] بوده است (Kar & Mishra, 1996). فعالیت آنزیم بر اساس شدت رنگ نارنجی پورپوروگالین تولید شده پس از افزودن پیروگالل اندازه گیری شد. ضریب خاموشی استفاده شده برای محاسبه واحد آنزیمی معادل $mM^{-1}\ Cm^{-1}$ ۶/۲ 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، ۰/۴ میلی لیتر آب دو بار تقطیر و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شدند و به مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. واکنش با اضافه کردن ۰/۵ میلی‌لیتر کلریدریک اسید ۶ مولار متوقف شد و جذب نمونه-ها در طول موج ۲۶۰ نانومتر اندازه گیری گردید (Dcunha *et al.*, 1996). برای محاسبه سینامیک اسید تولید شده، از منحنی استاندارد سینامیک اسید 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 سریعا ورتکس گردید. پس از ۵ دقیقه جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین محاسبه گردید (Bradford, 1976). (به منظور 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).

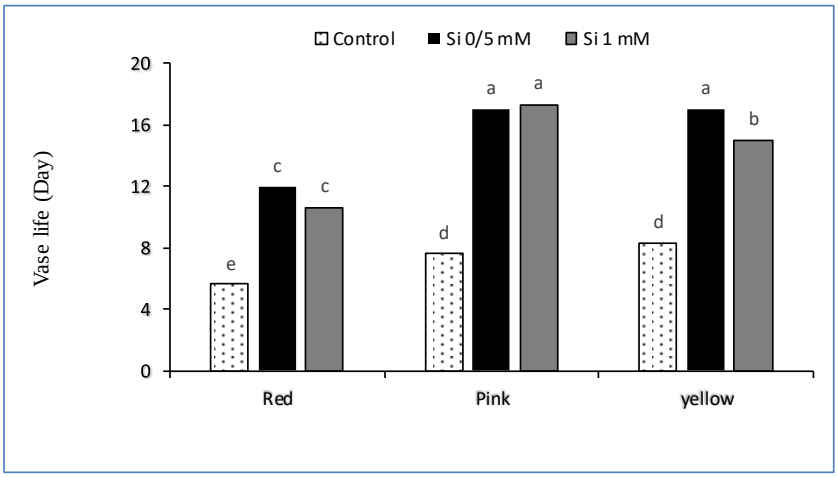
**آنالیز آماری:** این پژوهش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. داده های پژوهش، با استفاده از نرم افزار SAS آنالیز شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن مقایسه شدند.

**بررسی تشریحی و بافت شناسی ساقه گل ژربرا در گل های 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. برش های عرضی بسیار نازک و یکدست تهیه و در آب مقطر قرار داده شدند. سپس برای حذف محتویات سلول به مدت ۳ دقیقه در آب ژاول ٪۵ قرار داده شدند و سپس با آب مقطر شستشو شدند. نمونه های آماده شده با روش رنگ آمیزی مضاعف با سبز متیل و قرمز کنگو رنگ آمیزی شدند. نمونه های رنگ آمیزی شده روی لام قرار گرفتند. پس از چسباندن با یک قطره گلیسیرین و گذاشتن لامل، با میکروسکوپ نوری بررسی و از نمونه ها عکس برداری شد.

## نتایج و بحث

**تاثیر سیلیکون بر عمرگلجایی رنگ‌های متفاوت گل ژربرا:** با توجه به نتایج به دست آمده، اثر ساده سیلیکون، رنگ و سطوح سیلیکون و رنگ بر عمر گلجایی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. کمترین عمر گلجایی در گل قرمز، بدون کاربرد

سیلیکون حدود ۶ روز و بیشترین عمر گلجایی در گل صورتی ژربرا و با کاربرد سیلیکون ۱۰۰۰ میکرومولار به میزان ۱۷/۳۳ روز به دست آمد (شکل ۱).

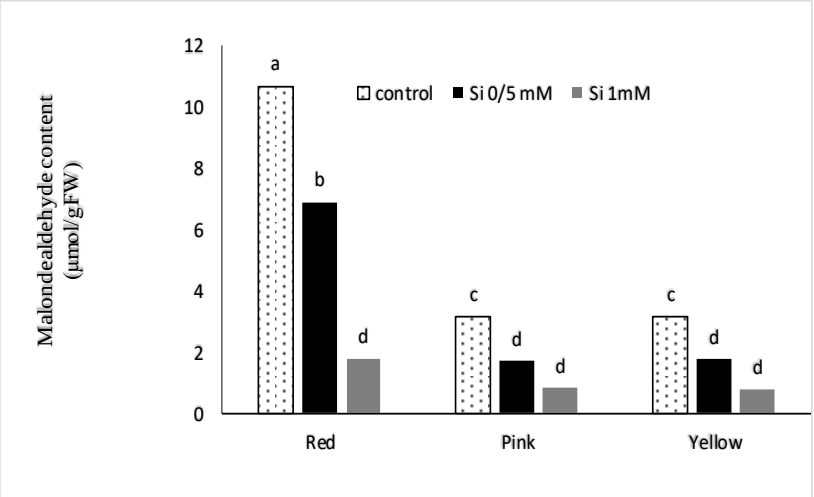



**شکل ۱- اثرات متقابل سطوح سیلیکون و رنگ گل بر عمر گلجایی گل ژربرا.**

**Fig. 1. The interaction of silicon levels and flower color on *Gerbera* vase life.**

فرایند پیری تنش زا بوده و عامل اصلی کاهش عمر گلجایی در گل های بریدنی است (Kumari *et al*., 2022). کند کردن این فرآیند و افزایش عمر گلجایی گل های شاخه بریده، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. فرآیند پیری، نتیجه یک سری تغییرات فیزیولوژیک و متابولیکی است که سرانجام به مرگ سلول، اندام و یا موجود زنده می انجامد. از لحاظ تغییرات متابولیک، پیری در اثر انجام فرآیندهای اکسیداتیو ناشی از تولید گونه های فعال اکسیژن اتفاق می افتد (Ohe *et al*., 2005). مهمترین نقش سیلیس، افزایش مقاومت گیاه به بیماری ها به علت افزایش مقاومت دیواره سلولی می باشد. سیلیس توسط گیاه جذب و با پکتین و کلسیم در دیواره سلولی ترکیب می شود. بیشترین میزان سیلیس در گیاهان در بافت اپیدرمی تجمع می یابد و به بافت مقاومت بیشتری در برابر بیماری ها می دهد که مانع نفوذ قارچ ها می شود. در این بررسی، عمرگلجایی در سیلیکون ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار افزایش یافت که اختلاف معنی داری با شاهد داشت و بیشترین عمرگلجایی در سیلیکون ۱۰۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۱). نتایج این پژوهش با یافته های پیشین که اثر مثبت سیلیکون بر عمر گلجایی را گزارش کرده اند، همسو می باشد (Kumari *et al*., 2022; Edrisi *et al*., 2021; Babalar *et al*., 2016).

**تاثیر سیلیکون بر میزان مالون دی آلدئید رنگ‌های متفاوت گل ژربرا**: همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود اثر ساده سیلیکون، رنگ گل و اثر متقابل سطوح سیلیکون و رنگ گل در سطح یک درصد بر مقدار مالون دآلدئید معنی دار شد. بیشترین مقدار مالون دآلدئید در گل قرمز و بدون کاربرد سیلیکون به میزان ۹/۲۲ میکرو مول بر گرم وزن تر و کمترین مقدار آن در گل صورتی همراه با کاربرد ۱۰۰۰ میکرومولار سیلیکون، مشاهده شد. کاربرد سیلیکون در گل ژربرای صورتی اگرچه مالون دآلدئید را کاهش داد اما از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. با توجه به نتایج به دست آمده، گل صورتی ژربرا نسبت به گل قرمز و زرد، مالون د آلدئید کمتری داشت.




**شکل ۲- اثرات متقابل سطوح سیلیکون و رنگ گل بر میزان مالون د آلدئید گل ژربرا.**

**Fig. 2. The interaction of silicon levels and flower color on malondialdehyde in *Gerbera*.**

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 آلدئید کاهش نشان داد و همواره یک همبستگی منفی میان این دو عامل در تیمارها دیده شد. کاهش میزان مالون دی آلدئید، بیانگر استحکام و یکپارچگی بیشتر غشاهای سلولی است. به نظر می رسد که غلظت‌های مختلف به کار رفته با کاهش پراکسیداسیون لیپید و حفظ یکپارچگی غشاء، عمر گلجایی را افزایش داده اند. این نتایج با یافته های گزارش شده در مورد لیزیانتوس (Kazemi *et al*., 2012a)، میخک (Kazemi*et al*., 2012b) و رز ( Reezi *et al*., 2009)، همسو می باشد.

**تاثیرسیلیکون بر میزان پراکسید هیدروژن رنگ‌های متفاوت گل ژربرا:** اثر ساده سیلیکون و رنگ گل بر مقدار هیدروژن پر اکسید ($H_2O_2$) معنی دار شد، اما اثر متقابل آن‌ها معنی دار نبود. کاربرد سیلیکون ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار به ترتیب سبب کاهش$H_2O_2$به میزان ۴۲ و ۴۴ درصد نسبت به شاهد شد، اگرچه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین سطوح سیلیکون دیده نشد ( جدول ۱). همچنین گل‌های زرد و صورتی ژربرا نسبت به گل قرمز به ترتیب ۳۲ و ۱۳ درصد کاهش $H_2O_2$ را نشان دادند، در صورتی که از لحاظ آماری میزان $H_2O_2$ در گل ژربرای قرمز و صورتی تفاوت معنی داری نشان نداد (جدول ۲).

**جدول ۱- مقادیر میانگین صفات بیوشیمیایی ارزیابی شده گل بریده ژربرا با کاربرد سیلیکون.**

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

| GPX Activity (Unit/mg protein) | APX Activity (Unit/mg protein) | Hydrogen peroxide (µmol/gFW) | Silicon (Micromolar) |
|---|---|---|---|
| 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 از نظر آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه ای دانکن ندارند.

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

**جدول ۲- مقادیر میانگین صفات بیوشیمیایی ارزیابی شده گل بریده ژربرا در رنگ‌های قرمز، صورتی و زرد.**

**Table 2. The means of biochemical traits assessed in Red, Pink and Yellow *Gerbera* colors.**

| GPX Activity (Unit/mg protein) | APX Activity (Unit/mg protein) | Hydrogen peroxide (µmol/gFW) | Colors |
|---|---|---|---|
| 0.31b | 3.01b | 1.37a | Red |
| 1.81a | 5.81a | 1.18a | Pink |
| 0.41b | 5.72a | 0.93b | Yellow |

* در هر ستون، میانگین‌هایی که داری حرف یا حروف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه ای دانکن ندارند.

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

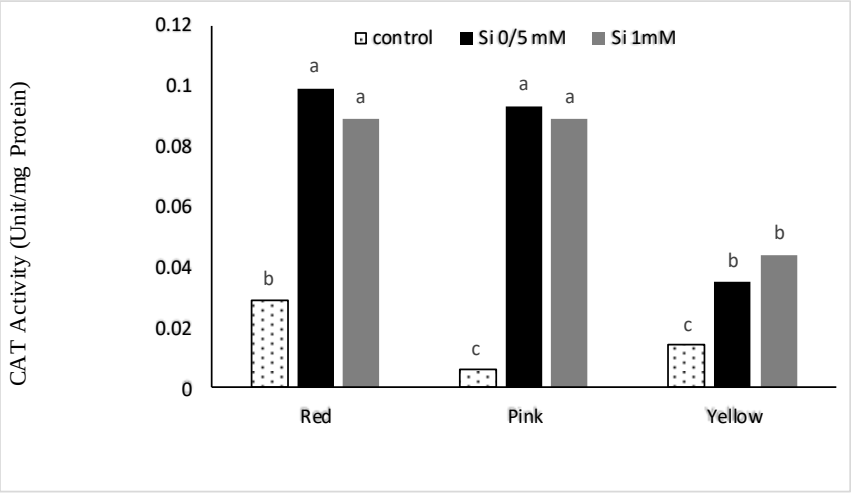
**تاثیرسیلیکون بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز(APX) رنگ‌های متفاوت گل ژربرا:** در این پژوهش اثر ساده سیلیکون و رنگ گل بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی دار شد، اما اثر متقابل سطوح سیلیکون و رنگ گل بر این صفت معنی دار نشد. کاربرد سیلیکون با غلظت ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار سبب افزایش فعالیت این آنزیم به ترتیب به میزان ۲۴ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد شد (جدول ۱). فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در گل‌های زرد و صورتی ژربرا به ترتیب ۴۷ و ۴۸ درصد بیشتر از رنگ قرمز بود (جدول ۲).

**تاثیرسیلیکون بر فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز(GPX)رنگ‌های متفاوت گل ژربرا:** با توجه به نتایج این پژوهش، تنها اثر ساده رنگ گل ژربرا بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی دار شد. بیشترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در رنگ صورتی (۱/۱۸ واحد بر میلی گرم پروتئین) و کمترین مقدار فعالیت این آنزیم در گل قرمز (۰/۳۱ واحد بر میلی گرم پروتئین) دیده شد (جدول ۲). تیمار سیلیکون هیچ اثر معنی داری بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز نداشت (جدول ۱).

در این پژوهش برای بررسی نقش سیلیکون به کار رفته بر سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی گیاه، فعالیت آنزیم های CAT، GPX وAPX اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که در تمام تیمارهایی که عمر گل‌جایی نسبت به شاهد افزایش یافته است، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان CAT و APX نیز افزایش نشان می دهند 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 می رسد که سیلیکون نقش آنتی اکسیدانی خود را از طریق افزایش فعالیت آنزیم های APX و CAT ایفا نموده و بر فعالیت آنزیم GPX تاثیر معنی داری ندارد. گزارش شده است که سیلیکون با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان گیاهان، خسارت‌های ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) را که به وسیله تنش‌های مختلف افزایش پیدا کرده است را کاهش داده است.

**تاثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم کاتالاز(CAT) رنگ‌های متفاوت گل ژربرا:** در این پژوهش اثر متقابل رنگ و سطوح سیلیکون بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار شد به گونه‌ای که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در گل قرمز ژربرا همراه با کاربرد سیلیکون ۵۰۰ میکرومولار به میزان ۰/۰۹۹ واحد بر میلی گرم پروتئین و کمترین مقدار آن در گل صورتی و بدون کاربرد سیلیکون به میزان ۰/۰۰۷واحد بر میلی گرم پروتئین مشاهده گردید. اگرچه از لحاظ آماری در گل صورتی و قرمز ژربرا سطوح سیلیکون با هم 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 سلول‌ها می‌شود (Shigeoka *et al.*, 2002).

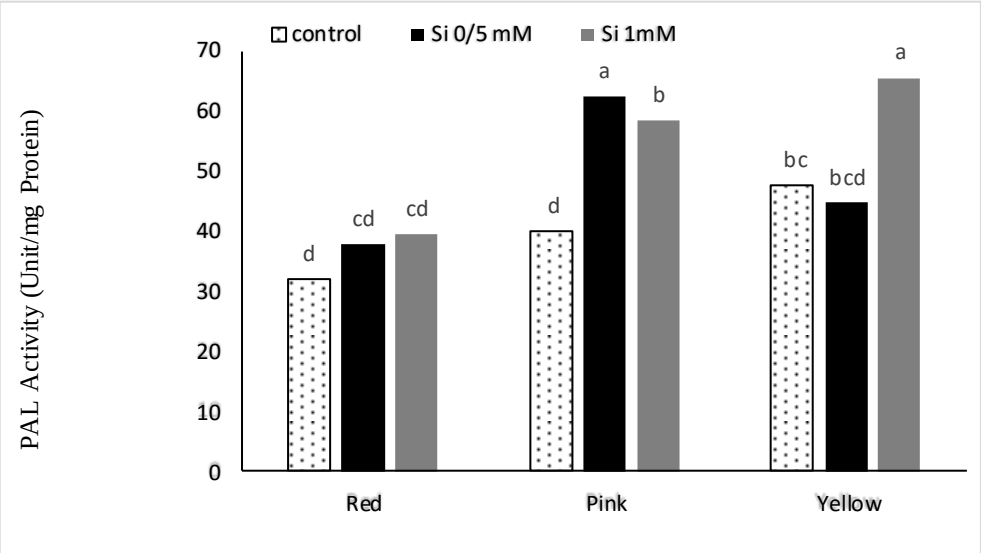



**شکل۳- اثرات متقابل سطوح سیلیکون و رنگ گل بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گل ژربرا.**

**Fig. 3. The interaction of silicon levels and flower color on catalase activity in *Gerbera*.**

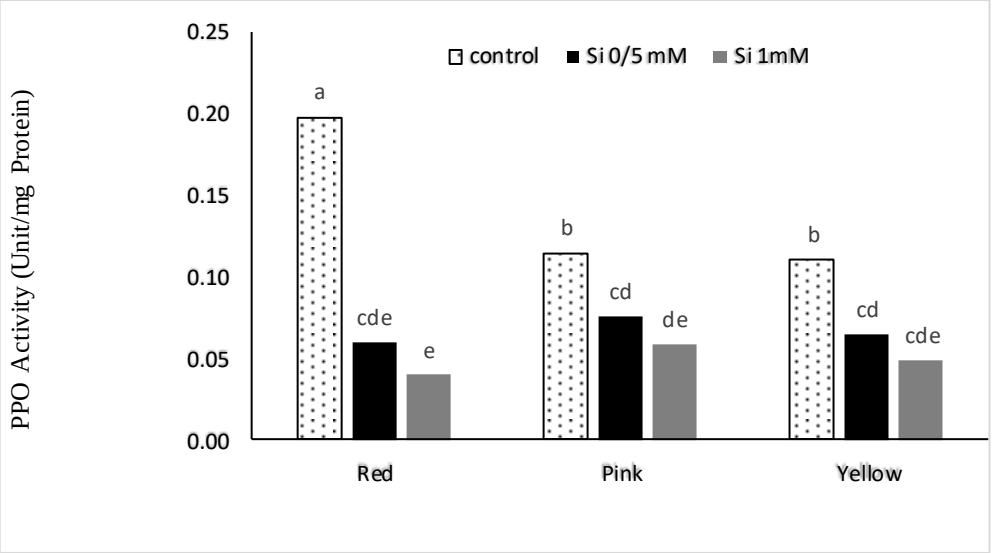
**تاثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم(PAL) در رنگ‌های متفاوت گل ژربرا:** در این آزمایش اثر متقابل سیلیکون و رنگ گل بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز معنی دار شد. بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میکرومولار سیلیکون بر گل زرد ژربرا (۶۵/۵۲ واحد بر میلی گرم پروتئین) و کمترین فعالیت آن مربوط به تیمار شاهد در گل قرمز (۳۲/۱ واحد بر میلی گرم پروتئین ) بود. در گل صورتی بیشترین میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در سیلیکون ۵۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۴).

**تاثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم(PPO) رنگ‌های متفاوت گل ژربرا:** فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز تحت تاثیر برهمکنش سطوح سیلیکون و رنگ گل قرار گرفت، به گونه‌ای که بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در شاهد و گل قرمز ( ۰/۱۹۸ واحد بر میلی گرم پروتئین) و کمترین مقدار فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در سطح ۵۰۰ میکرومولار سیلیکون و در گل قرمز (۰/۰۴۱ واحد بر میلی گرم پروتئین) مشاهده شد (شکل ۵). در گل صورتی و زرد ژربرا کمترین فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در سطح ۱۰۰۰ میکرومولار مشاهده شد.




**شکل۴- اثرات متقابل سطوح سیلیکون و رنگ گل بر میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز گل ژربرا.**

**Fig. 4. The interaction of silicon levels and flower color on phenylalanine amino-lyase activity in *Gerbera*.**




**شکل۵- اثرات متقابل سطوح سیلیکون و رنگ گل بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز گل ژربرا.**

**Fig. 5. The interaction of silicon levels and flower color on polyphenol oxidase activity in *Gerbera*.**

آنزیم پلی فنل اکسیداز، یکی از آنزیم های سلولی است که با اکسیداسیون فنل ها، رنگ قهوه ای تولید می کند می نماید که در مورد گل های شاخه بریده باعث کاهش کیفیت و بازار پسندی آن ها می گردد. در این پژوهش، یکی از اثرات سیلیکون که احتمالاً باعث افزایش عمر گلجایی و حفظ کیفیت گل شاخه بریده ژربرا گردیده، کاهش فعالیت این آنزیم است. آنزیم PAL یکی از آنزیم های کلیدی در مسیر سنتز ترکیبات فنلی است و باعث تولید انواع مختلف ترکیبات فنلی از جمله لیگنین می گردد (Bharti & Khurana, 1997). ترکیبات فنلی به دلیل طبیعت واکنش پذیر خود، توانایی واکنش با رادیکال های آزاد اکسیژن را داشته و به این شیوه خسارات ناشی از ایجاد رادیکال های آزاد را کاهش می دهند. تاثیر سیلیکات سدیم در افزایش

فعالیت آنزیم های پراکسیداز، فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز (PAL) و کاهش پوسیدگی قارچی در خربزه گزارش شده است (Guo *et al*., 2007).

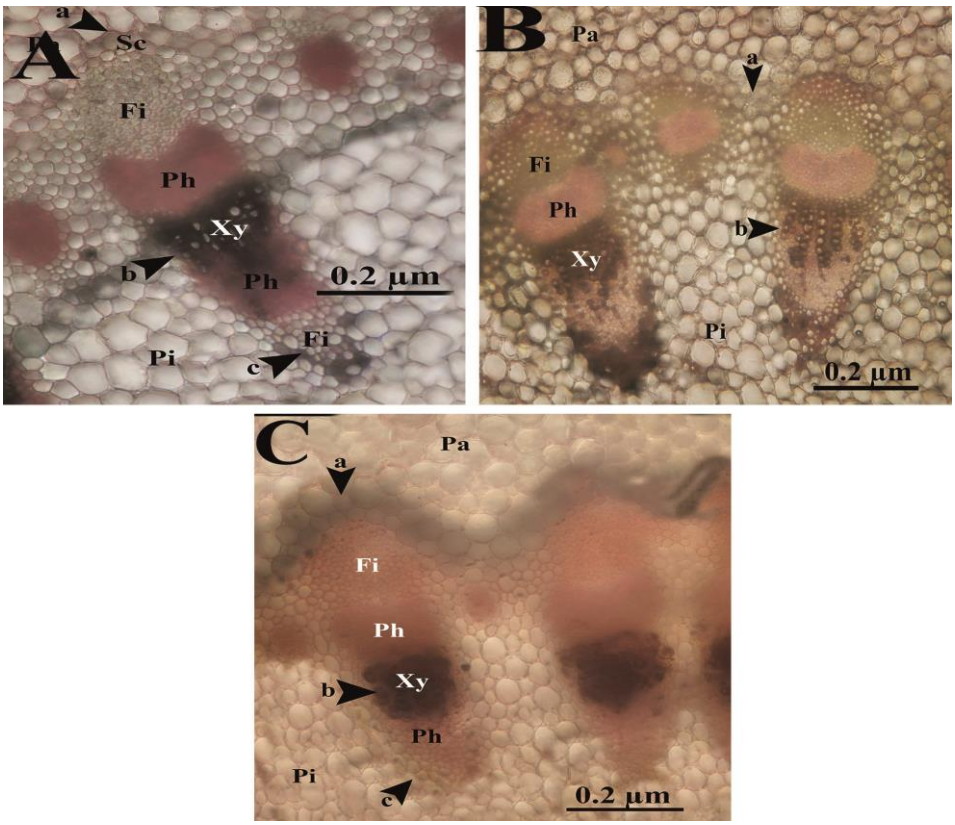
سیلیکون با کاهش فعالیت ACC-oxidase در گل‌های شاخه بریده لیزیانتوس(Kazemi*et al*., 2012a)، ژربرا (Kazemi *et al*., 2012c) و میخک (Kazemi *et al*., 2012b)، باعث کاهش تولید اتیلن شد. همچنین، با کاربرد این ماده عمرگلجایی، کلروفیل-کل، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت و مالون دی آلدئید کاهش پیدا کرد. پیش تیمار گل های رز بریده با نانوذرات سیلیکا[1] سبب افزایش کیفیت پس از برداشت در گل بریده رز شد (El- Serafy, 2019). سیلیکون سیستم آنتی اکسیدانی را در گل صدتومانی بریدنی فعال کرد و عمر پس از برداشت را بهبود بخشید (Song et *al*., 2022).

اتیلن با افزایش تولید گونه های اکسیژن فعال، تجمع مالون دی آلدئید، تنفس و کاهش سیالیت غشاء، کیفیت پس از برداشت گل‌های بریده 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 گل های بریده کاهش می‌دهند (Ansari & Misra, 2007; Karlidag *et al*., 2009; Kazemi *et al*., 2011). اگرچه تغییرات اتیلن در این پژوهش ارزیابی نشد، با توجه به نتایج به دست آمده در مورد آنزیم های آنتی اکسیدانی، به نظر می رسد که سیلیکون می تواند نقشی در کاهش تولید اتیلن نیز داشته باشد. البته این موضوع نیاز به پژوهش های کامل تر و بررسی تغییرات اتیلن در دوره پس از برداشت به ویژه در مورد گل های 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 بزرگنمایی200x**

مقایسه برش عرضی از قسمت بالای ساقه گل ژربرا شاهد و تحت تیمار سیلیس ۰/۵ و ۱ میلی مولار در بزرگنمایی 200x در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود بافت استحکامی اسکلرانشیم (Sc) در ساقه تیمار شده با سیلیس ۰/۵ و ۱ میلی مولار ضخیمتر شده و به بصورت دو لایه سلولی اطراف دستجات آوندی تشکیل شده است درحالیکه در ساقه شاهد و تیمار سیلیس۰/۵ میلی مولار میزان این بافت کمتر دیده می شود همچنین بافت زایلم در ساقه گیاهان تیمار شده با سیلیس ضخیمتر از سلول های زایلم گیاهان شاهد است (شکل۶- C ).

[1] - Silica nanoparticles




**شکل ۶- تصاویر برش عرضی قسمت بالای ساقه گل ژربرا شاهد و تحت تیمار سیلیس ۰/۵ و ۱ میکرو مولار با بزرگنمایی 200x.**

A: ساقه شاهد، B: ساقه ژربرا تیمار شده با سیلیس ۰/۵ میکرومولار C: ساقه ژربرا تیمار شده با سیلیس ۱ میکرو مولار.

a) ایجاد بافت اسکلرانشیم، b) افزایش دستجات آوندی چوب در ساقه تیمار شده با سیلیس c) افزایش بافت های نگهدارنده

Pa، بافت پارانشیم پوستی؛Sc، بافت اسکلرانشیم؛ Fi، بافت فیبر؛Xy، گزیلم؛ Ph، دستجات آوند آبکش؛ Pi، بافت مغز.

**Fig. 6: Cross section from 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.

a) 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

بافت اسکرانشیم و آوند چوبی حاوی مقدار زیادی لیگنین در دیواره خود می باشند. جلوگیری از بیان ژن سینامیل الکل دهیدروژناز که در مسیر سنتز لیگنین عمل می کند، باعث شد ساقه های برنج دارای بافت اسکلرانشیم نازکتر شدند که استحکام مکانیکی کمتری داشته و به سرعت خمیده شدند. بر اساس این پژوهش، پیشنهاد شد که جایگیری لیگنین در سلول های دیواره اسکلرانشیم، برای استحکام مکانیکی بسیار مهم است (Li *et al.*, 2009). در مورد گل میخک نیز تیمار پیش ازبرداشت سیلیکون و کلسیم، رشد رویشی، ویژگی های گلدهی، کیفیت گل، ساختارهای آناتومیک و عمر گلجایی را بهبود بخشیده است (El-Serafy, 2015). علاوه بر این، گزارش شده است که سیلیس توسط گیاه برای استحکام دیواره سلول های آوند چوبی استفاده می شود که از این طریق موجب افزایش مقاومت در برابر فشار شده و گیاه را نسبت به شرایط خشکی

مقاوم تر می سازد (Tofighi Alikhani *et al*., 2021, Datnoff *et al*., 2001). سیلیکون میزان لیگنین را در ساقه گل دهنده گل صد تومانی افزایش داد که به علت بیان ژن‌های تولید کننده لیگنین می‌باشد. همچنین، غلظت‌های سیلیکون در ساقه های گل-دهنده به طور معنی داری افزایش یافت که در کورتکس و آوند آبکش، بیشتر از مناطق دیگر بود (Zhao *et al*., 2012).

در پژوهش های پیشین روی گل ژربرا، گزارش شده است که عوامل گوناگونی در خمیدگی ساقه گل ژربرا دخالت دارند که یکی از عمده ترین آنها، کافی نبودن بافت اسکلرانشیم در قسمت بالای ساقه است (Perik *et al*., 2012). همچنین، گزارش شده 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 سلول های ساقه به میزان چشمگیری با خمیدگی ساقه گل ارتباط دارد، مطابقت دارد ( Ferrante *et al*., 2007). همچنین، یافته های این پژوهش در ارتباط با نقش سیلیکون در بافت های استحکامی در گل ژربرا، با گزارش ادریسی و همکاران (۱۳۹۸) در مورد این گل، مطابقت دارد.

در این پژوهش بررسی های بافت شناسی در گل های شاخه بریده ژربرا، افزایش بافت استحکامی اسکلرانشیم (شکل ۶ –a) و ضخیم شدن سلول های زایلم (شکل ۶–b) را در ساقه گل های تحت تیمار سیلیس نشان داد. همچنین، افزایش فعالیت آنزیم PAL نیز در گل های تیمار شده با سیلیس دیده شد. بنابراین، به نظر می رسد که سیلیس با افزایش سنتز لیگنین و در نتیجه افزایش بافت های استحکامی در ساقه گیاه، باعث حفاظت ساقه در برابر خم شدگی گردیده شادابی بیشتر و افزایش عمر گلجایی گل ها را در پی داشته است. یافته های مربوط به مطالعه بافت ها و اثرات مثبت سیلیکون روی آن ها، با گزارش های پیشین در زمینه گل رز بریدنی (El-Serafy, 2015, 2019) همسو می باشد.

**نتیجه گیری و پیشنهادها:**

نتایج این پژوهش نشان داد که سیلیکون به کار رفته دارای ویژگی آنتی‌اکسیدانی بوده و توانایی افزایش فعالیت دفاعی گیاه را دارا می باشند. به نظر می رسد، این ماده نقش خود را با حفظ غشاء و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز، افزایش فعالیت آنزیم PAL و در نتیجه افزایش بافت استحکامی بازی می نماید. البته، غلظت به کار رفته اهمیت زیادی داشته و باید مد نظر قرار گیرد. بررسی روند تغییرات اتیلن در دوره پس از برداشت و نیز مطالعه بیان ژن های مربوط به تولید بافت های استحکامی و لیگنین برای تکمیل اطلاعات در این زمینه، پیشنهاد می شود.

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 Farsi).

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.

[1] - Lignification

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, MH. (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* 2021, 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.

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.

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* 2021, 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 Farsi).

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Tends 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 Revews*, 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 Farsi).

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* 2021, 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*, 2022, 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 iso enzymes. *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.

Flower and Ornamental Plants (2023), 8(1)
Research article

# Effect 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] and Roohollah Abdolshahi[4]**

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

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

## Abstract

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 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 micro molar concentration and the effects on some oxidative characteristics, antioxidant enzymes activity, phenylalanine ammonialyase (PAL) and polyphenoloxidase activity in three colors (pink, red and yellow) 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 colors of gerbera. The lowest vase life (6 day) was measured in control treatment and the highest vase life (17.33 day) was gained in pink color using 1000 mM silicon. Meanwhile, 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 through scavenging free radical oxygen, preservation of cell membrane integrity, decreasing of PPO activity and increasing the vascular and supporting tissue.

**Keywords:** Gerbera, postharvest quality, Vase life.