Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 51, No 4, Winter 2021 (753-771)
DOI: 10.22059/ijhs.2019.276705.1607

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹ (ص ۷۷۱-۷۵۳)

اثر زمان و دفعات محلول‌پاشی قبل از برداشت اسپرمین و گاما آمینوبوتیریک اسید بر عمر گلجایی و کیفیت گل‌های بریده ژربرا رقم "Stanza"

میثم محمدی[۱]، میترا اعلایی[۲*] و مهدی صیدی[۳]
۱ و ۲. دانشجوی دکتری و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳. دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۹)

چکیده

به منظور حفظ کیفیت و افزایش عمر گلجایی گل‌های شاخه‌بریده ژربرا پس از برداشت، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۷ در گروه علوم باغبانی دانشگاه ایلام با چهار تکرار طراحی و اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی قبل از برداشت توسط تیمارهای اسپرمین دو میلی‌مولار و گاما آمینوبوتیریک اسید (گابا) یک میلی‌مولار هر کدام به‌صورت دو مرحله محلول‌پاشی (زمان ظهور شاخه گل‌دهنده و ۷ روز پس از آن) و سه مرحله محلول‌پاشی (زمان ظهور شاخه گل‌دهنده، ۵ و ۱۰ روز پس از آن) به‌عنوان کرت فرعی بودند که همراه با نمونه‌های شاهد طی صفر، ۳، ٦ و ۹ روز پس از برداشت به عنوان کرت اصلی آزمایش در دمای ۱±۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ٦۵ تا۷۰ درصد مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد تیمارهای اسپرمین سه مرحله محلول‌پاشی، اسپرمین دو مرحله محلول‌پاشی، گابا سه مرحله محلول‌پاشی و گابا دو مرحله محلول‌پاشی به‌ترتیب بین ۳/۵ تا یک روز عمر گلجایی را نسبت به شاهد افزایش دادند و باعث حفظ کیفیت پس از برداشت گل‌ها شدند. همچنین نتایج نشان داد که در روز نهم بررسی بیشترین وزن تر، جذب محلول گلجایی، مواد جامد محلول، پروتئین، فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT)، گایاکل پراکسیداز (GPX)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL) و همچنین کمترین نشت یونی، محتوای مالون‌دی‌آلدهید (MDA) و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) به‌ترتیب در تیمارهای فوق مشاهده گردید. بنابراین استفاده از تیمار اسپرمین در سه مرحله محلول‌پاشی به‌عنوان برترین تیمار و به‌عنوان برنامه‌ای کاربردی در جهت افزایش عمر گلجایی گل‌های شاخه‌بریده ژربرا رقم "Stanza" توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پلی‌آمین، ژربرا، عمر گلجایی، گاما آمینو بوتیریک اسید، محلول‌پاشی.

The effect of time and stage of preharvest spraying by spermine and γ-aminobutyric acid on vase life and postharvest quality of "Stanza" cultivar of Gerbera cut flowers

Meisam Mohammadi[1], Mitra Aelaei[2*] amd Mehdi Saidi[3]
1, 2. Ph.D. Candidate and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
3. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
(Received: Feb. 26, 2019- Accepted: Apr. 29, 2019)

ABSTRACT

In order to maintain the postharvest quality and vase life of the "Stanza" cultivar of gerbera cut flowers, an experiment was designed as split-plot for time based on a completely randomized design, with four replications, at 2018 in horticulture department of Ilam university. The treatments consisted of preharvest application of Spermine 2 mM and γ-Aminobutyric acid 2mM (GABA), as sub-plot, at two stages (2T) of spraying (the stage of emergence of flower branch and 10 days later) and three stages (3T) of spraying (the stage of emergence of flower branch, 7 and 10 days later) that investigated, as the main plot, at 0, 3, 6 and 9 days postharvest at 22±1 °C and relative humidity of 65 to 70%. The results showed that, respectively, spermine 3T, spermine 2T, GABA 3T and GABA 2T treatments increased vase life and maintaind postharvest quality of Gerbera cut flowers compared to the control. The results of the 9th day showed that the highest fresh weight, absorption of vase solution (VSU), soluble solids, protein, phenol and total flavonoid, activity of the catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPX), superoxide dismutase (SOD) and Phenylalanine ammonia lyase (PAL), as well as the lowest ion leakage (EL), malondialdehyde MDA and polyphenol oxidase (PPO) activity respectively were observed in Spermine and GABA treatments, and in some of the studied traits, there was no significant difference between two and three stages of spraying. Therefore, the use of spermine 3T as the best treatment in present study is recommended as an application method to increase the vase life of "Stanza" cultivar of gerbera cut flowers.

Keywords: Foliar application, Gerbera, polyamine, vase life, γ-aminobutyric acid.

* Corresponding author E-mail: Maelaei@znu.ac.ir

مقدمه

ژربرا با نام علمی *Gerbera jamesonii*، متعلق به تیره Asteraceae و بومی منطقه ترانسوال آفریقای جنوبی است که از نظر اقتصادی پس از رز، داوودی، لاله و لیلیوم رتبهٔ پنجم اهمیت را در بین گل‌های شاخه‌بریده به خود اختصاص داده است (Nazarideljou *et al*., 2015; Aghdam *et al*., 2020). زیبایی و تنوع رنگ زیاد، عملکرد بالا و فاصله کوتاه بین دوره‌های برداشت از مهمترین دلایل توجه به این گل شاخه‌بریده می‌باشد (Vanholme *et al*., 2010). ژربرا با وجود اینکه در بین مصرف‌کنندگان گل‌های شاخه‌بریده از محبوبیت بالایی برخوردار می‌باشد، ولی در دمای اتاق دارای عمر پس از برداشت کوتاه بین ۵ تا ۸ روز است (He *et al*., 2006). پژمردگی گلبرگ‌ها و خمیدگی گردن از مهمترین عارضه‌هایی هستند که باعث کاهش عمر گلجایی و افزایش ضایعات گل‌های بریده ژربرا در پس از برداشت می‌شوند (Halevy & Mayak, 1981). امروزه با توجه به افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای گل‌های شاخه‌بریده و همچنین ارزش اقتصادی بالای آن‌ها در دنیا، ضرورت پژوهش‌ها در خصوص افزایش عمر گلجایی و کاهش تلفات پس از برداشت این گل‌ها موضوعی ضروری است. بنابراین تیمار کردن گل‌های شاخه‌بریده در قبل و پس از برداشت برای افزایش عمر گلجایی و حفظ کیفیت آنها در پس از برداشت از روش‌های متداولی است که توسط تولیدکنندگان و فروشندگان گل‌های بریده انجام می‌گیرد.

پلی‌آمین‌ها هیدروکربن‌هایی پلی‌کاتیونی با وزن مولکولی کم هستند که دارای زنجیره کربنی خطی با دو گروه آمینی انتهایی هستند و مهمترین آن‌ها عبارتند از پوتریسین (دارای دو گروه آمین)، اسپرمیدین (دارای سه گروه آمین) و اسپرمین (دارای چهار گروه آمین) که در گیاهان ویژگی ضدپیری آن‌ها به کاهش تولید اتیلن نسبت داده شده است (Khan *et al*., 2008). اتیلن یکی از مهمترین عوامل در تسریع پیری و زوال گل‌ها در پس از برداشت است که بیوسنتز آن در داخل سلول‌های گیاهی در رقابت با پلی‌آمین‌ها می‌باشد. سازوکار رقابتی بیوسنتز اتیلن و پلی‌آمین‌ها به‌دلیل پیش‌ماده مشترک S-آدنوزین متیونین (SAM) است (Pandey *et al*., 2000). بنابراین بیوسنتز اتیلن و پلی‌آمین‌ها در تقابل با یکدیگر می‌باشد و چنین استنباط می‌شود که شروع پیری می‌تواند به‌دلیل کاهش فعالیت آنزیم آرژنین دکربوکسیلاز و در نتیجه کاهش میزان تولید پلی‌آمین‌ها باشد (Galston & Kaur-Sawhney, 1990). بررسی اثر پلی‌آمین‌ها بر کیفیت پس از برداشت رز شاخه‌بریده رقم "Red Berlin" نشان داد که تیمار اسپرمین باعث افزایش محتوای آنتوسیانین، آب نسبی و در نتیجه جلوگیری از تخریب رنگیزه‌های نورساختی شد و عمر گلجایی را افزایش داد (Rubinowska *et al*., 2012). تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که کاربرد پوترسین محتوای رنگیزه‌های نورساختی و کیفیت در گل شاخه‌بریده داوودی را بهبود می‌دهد (Mahros *et al*., 2011). همچنین کاربرد اسپرمین در گل‌های بریده میخک با کاهش تولید سنتز ACC و آنزیم ACC اکسیداز میزان تولید اتیلن را کاهش داد و پیری گل‌ها را به تأخیر انداخت (Lee *et al*., 1997). در گزارشی دیگر فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز در گل‌های لیزیانتوس تیمار شده با پوترسین کاهش یافت و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت که این عوامل باعث افزایش عمر گلجایی گل‌های لیزیانتوس در پس از برداشت شدند (Ataii *et al*., 2015). مطالعات دیگر نشان می‌دهد که میزان اسپرمین و اسپرمیدین در طی مراحل پیری گل‌های گیاه نخود کاهش می‌یابد ولی سطوح درون‌زای اسپرمین و پلی‌آمین الحاقی N4-هگزانول اسپرمیدین (N4-Hexanoyl-spermidin) افزایش می‌یابد. این شواهد نشان می‌دهد که پلی‌آمین‌های مختلف نقش‌های بیولوژیکی متفاوتی را در گیاه ایفا می‌کنند (Perez-Amador *et al*., 1996).

گاما آمینوبوتریک اسید (GABA) یک آمینواسید غیرپروتئینی و دارای چهار اتم کربن در ساختار خود بوده و به‌طور گسترده در بیشتر موجودات پروکاریوت و یوکاریوت وجود دارد. گابا در گیاهان به‌طور عمده به‌عنوان یک متابولیت همانند پرولین مورد بررسی قرار

گرفته است که به‌نظر می‌رسد بر چرخه تری‌کربوکسیلیک اسید و تعادل C/N نقش داشته باشد (Wang *et al*., 2014). گابا به‌عنوان یک سیگنال در پاسخ به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد که از طریق افزایش فعالیت پرولین-۵-کربوکسیلات و کاهش فعالیت پیروات دهیدروژناز، منجر به تجمع پرولین در گیاه می‌شود .از آنجا که پرولین یکی از حساس‌ترین اسمولیت‌های افزایش تحمل به تنش می‌باشد، تجمع پرولین در هنگام تنش باعث حفظ ساختار سلولی و جلوگیری از آسیب‌های سلولی خواهد شد. پرولین علاوه بر این که یک ماده محافظ اسمزی می‌باشد در حفظ ثبات پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، تثبیت کردن غشاها و تنظیم pH سلولی نقش دارد (Wang *et al*., 2014). همچنین گزارش شده است که اسیدآمینه گابا از طریق فاکتورهای محیطی (مانند شوک دمای پایین) با واسطه‌گری کاهش اسیدیته سیتوزول و افزایش سطوح کلسیم تجمع می‌یابد (Soleimani-Aghdam *et al*., 2016). واکنش‌های مربوط به انتقال سیگنال، هدایت سلول، واکنش‌های دفاعی در برابر حشرات، تنظیم اسیدیته، تنظیمات واکنش‌های احیا، موازنه انرژی، واکنش یه تنش (مانند قارچ‌های عامل پوسیدگی)، متابولیسم نیتروژن و کربن از واکنش‌هایی است که گابا در آن‌ها نقش دارد (Mirzaei-Mashhod *et al*., 2016). مطالعات نشان می‌دهد که بیوسنتز گابا در گیاهان از طریق مسیر گابا شانت (GABA shunt) اتفاق می‌افتد که سه آنزیم گلوتامات دکربوکسیلاز، گابا ترانس آمیناز و سوکسینیک سمی‌آلدهید دهیدروژناز در این مسیر نقش کلیدی دارند (Kinnersly & Turano, 2000). گزارش‌های مختلف اثر مثبت گابا در افزایش ماندگاری محصولات مختلف را نشان می‌دهد. Solaeimani-Aghdam *et al*. (2016) اثر مثبت گابا بر کاهش خسارت سرمازدگی در گل شاخه‌بریده آنتوریوم و افزایش ماندگاری آن را گزارش کردند. آن‌ها بیان کردند که گل‌های تیمار شده با غلظت یک میلی‌مولار گابا دارای نشت یونی و مالون دی آلدئید پایین‌تری بودند و پیری در این گل‌ها را به تأخیر انداختند Mirzaei-Mashhoud *et al*. (2016) حفظ کیفیت و افزایش عمر گلجایی گل‌های بریده رز رقم "Red Vaomi" توسط کاربرد پس از برداشت گابا در محلول گلجایی را گزارش کردند. همچنین گزارش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد تیمارهای قبل از برداشت در مراحل مختلف رشدی تأثیر متفاوتی بر فیزیولوژی محصولات در قبل و پس از برداشت دارد که می‌تواند عمر پس از برداشت را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین در این پژوهش اثر تیمارهای اسپرمین دو میلی‌مولار و گابا یک میلی‌مولار به صورت دو مرحله محلول‌پاشی (زمان ظهور شاخه گل‌دهنده و ۷ روز پس از آن) و سه مرحله محلول‌پاشی (زمان ظهور شاخه گل‌دهنده، ۵ و ۱۰روز پس از آن) بر برخی خصوصیات کیفی و عمر گلجایی گل‌های ژربرا رقم "Stanza" در برداشت مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

روش اجرای آزمایش و طرح آزمایشی

در این آزمایش اثر محلول‌پاشی تیمارهای اسپرمین دو میلی‌مولار و گابا یک میلی‌مولار (غلظت‌ها بر اساس نتایج پژوهش‌های گذشته انتخاب گردید (Soleimani-Aghdam *et al*., 2016; Kamyab, 2016)) به صورت دو مرحله محلول‌پاشی (زمان ظهور ۵۰ درصد شاخه‌های گل‌دهنده در هر واحد آزمایشی و ۷ روز پس از آن) و سه مرحله محلول‌پاشی (زمان ظهور ۵۰ درصد شاخه‌های گل‌دهنده در هر واحد آزمایشی، ۵ و ۱۰روز پس از آن) به صورت کرت‌های خرد شده برای زمان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با کرت اصلی زمان‌های نمونه‌برداری و کرت فرعی تیمارهای قبل از برداشت بر خصوصیات کیفی و عمر گلجایی گل‌های ژربرا رقم "Stanza" مورد مطالعه قرار گرفت. محلول‌پاشی با آب مقطر نیز به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. فاکتور اول شامل تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا و فاکتور دوم زمان بررسی صفات گل‌ها در پس از برداشت (صفر، ۳، ۶ و ۹ روز) بود. تیمارها در زمان‌های مذکور در یک گلخانه تجاری هیدروپونیک (با دمای ۲۷-۲۴ درجه سانتی‌گراد در طول روز و دمای شب ۲۰-۱۷ درجه سانتی‌گراد در

اواخر شهریور ۱۳۹۷) توسط محلول‌پاش دستی محلول‌پاشی شدند و در مرحله بلوغ تجاری در صبح زود برداشت و در ظروف حاوی آب به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ایلام منتقل گردیدند. در آزمایشگاه پس از برش مجدد گل‌ها در زیر آب، داخل بطری‌های حاوی ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۱/۵ درصد ساکارز و ۱۵۰ پی‌پی‌ام ۸-هیدروکسی کوئینولین سیترات به‌عنوان میکروب‌کش نگهداری شدند. تعداد تکرار در این آزمایش چهار و هر تکرار حاوی ۱۵شاخه‌بریده با ارتفاع یکسان ۴۰ سانتی‌متر که در هر زمان پنج شاخه مورد مطالعه قرار گرفت. گل‌ها تحت دمای ۱±۲۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۶۵ تا۷۰ درصد و ۱۴ ساعت روشنایی با شدت ۲۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه نگهداری شدند و محلول گلجایی نیز هر سه روز یکبار تعویض گردید. عمر گلجایی و برخی صفات کیفی گل‌های ژربرا در زمان برداشت و همچنین طی ۳، ۶ و ۹ روز نگهداری گل‌ها در محلول گلجایی مورد مطالعه قرار گرفت.

اندازه‌گیری عمر گلجایی، وزن تر، میزان جذب محلول گلجایی و مواد جامد محلول گل‌های ژربرا

برای ارزیابی عمر گلجایی، پژمردگی گلبرگ به میزان ۶۰ درصد و خمیدگی گردن بیشتر از ۹۰ درجه پایان عمر گلجایی گل تلقی شد وزن تر نسبی شاخه گل‌ها توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم در ابتدای آزمایش و پیش از قرارگیری در محلول‌ها و پس از آن در طی دوره آزمایش اندازه‌گیری شد .وزن تر شاخه گل بر حسب گرم در زمان برداشت و روزهای ۳، ۶ و ۹ توسط ترازوی دیجیتال بررسی شد. میزان جذب محلول گلجایی در این آزمایش با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید، که در آن VSU جذب محلول گلجایی بر حسب میلی‌لیتر بر گرم وزن تر، S_t وزن محلول در روزهای ۳، ۶ و ۹ بر حسب گرم، S_{t-1} وزن محلول در روز قبل بر حسب گرم می‌باشد. مقدار مواد جامد محلول ساقه در ناحیه گردن گل با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دستی (مدل ATC-1e) در دمای اتاق و برحسب درجه بریکس محاسبه گردید(Koushesh-Saba & Nazari, 2017).

$$VSU= S_{t-1} – S_t \quad (۱)$$

اندازه‌گیری نشت یونی، محتوای مالون دی آلدئید، پرولین فنل کل و فلاونوئید کل گل‌های ژربرا

به منظور اندازه‌گیری نشت یونی قطعاتی با ضخامت یکسان (وزن یک گرم) از گلبرگ‌ها توسط پانچ دستی برداشته و پس از شستشو با آب مقطر در داخل لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفتند. پس از ۴ ساعت قرار گرفتن روی دستگاه شیکر (با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه) هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) محلول توسط دستگاه هدایت الکتریکی‌سنج (مدل MW301) قرائت گردید. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در داخل حمام آب گرم بادمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از سرد شدن، هدایت الکتریکی ثانوی (EC_2) نمونه‌ها اندازه‌گیری و با استفاده از فرمول زیر درصد نشت یونی محاسبه گردید (Valero *et al.*, 1998).

$$EL\% = (EC_1 / EC_2)\times100 \quad (۲)$$

برای تعیین میزان پراکسیده شدن لیپیدها از غلظت مالون‌دی‌آلدهید به‌عنوان محصول واکنش پراکسیده شدن اسیدهای چرب استفاده گردید. برای این منظور ۰/۲ گرم بافت گلبرگ با نیتروژن مایع کاملاً آسیاب شد و به آن یک میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد اضافه گردید. عصاره حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور و دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس ۵۰۰ میکرولیتر محلول رویی به ۵۰۰ میکرولیتر تری‌کلرواستیک اسید ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید بود، اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت نیم ساعت در حمام آب گرم ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بلافاصله در یخ سرد گردید. محلول صورتی مالون‌دی‌آلدهید-تیوباربیتوریک اسید (MDA-TBA) تولید شده در طول موج ۵۳۲ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل S-3100) اندازه‌گیری شد و جذب سایر رنگ‌دهنده‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کم گردید و مقدار مالون‌دی‌آلدهید بر حسب نانومول در کیلوگرم وزن تر گزارش گردید (Shabanian *et al.*, 2018). برای اندازه‌گیری محتوای پرولین گلبرگ‌ها از روش Bates *et al.* (1973) بر حسب نانومول در کیلوگرم وزن تر استفاده شد. محتوای ترکیبات فنلی کل در طول

موج ۷۶۰ نانومتر با روش Tunc-Ozdemir (2009) با استفاده از معرف فولین سیو کالچو و بر اساس استاندارد اسیدگالیک و بر حسب گرم در کیلوگرم وزن تر محاسبه گردید. برای سنجش فلاونوئید کل از روش آلومینیوم کالریمتری به روش ذکر شده توسط Zhishen *et al.* (1999) و جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر استفاده شد. در نهایت محتوای فلاونوئید کل بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه و گزارش گردید.

اندازه‌گیری پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکل پراکسیداز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها ابتدا عصاره آنزیمی از نمونه‌های نگهداری شده در فریزر ۸۰- و در داخل یخ تهیه گردید و سپس فعالیت آنزیم‌های مختلف توسط این عصاره آنزیمی تعیین گردید. برای این منظور ابتدا ۰/۵ گرم از بافت گلبرگ در ۵۰ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار با پی‌اچ ۷/۵ که دارای پلی‌وینیل‌پیرولیدین (PVP) بود بخوبی ساییده شد. سپس عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور و دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند و از محلول شفاف رویی برای سنجش آنزیم‌ها استفاده شد.

غلظت پروتئین بر حسب گرم در کیلوگرم وزن تر و با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین محاسبه گردید. برای این منظور به لوله‌های آزمایش دارای پنج میلی‌لیتر معرف بیوره، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی بافت گلبرگ افزوده و سریع به هم زده شد. پس از پنج دقیقه جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس اندازه‌گیری تجزیه H_2O_2 و کاهش جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر صورت گرفت. مخلوط واکنش (سه میلی‌لیتر) شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار، آب اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. با افزودن پراکسید هیدروژن به مخلوط واکنش، واکنش شروع و کاهش در جذب پراکسید هیدروژن در مدت ۳۰ ثانیه در مدت ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل S-3100) قرائت گردید. برای محاسبه واحد آنزیمی از ضریب خاموشی معادل ($۳۹/۴ \ mM^{-1}cm^{-1}$) استفاده شدو فعالیت این آنزیم بر اساس واحد آنزیمی در کیلوگرم وزن تر گزارش گردید (Sadeghi-Faragheh *et al.*, 2016). برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز میزان فعالیت گایاکول پراکسیداز با استفاده از پیش ماده گایاکول اندازه‌گیری گردید. در این روش ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش دارای ۲/۷۷ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم (۵۰ میلی‌مولار با پی‌اچ ۷)، ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن یک درصد، ۱۰۰ میکرولیتر گایاکول دو درصد و ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. افزایش جذب به‌دلیل اکسیداسیون گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت سه دقیقه اندازه‌گیری شد. مقدار تتراگایاکول تولیدشده با استفاده از ضریب خاموشی $۲۵/۵ mM^{-1}cm^{-1}$ محاسبه شد. هر واحد آنزیمی معادل یک میلی‌مول تتراگایاکول تولیدشده در یک دقیقه می‌باشد که بر اساس واحد آنزیمی در کیلوگرم وزن تر گزارش گردید (Shabanian *et al.*, 2018).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، پلی‌فنل اکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز

برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز سه میلی لیتر مخلوط واکنش دارای بافر فسفات پتاسیم (۵۰ میلی‌مولار با پی‌اچ ۷)، متیونین ۰/۰۱۳ مولار، EDTA ۰/۱ میکرومولار و ریبوفلاوین دو میکرومولار بود که ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه شد و پس از ۱۵ دقیقه نمونه‌ها در تاریکی مطلق نگهداری و جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد و از مخلوط واکنش نگهداری شده در تاریکی به‌عنوان بلانک استفاده شد. فعالیت این آنزیم بر حسب واحد آنزیمی در کیلوگرم وزن تر محاسبه و گزارش گردید (Shabanian *et al.*, 2018). برای اندازه‌گیری آنزیم پلی‌فنل اکسیداز از از پیروگالل به‌عنوان پیش ماده آنزیم استفاده شد. در این روش سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش دارای ۲/۷۷ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم (۵۰ میلی‌مولار با پی‌اچ ۷)، ۲۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۲۰ و بعد از سه دقیقه خوانده و ضریب خاموشی برای محاسبه واحد آنزیمی

$۶/۲mM^{-1}cm^{-1}$ در نظر گرفته شد و بر حسب واحد آنزیمی در کیلوگرم وزن تر محاسبه و گزارش گردید (Sadeghi-Faragheh *et al*., 2016). برای سنجش آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز یک میلی‌لیتر بافر استخراج (بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار) که دارای PVP یک درصد و EDTA یک میلی‌مولار بود، ۰/۵میلی‌لیتر فنیل آلانین ۱۰ میلی‌مولار، ۰/۴ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مخلوط و به مدت یک ساعت در داخل انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سلسیوس نگهداری شد. واکنش با اضافه کردن ۰/۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک شش مولار متوقف شد و جذب نمونه‌ها درطول موج ۲۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه اسید سینامیک تولید شده از منحنی استاندارد اسید سینامیک استفاده شد. هر میلی‌مول اسید سینامیک تولید شده در یک ساعت معادل یک واحد آنزیمی در نظر گرفته شد (Sadeghi-Faragheh *et al*., 2016).

آنالیز آماری

تجزیه واریانس اطلاعات توسط نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) و برای مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار آماری MSTAT-C با استفاده از از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس نتایج آزمایش نشان داد اثر تیمار و زمان‌های بررسی گل‌ها برای همه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل تیمار و زمان بررسی نیز برای وزن تر گل، میزان جذب محلول گلجایی، محتوای پرولین و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال ۵ درصد و برای سایر صفات در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن معنی‌دار گردید (جدول ۱). بنابراین با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس در ادامه مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها و زمان بررسی صفات پس از برداشت مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

اثر تیمارهای آزمایش بر عمر گلجایی (Vase life) گل‌های بریده ژربرا در پس از برداشت

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که همه تیمارها به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عمر گلجایی گل‌های بریده ژربرا در پس از برداشت شدند، به‌طوری‌که بیشترین عمر گلجایی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای اسپرمین سه مرحله محلول‌پاشی، اسپرمین دو مرحله محلول‌پاشی، گابا سه مرحله محلول‌پاشی و گابا دو مرحله محلول‌پاشی بود. همچنین کمترین عمر گلجایی نیز مربوط به نمونه‌های شاهد بود (شکل ۱). نتایج نشان داد که تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا بخوبی باعث حفظ کیفیت و افزایش عمر گلجایی گل‌های ژربرا رقم "Stanza" در پس از برداشت شدند، هرچند که برای صفات مورد مطالعه سه مرحله محلول‌پاشی بهتر از دو مرحله محلول‌پاشی باعث حفظ کیفیت و افزایش عمر گلجایی گل‌های ژربرا شد. این می‌تواند به‌دلیل افزایش سطح داخلی اسپرمین و گابا در گل‌ها به‌دلیل افزایش دفعات محلول‌پاشی و بهبود شرایط رشدی برای گل‌های ژربرا در قبل از برداشت باشد. افزایش سطوح داخلی این ترکیبات در گیاهان ژربرا باعث کاهش تولید اتیلن و افزایش اسمولیت‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدان در گل‌های تولیدی می‌شود که به دنبال آن باعث حفظ کیفیت و افزایش عمر گلجایی این گل‌ها نسبت به شاهد در پس از برداشت شد.

پلی‌آمین‌ها به‌علت تقویت سیستم ضداکسیداسیونی می‌توانند باعث کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن شده و از طرف دیگر با کاهش فعالیت آنزیم لیپوکسی‌ژناز، تخریب لیپیدهای غشا را کاهش دهند و تراوایی غشا را حفظ کنند (Lee *et al*., 1997). همچنین تأخیر در تولید اتیلن و جلوگیری از پراکسیداسیون چربی‌های غشا از دیگر مکانیسم‌های ضدپیری پلی‌آمین‌ها است (Yang *et al*., 2000). گابا نیز از جمله ترکیبات آمینی است که به‌عنوان یک سیگنال‌دهنده در هماهنگی با هورمون‌های اتیلن و اسیدآبسزیک عمل می‌کند (Shelp *et al*., 1990). گابا به‌عنوان یک اسمولیت سازگار با تنش‌های محیطی نیز شناخته شده است. این اسمولیت در

شرایط تنش از مسیر گابا شانت بیوستنز و با تجمع در سلول‌ها باعث حفظ تورژسانس سلولی، محافظت از غشاهای سلولی، پروتئین‌ها و سوخت و ساز گیاه از طریق جلوگیری از هدررفت آب می‌شود (Krishnan *et al*., 2013). بالا بودن سطح پرولین در تیمارهای گابا در روز نهم بررسی می‌تواند یکی دیگر از مکانیسم‌های گابا برای افزایش عمر گلجایی این تیمارها و حفظ کیفیت آن‌ها نسبت به شاهد باشد. مشابه نتایج این پژوهش افزایش عمر گلجایی گل‌های ژربرا رقم Alcatraz توسط تیمار با پلی‌آمین‌های مختلف توسط Palagani & Singh (2017) گزارش شده است. آن‌ها افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش خسارت به دیواره‌های سلولی را عاملی مؤثر بر افزایش عمر گلجایی دانستند. همچنین کاهش خسارت سرمازدگی و افزایش عمر گلجایی گل‌های بریده آنتوریوم تحت تیمار با گابا توسط محققان دیگر گزارش شده است (Soleimani-Aghdam *et al*., 2016).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا بر برخی خصوصیات کیفی گل‌های ژربرا در پس از برداشت

Table 1. Results of variance analysis of preharvest treatments of spermine and GABA on some quality traits of gerbera cut flowers at postharvest

Sources of variance	df	Means of Square							
		Fresh weight	Vase solution uptak	Vase life	Total soluble solids life	Electrolyte leakage	Malondialdehyde	Proline	Total phenolic
Replication	3	2.76^{ns}	0.0008^{ns}	0.13^{ns}	0.17*	5.26*	0.09^{ns}	103.76^{ns}	0.002**
Investigation Time	3	255.35**	0.446**	0.00^{ns}	5.754**	6133.81**	19.59**	22441.20**	0.270**
Error	9	29.31	0.004	0.00	0.89	37.2	0.57	1541.23	0.0099
Treatment	5	36.19**	0.006**	22.70**	0.203**	128.68**	1.28**	951.28**	0.053**
Treatment×Time	15	6.79*	0.002*	0.00^{ns}	0.273*	39.01**	0.19**	299.72*	0.003**
Error	45	16.30	0.0019	3.38	0.46	25.8	0.41	995.23	0.0071
C.V.	-	2.67	3.86	2.75	2.87	6.71	2.27	3.57	3.65

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار

**, *, ns: Significantly differences at the 1 and 5% of probability levels, and ns represent non-significant, respectively.

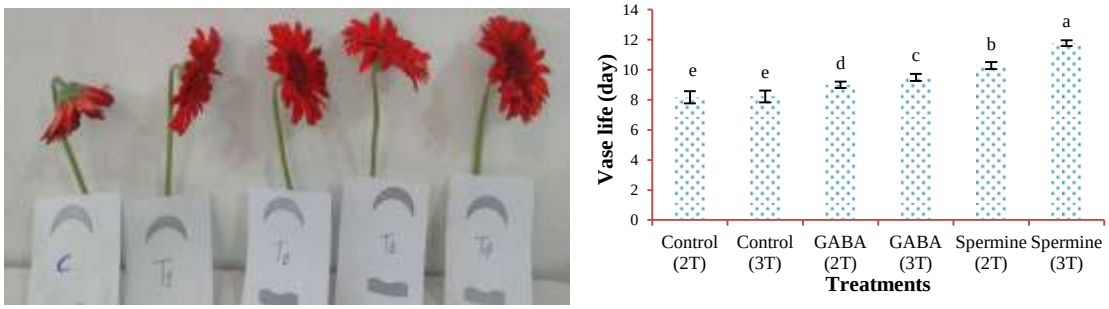
ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا بر برخی خصوصیات کیفی گل‌های ژربرا در پس از برداشت

Continued table 1. Results of variance analysis of preharvest treatments of Spermine and GABA on some quality traits of gerbera cut flowers at postharvest

Sources of variance	df	Means of Square						
		Total flavonoids	Total protein	CAT activity	GPX activity	SOD activity	PAL activity	PPO activity
Replication	3	0.0002^{ns}	0.004*	44.90^{ns}	0.0002^{ns}	5.69^{ns}	0.002**	0.013^{ns}
Investigation Time	3	0.0467**	0.301**	15018**	0.194**	2624.11**	0.1067**	0.686**
Error	9	0.0037	0.019	702.1	0.171	142.1	0.0721	0.429
Treatment	5	0.0081**	0.063**	2202**	0.024**	424.74**	0.0044**	0.221**
Treatment×Time	15	0.0005**	0.007**	369**	0.010**	50.35**	0.0009**	0.016**
Error	45	0.0021	0.015	506.3	0.144	101.01	0.0586	0.303
C.V.	-	5.16	1.98	3.00	6.11	7.42	5.89	5.74

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار

**, *, ns: Significantly differences at the 1 and 5% of probability levels, and ns represent non-significant, respectively.



شکل ۱. اثر تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا بر عمر گلجایی گل‌های بریده ژربرا رقم "Stanza" (در تصویر سمت راست C، T1، T2، T3 و T4 به‌ترتیب شاهد، گابا دومرحله محلول‌پاشی، گابا سه مرحله محلول‌پاشی، اسپرمین دو مرحله محلول‌پاشی و اسپرمین سه مرحله محلول‌پاشی را نشان می‌دهند)

Figure 1. Effect of preharvest treatments of spermine and GABA on vase life of Stanza cultivar of gerbera cut flowers (In right figure C, T1, T2, T3 and T4 are showing control, GABA 2T, GABA 3T, Spermine 2T and Spermine 3T, respectively)

اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر، جذب محلول گلجایی و مواد جامد محلول گل‌های بریده ژربرا در پس از برداشت

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در زمان برداشت بین تیمارها از نظر وزن تر گل‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین بررسی پس از سه روز ماندگاری گل‌ها در محلول گلجایی نشان داد که وزن تر نسبت به زمان برداشت افزایش یافت ولی بیشترین وزن تر مربوط به تیمار سه مرحله محلول‌پاشی با اسپرمین بود، هر چند اختلاف آن با شاهد معنی‌دار بود، ولی با سایر تیمارهای گابا و اسپرمین اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن نداشت. همچنین پس از نه روز ماندگاری کمترین وزن مربوط به نمونه‌های شاهد بود، درحالی‌که تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی و دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین و گابا به‌ترتیب دارای وزن تر نسبی بیشتری نسبت به شاهد بودند و بین دو و سه مرحله محلول‌پاشی گابا با همدیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۲). نتایج نشان داد که با افزایش زمان ماندگاری گل‌ها در محلول گلجایی میزان جذب محلول گلجایی به تدریج کاهش یافت ولی پس از نه روز ماندگاری همه تیمارها نسبت به شاهد دارای جذب محلول بیشتری بودند. در بین تیمارها نیز بیشترین جذب محلول گلجایی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین، دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین، سه مرحله محلول‌پاشی گابا و دو مرحله محلول‌پاشی گابا بود (شکل ۲). از نظر محتوای مواد جامد محلول بیشترین مقدار در نمونه‌های شاهد و پس از سه روز نگهداری مشاهده شد و با افزایش زمان ماندگاری در روز ششم و نهم محتوای مواد جامد محلول در گل‌ها کاهش یافت ولی تیمارهای آزمایش باعث حفظ مواد جامد محلول گل‌ها طی دوره ماندگاری پس از برداشت شدند به‌طوری‌که نتایج بررسی در روز نهم نشان داد که بیشترین مقدار مواد جامد محلول به‌ترتیب مربوط به تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین، دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین و تیمارهای گابا بود که بین دو مرحله محلول‌پاشی و سه مرحله محلول‌پاشی گابا در روز نهم بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۲). کاهش وزن گل‌های بریدنی یکی از مراحل آغاز پیری در گل‌ها می‌باشد و در واقع هر چه گل‌ها به مرحله پیری نزدیک‌تر می‌شوند توانایی جذب آب در آن‌ها کم شده و سپس با نامتعادل شدن جذب آب و تعرق بیشتر، تورژسانس یاخته‌ای از بین می‌رود و گل‌ها دچار پژمردگی می‌شوند (Reid & Jiang, 2012). همچنین انسداد آوندی و خم شدن گردن گل از دیگر عوامل نامتعادل شدن جذب آب توسط گل‌ها و کاهش وزن آن‌ها در طی زمان نگهداری می‌باشد. ترکیبات آمینی از جمله اسپرمین و گابا با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش باعث حفظ تورژسانس سلولی شده و فشار لازم برای جذب آب در گل‌ها در طی دوره نگهداری را بهبود دادند. Tanazad

et al. (2016) بهبود جذب آب نسبت به شاهد در گل‌های میخک رقم دیانا تیمار شده با بتا آمینوبوتریک اسید را طی نگهداری پس از برداشت به القای مقاومت به پاتوژن و کاهش انسداد آوندی نسبت دادند. Kamyab (2016) جذب آب بیشتر گل‌های میخک تیمار شده با پلی‌آمین‌ها نسبت به شاهد را استحکام و حفظ تورژسانس ساقه گل‌ها به‌دلیل کاربرد پلی‌آمین‌ها نسبت داده است. همچنین جذب بیشتر آب در گل‌های گلایول تیمارشده با پلی‌آمین‌ها توسط Sivaprakasam *et al.* (2009) گزارش شده است که با نتایج حاضر برای گل‌های ژربرا رقم Stanza مطابقت دارد.

تغییرات وزن تر در طول آزمایش روندی کاهشی است که علت آن می‌تواند ناشی از انسداد آوندها و عدم جذب کافی آب، خم شدن گردن گل و ممانعت از انتقال راحت آب به دیسک گل، فرایند پیری و از دست رفتن تورژسانس سلولی باشد. اتیلن از مهمترین ترکیبات القا کننده پیری و زوال در پس از برداشت گل‌های بریده می‌باشد که بیوسنتز آن با تولید پلی‌آمین‌ها در رقابت می‌باشد (Pandey *et al*., 2000). گابا در پس از برداشت با افزایش سطح پرولین داخلی به صورت اسمولیت عمل کرده و با حفظ فشار و تورژسانس سلولی باعث حفظ جذب آب از محلول‌های نگهدارنده می‌شوند (Krishnan *et al*., 2013). رقابت پلی‌آمین‌ها از جمله اسپرمین با اتیلن در مسیر بیوسنتز خود و همچنین افزایش سطوح داخلی پرولین توسط تیمارهای گابا می‌توانند دلایلی در جهت تأخیر در فرایند تنفس و زوال و حفظ رابطه آبی گل‌ها به شمار آورد. حفظ رابطه آبی گل‌ها علاوه بر جذب بیشتر آب باعث افزایش وزن تر، حفظ مواد جامد محلول، کاهش نشت یونی، کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید و افزایش عمر گلجایی گل‌ها خواهد شد. Danaee *et al.* (2013) گزارش کردند که تیمار اسیدسالیسیلیک و بنزیل آدنین باعث افزایش وزن تر گل ژربرا و سپس حفظ آن نسبت به شاهد در طول هفت روز نگهداری می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. Koushesh-Saba & Nazari (2017) بیان کردند که وزن تر نسبی در گل‌های ژربرا از روز چهارم پس از برداشت شروع به کاهش می‌کند که این می‌تواند به‌دلیل کاهش مواد جامد محلول، افزایش تبخیر و تعرق و کاهش جذب محلول گلجایی در پس از برداشت باشد. مشابه نتایج حاضر افزایش وزن تر گل‌های آلسترومریا توسط تیمار با اسپرمین و پوترسین (Alborz *et al.*, 2015) و در گل‌های آنتوریوم تحت تیمار با گابا تحت شرایط انبار سرد توسط Solaeimani-Aghdam *et al.* (2016) گزارش شده است.

مواد جامد محلول در روز سوم بررسی افزایش و سپس در روزهای ششم و نهم سیر نزولی داشت که می‌تواند به‌دلیل افزایش تنفس و زوال گل‌ها در پس از برداشت و مصرف قندها در فرایند تنفس باشد. در طی فرایند تنفس و چرخه کربس ماکرومولکول‌ها شکسته و ترکیباتی چون قندها، چربی‌ها و اسیدها جهت تهیه انرژی مورد نیاز سلول مصرف می‌شوند (Koushesh-Saba & Nazari, 2017). گزارش شده که پلی‌آمین باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک شده که در نتیجه آن تجزیه مواد و اتلاف آن‌ها در فرایند تنفس نیز کاهش می‌یابد (Dantuluri *et al*., 2008). ترکیبات آمینی از جمله اسپرمین و گابا با کاهش تولید اتیلن طی زمان نگهداری سبب کاهش تنفس و در نتیجه کاهش مصرف پروتئین‌ها و قندهای محلول می‌گردد (Kamyab, 2016). نتایج این پژوهش نشان داده که تیمارهایی که دارای عمر گلجایی بیشتری بودند، دارای مواد جامد محلول و محتوای پروتئین کل بیشتری نیز بودند. حفظ پروتئین کل ارقام مختلف گل بریده ژربرا تیمار شده با نیتروپروسید توسط Shabanian *et al.* (2018) گزارش شده است که با نتایج حاضر همسو است.

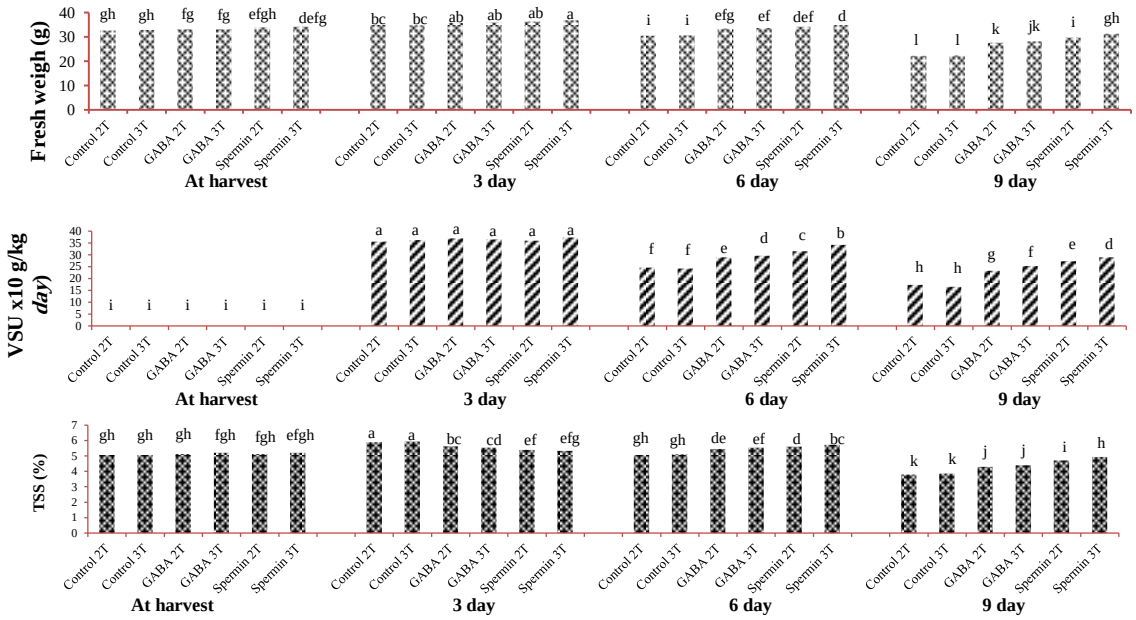
با افزایش زمان ماندگاری گل‌ها، جذب آب کاهش یافته و تولید اتیلن و تنفس افزایش می‌یابد. در این وضعیت به‌دلیل افزایش تنش سلولی، گونه‌های فعال اکسیژن تمایل زیادی برای حمله به غشاءهای سلولی از خود نشان می‌دهند که در این شرایط نشت یونی، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پرولین افزایش می‌یابد. در شرایط تنش افزایش آنزیم‌های ضداکسیدانی به حفظ ساختار سلول در برابر خسارت اکسیداتیو در اثر گونه‌های اکسیژن فعال کمک می‌کند و ساختار غشاء

را که محل اصلی اثر گونه‌های اکسیژن فعال می‌باشد حفظ می‌کند (Jayaprakasha *et al*., 2007). در این پژوهش گابا و اسپرمین از طریق کاهش تولید اتیلن، تنفس و خسارت سلولی باعث کاهش نشت یونی و محتوای مالون‌دی‌آلدهید و حفظ محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد شدند. در گزارشی مشابه کاربرد اسپرمین باعث کاهش تولید اتیلن و نشت یونی و تأخیر در پیری گل‌های بریده میخک شد (Lee *et al*., 1997). همچنین گابا در شرایط تنش با تجمع در سلول‌ها و نقش سیگنالی خود در تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نقش دارد که با کاهش تنش و خسارت سلولی باعث کاهش تنفس و تأخیر در پیری گل‌ها می‌شود (Yin *et al*., 2005).

اثر تیمارهای آزمایش بر نشت یونی، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پرولین گل‌های بریده ژربرا در پس از برداشت

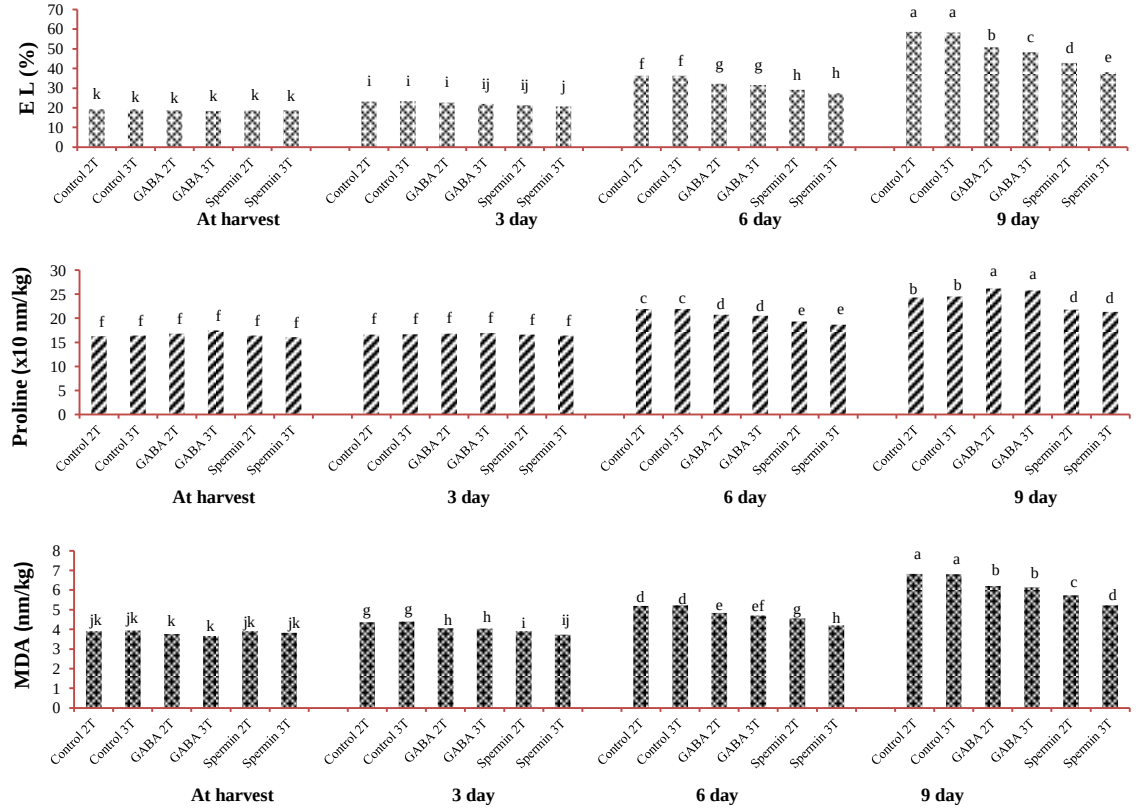
نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار و زمان نشان داد که در زمان برداشت بین تیمارها و شاهد از نظر نشت یونی گلبرگ‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ولی با افزایش زمان نگهداری گل‌ها در محلول گلجایی به تدریج نشت یونی افزایش یافت. نتایج مطالعه نشت یونی نشان داد که بیشترین نشت یونی در روز نهم بررسی مشاهده گردید ولی در این زمان همه تیمارها دارای نشت یونی کمتری نسبت به شاهد بودند، به‌طوری‌که به‌ترتیب تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین (۴۸/۱۳ درصد)، دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین (۵۲/۸۶ درصد)، سه مرحله محلول‌پاشی گابا (۵۸/۳۶ درصد) و دو مرحله محلول‌پاشی گابا (۶۰/۸۰ درصد) دارای نشت یونی کمتری نسبت به شاهد بودند (شکل ۳). همچنین با افزایش نگهداری گل‌های ژربرا در محلول نگهدارنده محتوای پرولین و مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافت. بررسی نتایج در روز نهم ماندگاری گل‌ها در محلول نگهدارنده نشان داد که بیشترین محتوای پرولین مربوط به تیمارهای گابا و بیشتر از نمونه‌های شاهد بود و کمترین نیز در تیمارهای اسپرمین مشاهده گردید، هرچند که بین مرحله‌های محلول‌پاشی تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. درحالی‌که پس از نه روز نگهداری گل‌ها همه تیمارها دارای محتوای مالون‌دی‌آلدهید کمتری نسبت به شاهد بودند، به‌طوری‌که تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین و دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین به‌ترتیب دارای کمترین محتوای مالون‌دی‌آلدهید بودند. همچنین پس از تیمارهای اسپرمین اگرچه بین دو مرحله و سه مرحله محلول‌پاشی گابا با همدیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید، ولی دارای محتوای مالون‌دی‌آلدهید کمتری نسبت به شاهد بودند (شکل ۳).

ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن در تنش‌های مختلف می‌تواند باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غشا شده که افزایش نشت یونی و همچنین میزان مالون‌دی‌آلدهید به‌عنوان محصول نهایی این اکسیداسیون نشان دهنده تخریب و افزایش نفوذپذیری غشای سلول‌ها است (Sofo *et al*., 2004; Marie *et al*., 1995). در این پژوهش کاهش نشت یونی و محتوای مالون‌دی‌آلدهید با حفظ بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان همراه بود. به‌طوری‌که تیمارهایی که دارای نشت یونی و محتوای مالون‌دی‌آلدهید کمتری بودند، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در آن‌ها نیز بیشتر بود. پلی‌آمین‌ها با رقابت با پیش‌سازهای اتیلن و همچنین افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش خسارت به غشاهای سلول و پراکسیده شدن لیپیدها می‌شود (Kharrazi *et al*., 2017). باند شدن پلی‌آمین‌ها به مواد پکتیکی دیواره سلولی، دسترسی آنزیم‌های تخریب کننده دیواره‌ی سلولی و هیدرولتیکی را به مواد پکتینی کاهش می‌دهد. در نتیجه فعالیت آنزیم گالاکترونار متناسب با غلظت پلی‌آمین‌ها کاهش می‌یابد (Martinez-Tellez *et al*., 2002). تأثیر پلی‌آمین‌ها بر استحکام دیواره‌های سلولی مشابه اثر کلریدکلسیم است که ممکن است به‌دلیل توانایی مشابه این دو ترکیب در اتصال به دیواره‌ها و غشاهای سلولی باشد (Valero *et al*., 1998). پلی‌آمین‌ها با مولکول‌های آنیونی نظیر پروتئین‌ها، فسفولیپیدها و ترکیبات پکتیکی اتصال می‌یابند که این ممکن است دلیل کاهش فعالیت آنزیم پکتیناز باشد و حفظ دیواره‌های سلولی باشد (Apel *et al*., 2004).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا بر وزن تر، جذب محلول گلجایی و مواد جامد محلول گل‌های بریده ژربرا رقم "Stanza"

Figure 2. Mean comparison effect of preharvest treatments of spermine and GABA on fresh weight, VSU and TSS of Stanza cultivar of gerbera cut flowers



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا بر نشت یونی، محتوای پرولین و مالودن‌دی‌آلدهید گل‌های بریده ژربرا رقم "Stanza"

Figure 3. Mean comparison effect of preharvest treatments of spermine and GABA on EL, proline and MDA of Stanza cultivar of gerbera cut flowers

اثر تیمارهای آزمایش بر فنل کل و فلاونوئید کل گل‌های بریده ژربرا در پس از برداشت

نتایج نشان داد که با افزایش زمان نگهداری محتوای فنل و فلاونوئید کل در گل‌ها به‌تدریج کاهش یافت که بیشترین و کمترین مقدار آن‌ها به‌ترتیب در زمان برداشت و روز نهم بررسی مشاهده گردید. همچنین در روز نهم بررسی همه تیمارها دارای محتوای فنل کل و فلاونوئید کل بیشتری نسبت به شاهد بودند، به‌طوری‌که به‌طور مشابه بیشترین محتوای فنل کل و فلاونوئید کل به‌ترتیب مربوط به تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین، دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین، سه مرحله محلول‌پاشی گابا و دو مرحله محلول‌پاشی گابا بود، هرچند که اختلاف بین دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین با سه مرحله محلول‌پاشی گابا و دو و سه مرحله محلول‌پاشی گابا با همدیگر معنی‌دار نبود (شکل ۴).

مطالعات نشان می‌دهد که رابطه مثبتی بین محتوای فنل کل، فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد (Ghasemzadeh *et al*., 2010). در سلول‌های گیاهی ترکیبات فنلی به‌ویژه پلی‌فنل‌ها در کاهش سم-زدایی پراکسید هیدروژن بسیار کارا عمل کرده و به‌عنوان سیستم پشتیبان چرخه آسکوربات‌گلوتاتیون در دفع رادیکال‌های پراکسید هیدروژن شرکت می‌کنند (Sakihama *et al*., 2002). در این پژوهش کاهش ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها با افزایش زمان نگهداری گل‌ها بیانگر راهبرد سلول‌ها برای مقابله با تنش اکسیداتیو است، که حفظ فنل و فلاونوئید کل در تیمارها نسبت به شاهد به‌دلیل کاهش تنش اکسیداتیو در این تیمارها به‌دلیل افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنفس و تولید اتیلن و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز می‌باشد. گزارش شده است که در تنش‌های اکسیداتیو ترکیبات فنلی به‌ویژه فلاونوئیدها می‌توانند با فسفولیپیدهای غشا از طریق پیوند هیدروژنی با سرهای قطبی فسفولیپیدها ارتباط برقرار کنند، در نتیجه این ترکیبات در سطح داخل و خارج غشا جمع شده و به‌دلیل جلوگیری از دستیابی مولکول‌های آسیب رسان به ناحیه هیدروفوبی دو قطبی به حفظ سیالیت و تمامیت غشا کمک می‌کنند. چالکون سنتتاز که پیش‌ساز فلاونوئیدها را تولید می‌کند توسط گابا و پلی‌آمین‌ها القا می‌شود (Michalak, 2006). بنابراین با توجه به حفظ محتوای فلاونوئید و فنل کل گل‌ها در تیمارهای اسپرمین و گابا می‌توان نتیجه گرفت که بخشی از اثر حفاظتی این تیمارها در برابر خسارت رادیکال‌های آزاد از طریق تقویت سیستم آنتی‌اکسیدان به وسیله فلاونوئیدها و فنل‌ها صورت می‌گیرد. همچنین قهوه‌ای شدن داخلی و خارجی بافت‌ها مربوط به اکسید شدن ترکیبات فنلیک توسط آنزیم پلی‌فنل اکسیداز است (Crisosto *et al*., 2007). این آنزیم عامل تبدیل ترکیبات فنلی به کوئینون‌هاست که تحت تابش نور می‌توانند به انواع رادیکال‌های آزاد تبدیل شوند (Marschner *et al*., 1995).

پلی‌آمین‌ها می‌توانند به‌عنوان غیرفعال کننده‌های رادیکال‌های آزاد عمل کرده و غشاهای سلولی را در برابر اکسیده شدن حفظ کنند و با حفظ سیالیت غشا افزایش سطح پلی‌آمین‌های داخلی، نشت یونی و قهوه‌ای شدن پوست و گلبرگ کاهش می‌یابد (Tassoni, 1998). نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهایی که دارای عمرگلجایی و کیفیت بیشتری بودند، دارای محتوای فلاونوئید و فنل بیشتر و همچنین سطح پایین‌تری از آنزیم پلی‌فنل اکسیداز بودند. کاهش آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در اثر تیمار گل‌های آلسترومریا با اسپرمین و پوترسین توسط Alborz *et al.* (2015) گزارش شده است. همچنین حفظ محتوای فنل کل گل‌های آنتوریوم تیمار شده با اسیدجیبریک و اسپرمین به افزایش سطح پلی‌آمین‌های داخلی و کاهش تنفس در گل‌های بریده نسبت داده شده است (Simoes *et al*., 2018). در گزارشی دیگر حفظ فنل کل در گل‌های ژربرا تیمار شده یا نیتروپروسید به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نسبت داده شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Shabanian *et al*., 2018).

اثر تیمارهای آزمایش بر پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکل پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، فنیل‌آلانین آمونیالیاز و پلی‌فنل اکسیداز گل‌های بریده ژربرا در پس از برداشت

نتایج نشان داد که در زمان برداشت بیشترین محتوای پروتئین کل مربوط به تیمار سه مرحله محلول‌پاشی

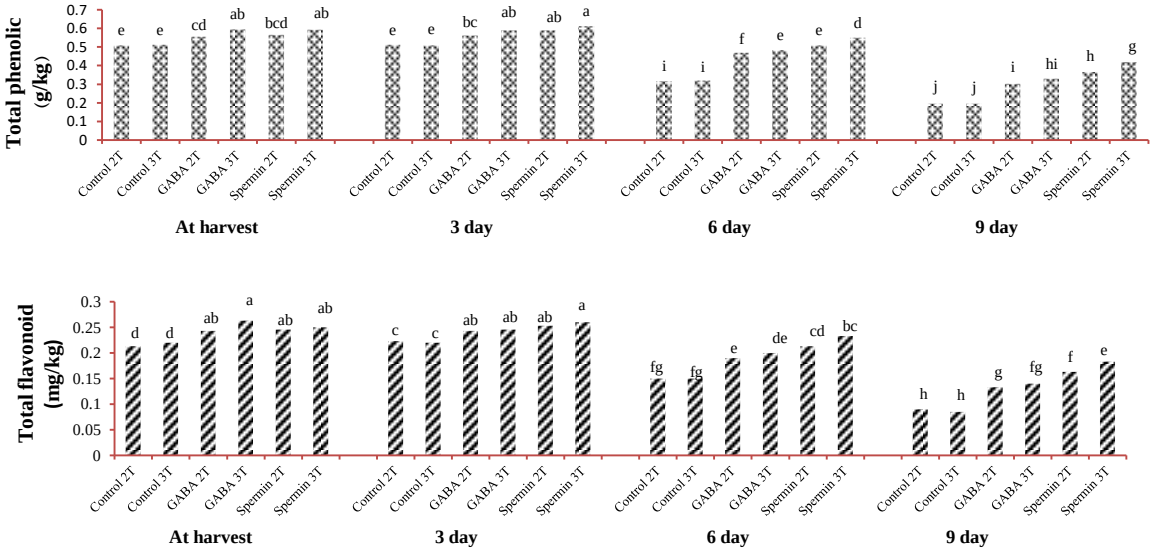
گابا بود و تفاوت آن با تیمار سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین معنی‌دار نبود. با افزایش زمان نگهداری مقدار پروتئین کل کاهش یافت، ولی پس از نه روز بررسی همه تیمارها دارای محتوای پروتئین کل بیشتری نسبت به شاهد بودند. در بین تیمارها نیز به‌ترتیب بیشترین محتوای پروتئین کل مربوط به تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین، دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین و دو تیمار گابا (بدون اختلاف معنی‌دار با همدیگر) بود (شکل ۵). بررسی نتایج مربوط به فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و گایاکل پراکسیداز نشان داد که بیشترین فعالیت این دو آنزیم در زمان برداشت مشاهده گردید و بین تیمارهای قبل از برداشت و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. همچنین با افزایش زمان نگهداری گل‌ها در محلول گلجایی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکل پراکسیداز به تدریج کاهش یافت، به‌طوری‌که کمترین میزان فعالیت این دو آنزیم در روز نهم بررسی مشاهده گردید، ولی در این زمان همه تیمارها بخوبی باعث حفظ فعالیت هر دو آنزیم نسبت به شاهد شدند. در روز نهم بررسی بیشترین فعالیت کاتالاز و گایاکل پراکسیداز در تیمار سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین مشاهده گردید و پس از آن تیمار دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین قرار داشت. همچنین بین تیمارهای دو و سه مرحله محلول‌پاشی گابا با همدیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ولی به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکل پراکسیداز در این تیمارها در روز نهم بررسی بیشتر از شاهد و کمتر از تیمارهای اسپرمین بود (شکل ۵).

نتایج مربوط به فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نشان داد که در زمان برداشت فعالیت این آنزیم در تیمار سه مرحله محلول‌پاشی گابا بیشتر از سایر تیمارها بود و بین شاهد و سایر تیمارها نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. در روز سوم بررسی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به زمان برداشت افزایش یافت و بیشترین و کمترین فعالیت آن به‌ترتیب مربوط به تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین و شاهد بود. همچنین در مرتبه بعدی تیمار دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین و تیمارهای گابا دارای فعالیت سوپراکسید دیسموتاز بیشتری نسبت به شاهد بودند. همچنین نتایج گویای آن بود که در روزهای ششم و نهم میزان فعالیت این آنزیم کاهش یافت و در روز نهم بررسی نیز بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب در تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین، دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین و تیمارهای گابا (بدون اختلاف معنی‌دار بین مراحل محلول‌پاشی) بود (شکل ۶). در زمان برداشت فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در تیمار سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین بیشتر از شاهد بود و بین سایر تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید و با افزایش زمان نگهداری گل‌ها در پس از برداشت میزان فعالیت این آنزیم کاهش یافت. بررسی نتایج در روز نهم نگهداری نشان داد که بیشترین فعالیت این آنزیم به‌ترتیب در تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین، دو مرحله محلول‌پاشی اسپرمین، سه مرحله محلول‌پاشی گابا و دو مرحله محلول‌پاشی گابا مشاهده گردید (شکل ۶). بررسی نتایج مقایسه میانگین فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نیز نشان داد که در زمان برداشت فعالیت آنزیم پلی-فنل اکسیداز در همه تیمارها نسبت به شاهد کمتر بود، به‌طوری‌که فعالیت این آنزیم در تیمار سه مرحله محلول‌پاشی گابا کمتر از سایر تیمارها بود و در مرتبه بعدی تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین و دو مرحله محلول‌پاشی گابا بدون اختلاف معنی‌دار با همدیگر دارای فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز کمتری نسبت به شاهد بودند. همچنین با افزایش زمان نگهداری گل‌ها فعالیت این آنزیم افزایش یافت، ولی پس از نه روز نگهداری گل‌ها در پس از برداشت همه تیمارها دارای فعالیت پلی‌فنل اکسیداز کمتری نسبت به نمونه‌های شاهد بودند. در بین تیمارها نیز در روز نهم نگهداری کمترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تیمار سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین مشاهده گردید و اختلاف تیمار سه مرحله محلول‌پاشی گابا با تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی اسپرمین و دو مرحله محلول‌پاشی گابا نیز معنی‌دار نبود (شکل ۶).

بافت‌های گیاهی برای مقابله با گونه‌های فعال

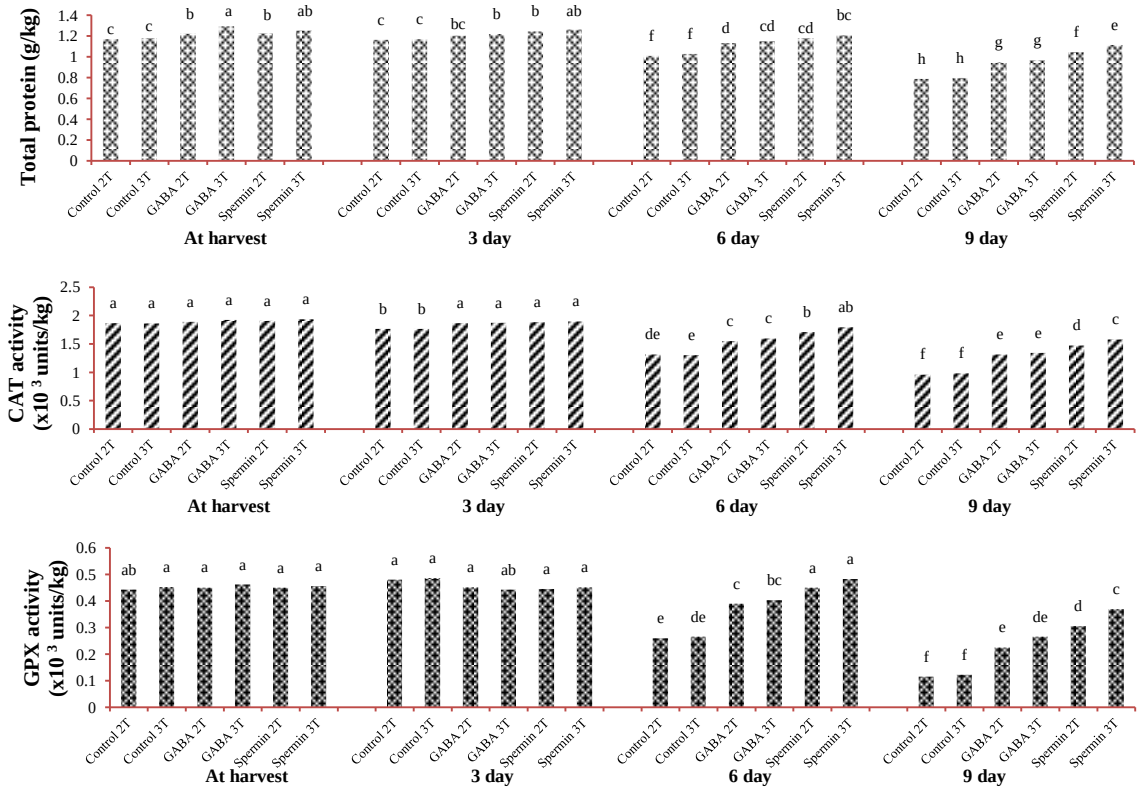
اکسیژن به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مجهز هستند. در شرایط تنش در بافت‌های زنده به‌طور طبیعی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد. این ترکیبات با حذف رادیکال‌های آزاد موجب جلوگیری از خسارت به بافت‌های گیاهی می‌شوند (Kopyra & Gwozdz, 2003). سوپراکسید دیسموتاز اولین آنزیم در فرایند سمیت‌زدایی ROS به‌شمار می‌رود. این آنزیم نقش حیاتی در دفاع آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کند، زیرا تبدیل O_2^- به H_2O_2 را کاتالیز می‌کند. در حالی‌که کاتالاز و پراکسیداز H_2O_2 را تخریب می‌کنند (Valero *et al*., 1998). در نتیجه قطع ارتباط گل‌های بریده با گیاه مادری و افزایش تنش در طول دوره ماندگاری (به‌دلیل آغاز فرایند پیری و زوال)، مقدار رادیکال‌های آزاد افزایش و به دنبال آن میزان مواد ذخیره‌ای و پیش‌ماده‌های آنتی‌اکسیدانی در طی زمان نگهداری نیز کاهش می‌یابد (Chanjirakul *et al*., 2008). بنابراین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ضمن حذف رادیکال‌های آزاد و کاهش خسارت تنش، مقدار آن‌ها در طی زمان ماندگاری گل‌ها کاهش می‌یابد. پلی‌آمین‌ها به طور مستقیم یا از طریق کاهش گونه‌های فعال اکسیژن با کاهش تولید اتیلن و تنفس گل‌ها باعث حفظ آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان طی زمان انبارداری می‌شوند (Kakkar & Sawhney, 2003). مشابه نتایج حاضر حفظ آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گل‌های آلسترومریا تیمارشده با پوتریسین و اسپرمین طی دوره ماندگاری گزارش شده است (Alborz *et al*., 2015). همچنین در گزارشی دیگر کاربرد پلی‌آمین اسپرمیدین باعث افزایش آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و کاهش سطح ROS در جلبک سبز شد که با این نتایج همسو است (Piotrowska, 2011). Zarei *et al*. (2018) افزایش سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گوجه‌فرنگی توسط تیمار گابا را گزارش کردند. همچنین بالا بودن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گل‌های آنتوریوم تیمار شده با گابا و اسید سالیسیک به کاهش تنفس و تنش در گل‌های تیمار شده نسبت داده شده است (Soleimani-Aghdam *et al*., 2016). در گزارشی دیگر تیمار گل‌های آنتوریوم با اسیدجیبرلیک و اسپرمین باعث حفظ آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در طی زمان نگهداری شد (Simoes *et al*., 2018). همچنین گزارش شده است که تیمار گل‌های آنتوریوم با اسپرمین باعث افزایش سطح اسپرمین داخلی گل‌ها و کاهش تولید اتیلن و تنفس و حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدان می‌شود (Simoes *et al*., 2018) که می‌تواند یکی از دلایل بالابودن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گل‌های تیمارشده در این پژوهش باشد.

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز یکی از آنزیم‌های گیاهی است که اگرچه اثر آنتی‌اکسیدانی آن شناخته نشده است ولی در اکثر تنش‌های زیستی مقدار آن افزایش می‌یابد که این افزایش با ایجاد مقاومت به تنش‌های اکسیداتیو همبستگی مثبت دارد. این آنزیم یکی از مهمترین آنزیم‌ها در مسیر ساخت ترکیبات فنلی از جمله لیگنین است (Bharti & Khurana, 1997). ترکیبات فنلی به‌دلیل طبیعت واکنش‌پذیر خود، می‌توانند با رادیکال‌های آزاد واکنش داده و از اینرو خسارت‌های ناشی از آن‌ها را در سلول‌های گیاهی کاهش دهند (Tepe *et al*., 2006). لیگنین نیز یکی از ترکیبات مهم در ایجاد استحکام سلولی و کاهش خمیدگی گردن در گل‌های ژربرا است (Nazari deljou *et al*., 2015; Vanholme *et al*., 2010). از اینرو نتایج این تحقیق بخوبی نشان می‌دهد که تیمارهایی که عمر گلجایی بیشتری داشتند، علاوه بر اینکه میزان نشت یونی در آن‌ها کمتر بود، دارای بازارپسندی بیشتری (خمیدگی گردن و پژمردگی کمتر) بودند و مقدار آنزیم PAL نیز در آن‌ها در سطح بالاتری قرار داشت. مشابه نتایج این آزمایش Danaee *et al*. (2013) برای گل ژربرا مشاهده کردند که گل‌هایی که دارای عمر گلجایی بیشتری بودند، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین فعالیت آنزیم PAL در آن‌ها بیشتر بود و مقدار مالون‌دی‌آلدهید و نشت یونی نیز در آن‌ها در سطح پایین‌تری نسبت به شاهد قرار داشت.



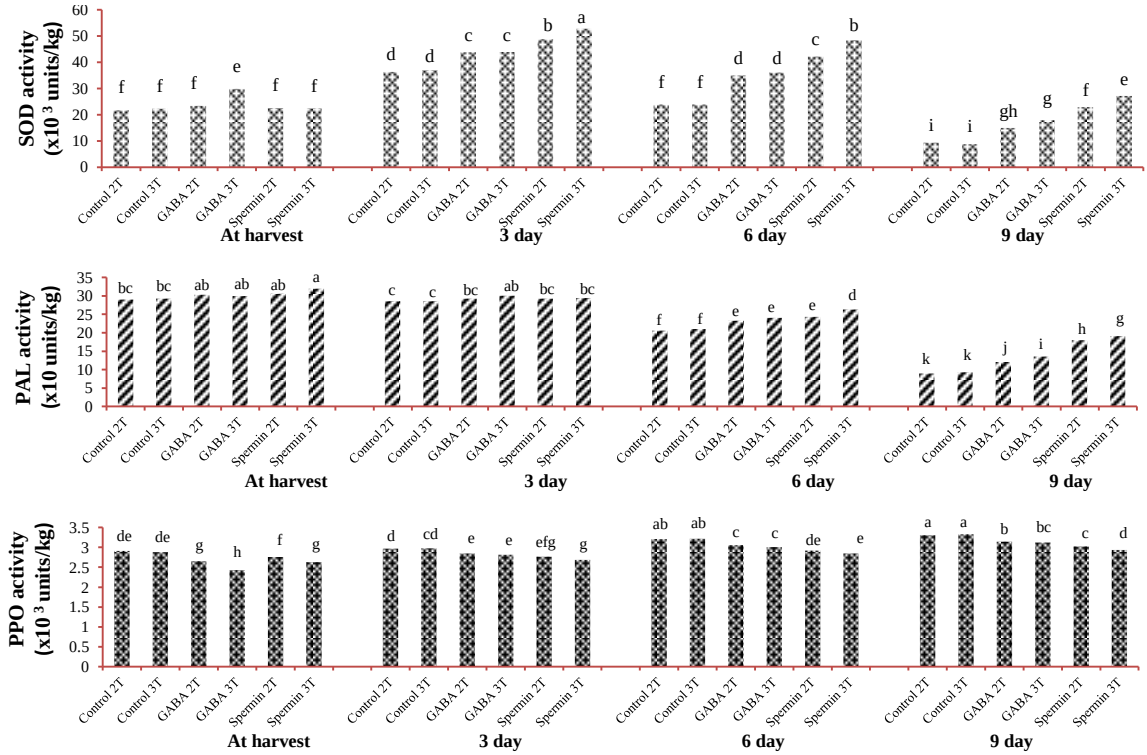
شکل ۴. مقایسه میانگین اثر تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا بر محتوای فنل و فلاونوئید کل گل‌های بریده ژربرا رقم "Stanza"

Figure 4. Mean comparison effect of preharvest treatments of spermine and GABA on total phenolic and flavonoid of Stanza cultivar of gerbera cut flowers 'Stanza cultivar'



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا بر محتوای پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکل پراکسیداز گل‌های بریده ژربرا رقم "Stanza"

Figure 5. Mean comparison effect of preharvest treatments of spermine and GABA on total protein, CAT and GPX activity of Stanza cultivar of gerbera cut flowers



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین و گابا بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، فنیل‌آلانین آمونیالیاز و پلی‌فنل اکسیداز گل‌های بریده ژربرا رقم "Stanza"

Figure 6. Mean comparison effect of preharvest treatments of spermine and GABA on SOD, PAL and PPO activity of Stanza cultivar of gerbera cut flowers

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که تیمارهای قبل از برداشت اسپرمین بهتر از گابا باعث حفظ کیفیت و افزایش عمر گلجایی گل‌های شاخه‌بریده ژربرا رقم "Stanza" در پس از برداشت شدند. احتمالاً تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش به گل‌ها توسط تیمارهای اسپرمین و همچنین افزایش سطح پرولین و جلوگیری از افزایش تنش و افت رطوبت گل‌ها توسط تیمارهای گابا از مهمترین مکانیسم‌های افزایش عمر گلجایی و حفظ کیفت گل‌ها در این پژوهش باشد. همچنین تیمارهای سه مرحله محلول‌پاشی بهتر از دو مرحله محلول‌پاشی بر حفظ کیفیت و عمر گلجایی گل‌ها تأثیر داشتند. بنابراین باتوجه به نتایج، استفاده از تیمارهای فوق در جهت حفظ کیفیت و افزایش عمر گلجایی گل‌های ژربرا در فرایند نگهداری و بازاررسانی توصیه می‌گردد.

REFERENCES

1. Aghdam, M., Hassanpour Asil, M., Ghasem-Nezhad, M. & Mosavi, S.A.A. (2020). Effects of pre-harvest applications of different source of calcium on the quality of gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) flower in two cultivars of Intense and Rosaline. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(2), 329-344. (in Farsi)
2. Alborz, Z., Habibi, F. & Mortazavi, S. N. (2015). Effect of putrescine and spermine spraying on increasing vase life of *Alstroemeria* (cv. 'Sukari'). *Journal of Agriculture Management*, 17(1), 241-255. (in Farsi)
3. Apel, K. & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373-399.
4. Ataii, D., Naderi, R. & Khandan-Mirkohi, A. (2015). Exogenous putrescine delays senescence of Lisianthus cut flowers. *Journal of Ornamental Plant*, 5, 167-174. (in Farsi)
5. Bates, L., Waldren, R.P. & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207.

6. Bharti, A.K. & Khurana, J.P. (1997). Mutant of Arabidopsis as tools to understand the regulation of phenyl propanoids pathway and UV-B protection mechanism. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 65(1), 765-776.
7. Chanjirakul, K., Shiowm U.Y., Chienm Y.W. & Siriphanich, J. (2008). Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries. *Postharvest Biology and Technology*, 40, 106-115.
8. Crisosto, C.H., Micham, E.J. & Kader, A.A. (2007). *Pomegranate: Recommendation for maintaining postharvest quality*. Department of Plant Sciences. University of California.1-4 Pp.
9. Danaee, E., Naderi, R., Kalatejari, S. & LadanMoghadam, A.R. (2013). Evaluation the effect of nanosilver with salicylic acid and benzyladenine on longevity of Gerbera flowers. *Journal of Basic and Applied Sciences Research*, 3(8), 682-690. (in Farsi)
10. Dantuluri, V.S.R., Misra, R.L. & Singh, V.P. (2008). Effect of polyamines on postharvest life of gladiolus spikes. *Journal of Ornamental Horticulture*, 11(1), 66-68.
11. Galston, A.W. & Kaur-Sawhney, R. (1990). Polyamines in plant physiology. *Plant Physiology*, 94, 406-410.
12. Ghasemzadeh, A., Jaafar, H.Z. & Rahmat, A. (2010). Antioxidant activities, total henolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 15(6), 4324-33.
13. Halevy, A.H. & Mayak, S. (1981). Senescence and postharvest physiology of cut flower. *Horticuture Reviw*, 3, 59-146.
14. He, S., Joyce, D.C., Irving, D.E. & Faragher, J.D. (2006). Stem end blockage in cut Grevillea 'Crimson Yul-lo' inflorescences. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 78-84.
15. Jayaprakasha, G.K., Negi, P.S., Jena, B.S. & Rao, L.J.M. (2007). Antioxidant and antimutagenic activities of *Cinnamomum zeylanicum* fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 330-336.
16. Kakkar, R.K. & Sawhney, V.K. (2003). Polyamine research in plants a changing perspective. *Physiolgia Plantarium*, 116, 281-292.
17. Kamyab, F. (2016). Effect of different polyamines on vase life, ethylene production and some physiological characteristics of Red Corsa cultivar of carnation flower. *Agricultural Crop Management*, 18(2), 275-288. (in Farsi)
18. Khan, A.S., Singh, Z., Abbasi, N.A. & Swinny, E.E. (2008). Pre or postharvest application of putrescine and low temperature storage affect fruit ripening and quality of Agelino plum. *Science of Food and Agriculture*, 88, 1687-1695.
19. Kharrazi, M., Bagheri, A.R. & Tehranifar, A. (2017). Approaches to deal with the reduction of cut flowers quality caused by senescence. *National Institute Ornamental Plants Journal*, 2(1), 52-69. (in Farsi)
20. Kinnersley, A.M. & Turano, F.J. (2000). Gamma aminobutyric Acid (GABA) and plant responses to stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 19, 479-509.
21. Kopyra, M. & Gwozdz, E.A. (2003). Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 41, 1011-1017.
22. Koushesh Saba, M. & Nazari, F. (2017). Vase life of gerbera cut flower cv. Pink Power affected by different treatments of plant essential oils and silver nanoparticles. *Journal of Plant Production Research*, 24(2), 43-59. (in Farsi)
23. Krishnan, S., Laskowski, K., Shukla, V. & Merewitz, E.B. (2013). Mitigation of drought stress damage by exogenous application of a non-protein amino acid γ-aminobutyric acid on perennial ryegrass. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(5), 358-366.
24. Lee, M.M., Lee, S.H. & Parkb, K.Y. (1997). Effects of spermine on ethylene biosynthesis in cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) flowers during senescence. *Journal of Plant Physiology*, 151(1), 68-73.
25. Mahros, K.M., El-Saady, M.B., Mahgoub, M.H., Afaf, M.H. & Abd El-Sayed, M.I. (2011). Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of *Chrysanthemum indicum* L. plant. *Journal of American Science*, 7(3), 399-408.
26. Marie, O. (1995). Alteration in lipid composition and antioxidative protection during senescence in drought stressed plants and non-drought stressed plants of *Pisum sativum*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 33, 547-53.
27. Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd Ed., Academic Press, London.

28. Martinez-Tellez, M.A., Ramos-Clamont, M.G. & Gardea, A.A. (2002). Effect of infiltrated polyamines on polygalacturonase activity and chilling injury responses in zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.). *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 295, 98-1010.
29. Michalak, A. (2006). Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(4), 523- 530.
30. Mirzaei-Mashhoud, M., Aelaei, M. & Mortazavi, S.N. (2016). γ-Aminobutyric acid (GABA) treatment improved postharvest indices and vase-life of 'Red Naomi' rosecut flowers. *Acta Horticulturae*, 1131(5), 33-40.
31. Nazarideljou, M.J., Khalighi, A., Arab, M., KaramiaN, R. & Jaberian Hameda, H. (2015). Effect of postharvest pulse treatment of salicylic acid on phenylalanine ammonia-lyase activity (PAL), lignin formation and stem bending disorder of gerbera cut flowers. *Iranian Journal of horticultural Sciences*, 46(2), 279-290. (in Farsi).
32. Palagani, N. & Singh, A. (2017). Influence of postharvest application of chemicals on postharvest physiology and vase life of gerbera var. Alcatraz. *International Journal of Chemistry Studies*, 5(6), 413-416.
33. Pandey, S., Ranade, S., Nagar, P. & Kumar, N. (2000). Role of polyamines and ethylene as modulators of plant senescence. *Journal of Biosciences*, 25, 291-299.
34. Perez-Amador, M.A., Carbonell, J., Navarro, J.L., Moritz, T., Beale, M.H., Lewis, M.J. & Hedden, P. (1996). N4-Hexanoylspermidine, a new polyamine-related compound that accumulates during ovary and petal senescence in pea. *Plant Physiology*, 110, 1177-1186.
35. Piotrowska, A. (2011). Phytohormones as regulator of heavy metal biosorption in green algae *Chlorella vulgaris*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 52, 52-56.
36. Reid, M.S. (2004). Prouduce facts alstromeria, peruvian lily. *Postharvest Technology and Information Center*, 424, 137-144.
37. Rubinowska, K., Pogroszewska, E. & Michałek, W. (2012). The effect of polyamines on physiological parameters of post-harvest quality of cut stems of *Rosa* 'Red Berlin'. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 11(6), 74-81.
38. Sadeghi Faragheh, j., Frahmand, H., Nasibi, F. & Hosaeini Torbati, F. (2016). Effect of exogenous nitric oxide application on physiological and antioxidant responses and scape bending reduction in Gerbera cut flower. *Journal of Horticulture Science and Technology*, 17 (2), 103-208. (in Farsi)
39. Sakihama, Y., Cohen, M. F., Grace, S. C. & Yamasaki, H. (2002). Plant phenolics antioxidant and pro oxidant activity: Phenolics-induced oxidative damage mediated by metal in plants. *Toxicology*, 177, 67-80.
40. Shabanian, S., Nasr Esfahani, M., Karamian, R. & Lam-Son Phan, T. (2018). Physiological and biochemical modifications by postharvest treatment with sodium nitroprusside extend vase life of cut flowers of two gerbera cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 137, 1-8.
41. Shelp, B.J., Bown, A.W. & McLean, M.D. (1999). Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid. *Trends in Plant Science*, 4(11), 446-452.
42. Simoes, A.N., Diniz, N.B., Vieira, M., Ferreira-Silva, S.L., Bartira-da-Silva, M., Minatel, I.O. & Pace Pereira Lima, G. (2018). Impact of GA3 and spermine on postharvest quality of anthurium cut flower (*Anthurium andraeanum*) cv. Arizona. *Scientia Horticulturae*, 24, 178-186.
43. Sivaprakasam, G., Singh, V. & Arora, A. (2009). Physiological and molecular analysis of effect of spermine on senescing petals of gladiolus. *Indian Journal of Plant Physiology*, 14(4), 384-391.
44. Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C. & Masia, A. (2004). Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondealdehyde content during rewatering in *olive* tree. *Plant Sciences*, 166(2), 293-302.
45. Soleimani-Aghdam, M., Naderi, R., Malekzadeh, P. & Jannatizadeh, A. (2016). Contribution of GABA shunt to chilling tolerance in anthurium cut flowers in response to postharvest salicylic acid treatment. *Scientia Horticulturae*, 205, 90-96.
46. Tanazad, M., Sharifi-Sirchi, Gh. R., Mirzaalian-Dastjerdi, A.M. & Yousefzadi, M. (2016). Improvment of stability traits and enzyme activity in Diana carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) cut flower in preservative solutions. *Journal of Plant Researches*, 29(1), 23-53. (in Farsi)
47. Tassoni, A. (1998). Characterization of spermidine binding to solubilized plasma membrane. *Plant Physiology*, 117, 971-977.
48. Tepe, B., Sokmen, M., Akpulat, H.A. & Sokmen, A. (2006). Screening of the antioxidant potentials of six *Salvia* species from Turkey. *Food Chemistry*, 95, 200-204.
49. Tunc-Ozdemir, M., Miller, G., Song, L., Kim, J., Sodek, A., Koussevitzky, Sh., Narayan Misra, A., Mittler, R. & Shintani, D. (2009) Thiamin confers enhanced tolerance to oxidative stress in *Arabidipsis*. *Plant Physiology*, 151, 421-432.

50. Valero, D., Martinez-Romero, D., Serrano, M. & Riquelme, F. (1998). Influence of postharvest treatment with putrescine and calcium on endogenous polyamine, firmness, and abscisic acid in lemon (*Citrus lemon* L.) cv. Verna. *Agriculture and Food Chemistry*, 46, 2102- 2106.
51. Vanholme, R., Demedts, B., Morreel, K., Ralph, J. & Boerjan, W. (2010). Lignin biosynthesis and structure. *Plant Physiology*, 153, 895-905.
52. Wang, Y., Luo, Z. & Huang, H. (2014). Effect of exogenouse γ-aminobutyric acid (GABA) treatment on chiling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Scientia Horticulturae*, 5(2), 198-207.
53. Yang, C.W., He, S.G., Jiang, Y.M. & Yi, S. (2000). Effects of polyamines on biochemical and physiological changes and vase life of cut rose (*Rosa chinensis*. cv. Bellamie) flowers during senescence. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 8(2), 104-108.
54. Yin, C., Wang, X., Duan, B., Luo, J. & Li, C. (2005). Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric *Populus* species as affected by water stress. *Environmental and Experimental Botany*, 53(3), 315-322.
55. Zarei, L., Koushesh Saba, M., Vafaee, Y. & Javadi, T. (2018). Effect of gamma-amino-butyric acid foliar application on physiological characters of tomato (cv. Namib) under salinity stress. *Journal of Plant Production*, 41(1), 15-28. (in Farsi)
56. Zhishen, J., Mengcheng, T. & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559.