**Journal of Horticultural Science**
https://jhs.um.ac.ir

CC BY

**Research Article**
**Vol. 36, No. 4, Winter 2023, p. 777-789**

# Maintaining the Postharvest Quality and Reducing the Browning of Narcissus cv. 'Shahla-e-Shiraz' Cut Flowers Using Sodium Nitroprusside

**M. Shahabi[1], S. Rastegar[2*]**

Received: 25-02-2021
Revised: 17-10-2021
Accepted: 18-10-2021
Available Online: 30-01-2023

**How to cite this article:**
Shahabi, M., & Rastegar, S. (2023). Maintaining the Postharvest Quality and Reducing the Browning of Narcissus cv. 'Shahla-e-Shiraz' Cut Flowers Using Sodium Nitroprusside. *Journal of Horticultural Science 36*(4): 777-789. (In Persian with English abstract)
**DOI**: 10.22067/jhs.2021.69103.1028

## Introduction

Narcissus (*Narcissus tazetta*) has high demand in flora markets due to its beauty, having a multi-floret flowerhead and delicate fragrance. The appearance quality and vase life of cut flowers decreased after harvest due to flower senescence, loss of petals turgor, reduced water absorption, transpiration, fresh weight loss, and reduced water potential which reduces the economic and ornamental value of flowers at the consumer. One of the important reasons for the poor postharvest quality of *Narcissus tazetta* is the loss of turgor and their high sensitivity to browning of the petals. Browning mechanisms are chemically divided into enzymatic and non-enzymatic browning reactions. Enzymatic browning, which causes important reactions and discoloration, is one of the important factors affecting the quality and shelf life of fresh produce. Previous studies have shown that the activity of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) is positively correlated with browning during the postharvest storage of fruits and vegetables. Nitric oxide (NO) is recognized as a biological messenger in plants. It is a highly reactive gaseous free radical. Optimum NO levels could delay the climacteric phase of many tropical fruits and prolong the post-harvest shelf life of a wide range of horticultural crops by preventing ripening and senescence. Nitric oxide also could prevent the activity of PPO, phenylalanine ammonialyase (PAL) and POD, and keep the highest activity of superoxide dismutase (SOD).

## Materials and Methods

Narcissus (*Narcissus tazetta* L. cv. Shahla e-Shiraz) cut flowers at their commercial maturity stage (Goose-neck) were harvested from a production field in Farse province and. then they were transported to the laboratory. Healthy and uniform cut flowers with the same number of buds, a similar size and growth status were selected. Cut flowers were subjected to pulsed treatment of sodium nitroprusside for 24 hours on two levels (25 and 50 µM) and then kept in containers. Samples were stored at 20 ± 2 °C, relative humidity of 70-60%, with light cycle of 12 hours light and 12 hours dark. In this experiment, various physiological and biochemical indices including apparent quality (wilting index), cell membrane stability index (%), petal relative water content (%), color index and browning using a colorimeter, relative weight using digital scale (g), flower diameter, PPO and POD were examined.

## Results and Discussion

Sodium nitroprusside treatment reduced the browning process by reducing the activity of POD and PPO enzymes. The effect of sodium nitroprusside was concentration-dependent. Sodium nitroprusside maintains membrane stability by protecting the membrane and preventing lipoxygenase activity and scavenging free radicals that have attacked the membrane. Sodium nitroprusside-maintained flower diameter due to its role in eliminating free radicals, delaying the aging process and maintaining flower quality. Discoloration and browning reactions of cut flowers reduce their appearance quality, leading to economic loss. The browning of the petals due to senescence is one of the important factors limiting the vase life of narcissus. It has been shown that PPO

1 and 2- M.Sc. Student and Associate Professor of Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Islamic Republic of Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: rastegarhort@gmail.com)

and POD are the key enzymes for the oxidation of the phenolic substrate (especially simple phenols) and the production of the brown compounds. It has also been suggested that the stability index of the cell membrane, which represents the ion leakage of the tissues, is diminished extremely as the longevity is increased. Another effective factor in determining the quality and vase life of cut flowers is the water-holding ability and water balance of the cut flowers petals. Changes in the cut flower fresh weight could also be regarded as one of the most important postharvest physiological disorders that affected the quality, vase life and commercial value of the cut flowers. Fresh weight loss, which is one of the most important reasons for the wilting of the flowers, is due to the less water uptake and more respiration rate.

## Conclusion

Sodium nitroprusside treatment maintained the quality of *Narcissus tazetta* L. cv. Shahla e-Shiraz by increasing the relative water content of the petals and maintaining the cell stability index, as well as reducing the activity of browning enzymes (PPO and POD). Of course, the concentration used was very important. The best results were observed at lower concentrations (25 µM) of sodium nitroprusside.

**Keywords:** Membrane stability, Nitric oxide, Peroxidase activity, Polyphenol oxidase, Postharvest

**نشریه علوم باغبانی**
https://jhs.um.ac.ir

**مقاله پژوهشی**
جلد ۳۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص. ۷۸۹-۷۷۷

# حفظ کیفیت و کاهش قهوه‌ای شدن گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس رقم 'شهلای شیراز' با استفاده از سدیم‌نیتروپروساید

**معظمه شهابی[۱]- سمیه رستگار[۲*]**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۶

## چکیده

یکی از عمده‌ترین مشکلات در مرحله پس‌ازبرداشت گل شاخه‌بریده نرگس رقم 'شهلای شیراز' (*Narcissus tazetta* L.cv. Shahla-e-Shiraz)، کوتاه بودن عمر پس‌ازبرداشت آن است که به‌طور عمده به‌دلیل پژمردگی و قهوه‌ای شدن سریع گلبرگ‌های آن می‌باشد. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تیمار سدیم‌نیتروپروساید بر حفظ کیفیت و جلوگیری از فرآیند قهوه‌ای شدن گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس انجام شد. آزمایش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌صورت فروبری کوتاه‌مدت در سدیم‌نیتروپروساید در دو غلظت (۲۵ و ۵۰ میکرومولار) به‌مدت ۲۴ ساعت برروی گل‌های شاخه‌بریده نرگس انجام شد. محلول ساکارز ۲ درصد و همچنین آب‌مقطر به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. در این آزمایش شاخص‌های مختلف بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین کیفیت ظاهری گل (۳/۰۳) و بیشترین محتوی نسبی آب گلبرگ (۴۳/۱ درصد) در پایان آزمایش در گل‌های تیمار شده با ۲۵ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید مشاهده شد. کمترین میزان قهوه‌ای شدن (۲۲/۳ درصد) و تغییرات رنگ ($\Delta E$) و بیشترین روشنایی رنگ گلبرگ‌ها ($L^*$) (۳۵/۴۷) نیز در تیمار ۲۵ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید مشاهده شد. تیمار ۲۵ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز را به یک پنجم نسبت به شاهد کاهش داد. این غلظت همچنین تأثیر معنی‌داری در کاهش نشت‌یونی و حفظ پایداری غشای‌سلولی (۷۳/۳ درصد) نسبت به شاهد (۶۹/۵ درصد) داشت. نتایج نشان داد که غلظت مناسب سدیم‌نیتروپروساید با حفظ محتوی نسبی آب گلبرگ، کاهش نشت‌یونی وحفظ پایداری غشای‌سلولی و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) نقش موثری در مهار فرایند قهوه‌ای شدن گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس داشت.

**واژه‌های کلیدی:** پایداری غشاء، پس‌ازبرداشت، پلی‌فنل اکسیداز، فعالیت پراکسیداز، نیتریک‌اکسید

## مقدمه

گل‌نرگس شیراز با نام علمی (*Narcissus tazetta*) گیاهی تک‌لپه، سوخ‌دار و دائمی و از نظر گیاه‌شناسی متعلق به خانواده نرگسیان (Amaryllidacea) می‌باشد. این گونه یکی از مهم‌ترین گیاهان زینتی است که به‌عنوان گل شاخه‌بریده، گلدانی و باغچه‌ای استفاده می‌شود (Jowkar and Sticklen, 2008). گل نرگس عمدتاً متعلق به نواحی مدیترانه شامل اسپانیا، پرتغال، جنوب غرب فرانسه، شمال آفریقا، شرق یونان و چین می‌باشد (Hanks, 2002). نرگس‌های بومی ایران در نواحی جنوبی از غرب تا شرق ایران به‌خصوص فارس، بوشهر، بهبهان، کرمان و خراسان‌جنوبی رویش دارند. گلدهی این گونه از اوسط پاییز تا اواسط زمستان صورت می‌گیرد (Chehrazi, 2007). گل شاخه‌بریده نرگس دارای عمر پس‌ازبرداشت کوتاهی بوده که بیشتر به‌دلیل پژمردگی و قهوه‌ای شدن سریع گلبرگ‌ها می‌باشد (Jowkar, 2005).

به‌طور کلی عواملی مانند پژمردگی (پیری و قهوه‌ای شدن گل‌ها) در اثر تنش، بسته شدن انتهای ساقه و وجود میکروارگانیسم‌ها در محلول نگهدارنده از دلایل اصلی کاهش طول عمر پس‌ازبرداشت

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
(*- نویسنده مسئول: (Email: rastegarhort@gmail.com
DOI: 10.22067/jhs.2021.69103.1028

گل‌های شاخه‌بریده محسوب می‌شوند (Jowkar, 2005). یکی از عوامل مهم در کاهش ارزش اقتصادی و محدودیت در ماندگاری محصولات کشاورزی، قهوه‌ای شدن می‌باشد. طی فرآیند پیری، آسیب‌های مکانیکی، سرمازدگی، تنش‌های دمایی و آلودگی‌های میکروبی، سبب ایجاد عارضه قهوه‌ای شدن در محصولات می‌شود. در زمان پیری و تنش‌های مختلف، رادیکال‌های فعال مانند هیدروژن پراکسید شده، رادیکال هیدروکسیل و آنیون سوپراکسید تولید می‌شوند که باعث پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی و در نتیجه تخریب و از هم‌پاشیدگی غشای اندامک‌های مختلف سلول و در نهایت تماس آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز با سوبستراهای فنلی و ایجاد پلی‌فنل‌های قهوه‌ای می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند که قهوه‌ای شدن آنزیمی به‌علت اکسیداسیون ترکیبات فنلیک به اُ-کوئینون‌ها و ایجاد پلیمرهای قهوه‌ای رنگ می‌باشد (Singh *et al.*, 2018). برخی مواد شیمیایی مختلف جهت افزایش عمرگلجایی گل‌های شاخه بریده و حفظ کیفیت ظاهری آنها در مدت زمان طولانی‌تر استفاده شده است. سدیم‌نیتروپروساید (SNP) ماده‌ای شیمیایی است که اخیراً برای افزایش عمر پس‌ازبرداشت تولیدات باغبانی به‌ویژه گل‌های شاخه‌بریده استفاده می‌شود و به‌عنوان یک مولکول سیگنالی مهم در گیاهان شناخته شده است (Meena and Afjal Ahmad, 2016). این ترکیب نقش مهمی در مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارد (Zhu *et al.*, 2022; Salehi-Sardoei and Khalili, 2022). بطوری‌که با افزایش مکانیسم مهار گونه‌های فعال اکسیژنی از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها، ثبات غشاء و تنظیم ژن‌های مرتبط با پیری باعث افزایش عمرگلجایی گل‌های شاخه‌بریده گلایول شده است (Dwivedi *et al.*, 2016). سدیم‌نیتروپروساید بسته به غلظت، بافت و سن گیاه و نوع تنش وارده می‌تواند دارای نقش دوگانه سمی یا حفاظتی باشد. در پژوهشی (Zeng *et al.*, 2011) اثرات مثبت غلظت ۰/۱ میلی‌مولار سدیم‌نیتروپروساید در حفظ کیفیت و افزایش عمرگلجایی گل میخک را گزارش دادند. همچنین در پژوهشی علی‌پور و همکاران (Alipour *et al.*, 2014) نشان دادند که تیمار سدیم‌نیتروپروساید به‌عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدان با سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد اکسیژن، در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میکرومولار در نرگس کم پر و تنها در غلظت ۰/۱ میکرومولار در نرگس پرپر فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (PPO) را کاهش داده و پیری را به تأخیر انداخت. این یافته‌ها نشان می‌دهند که تیمار سدیم‌نیتروپروساید میتواند در تنظیم فرایند پیری گیاه نقش داشته باشد. هدف از انجام این مطالعه بررسی اثرات کاربرد سدیم‌نیتروپروساید و تعیین غلظت مناسب به‌منظور حفظ کیفیت و کاهش قهوه‌ای شدن آنزیمی گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس در جهت کاربرد تجاری در مرحله پس‌ازبرداشت بود.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی و تیمار

گل‌های نرگس رقم 'شهلای شیراز' مورد نیاز این آزمایش در مرحله گردن غازی، از نرگس‌زارهای بخش خفر، از توابع شهرستان جهرم واقع در جنوب‌شرقی استان فارس برداشت و در جعبه‌هایی همراه با پوشش کاغذی، به آزمایشگاه پس‌ازبرداشت انتقال داده شد. ابتدا تمامی ساقه‌ها با استفاده از تیغ (ضدعفونی‌شده با هیپوکلریت ۲ درصد) در زیر آب به‌صورت مورب در ارتفاع یکسان (۳۰ سانتی‌متر) قطع شدند. گل‌های شاخه‌بریده به‌مدت ۲۴ ساعت تحت تیمار فروبری کوتاه‌مدت در سدیم‌نیتروپروساید (شرکت سیگما الدریچ- هند) در دو سطح (۲۵ و ۵۰ میکرومولار) قرار گرفتند. سپس به‌ظروف ۵۰۰ میلی‌لیتر حاوی محلول آب‌مقطر و ساکارز ۲ درصد برای ارزیابی منتقل شدند. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۲ شاخه گل در هر تکرار انجام گردید. محلول ساکارز ۲ درصد و همچنین آب‌مقطر به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند.

شرایط محیطی: نمونه‌ها در دمای ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۰-۶۰ درصد، با سیکل نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی نگهداری شدند.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک: در این آزمایش شاخص‌های مختلف فیزیولوژیکی شامل کیفیت ظاهری، محتوای نسبی آب گلبرگ، شاخص رنگ و قهوه‌ای شدن، وزن‌تر نسبی، قطر گل و شاخص‌های بیوشیمیایی شامل شاخص پایداری، فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و آنزیم پراکسیداز مورد بررسی قرار گرفت.

کیفیت ظاهری: با شروع آزمایش در روزهای ۱، ۳، ۶ و ۹ ارزیابی کیفیت ظاهری به‌صورت امتیازدهی انجام شد. کیفیت گل‌های نرگس تا زمانی که گلبرگ‌ها تورژسانس و شادابی خود را کامل از دست دادند (شاخص پژمردگی) برحسب روز ثبت گردید. بدین‌صورت که اندازه‌گیری کیفیت ظاهری براساس امتیازدهی از عدد ۱ تا ۴، (۴-کیفیت عالی)، (۳-کیفیت خوب)، (۲-کیفیت متوسط) و (۱-کیفیت ضعیف) ارزیابی شد (Clark *et al.*, 2010).

محتوای نسبی آب گلبرگ (RWC)[1]: برای محاسبه درصد آب در گلبرگ‌های تازه، ابتدا از هر تکرار (۲ شاخه گل) ۰/۲ گرم گلبرگ معادل (۴ گلبرگ) تازه در مقیاس دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن شد (FW) و سپس نمونه‌ها به‌مدت ۵ ساعت به آب‌مقطر در محیط تاریک منتقل شده وسپس با کاغذ صافی خشک گردیدند و وزن آنها مجدداً ارزیابی شد (TW). در نهایت نمونه‌ها در فویل آلومینومی به‌مدت یک ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند

1- Relative water content

تا وزن خشک آنها نیز از طریق توزین به‌دست آید (DW). محتوای نسبی آب از طریق رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$RWC\ (\%) = \frac{(FW-DW)}{(TW-DW)} \times 10 \quad (۱)$$

شاخص‌های رنگ و میزان قهوه‌ای شدن گلبرگ: فاکتورهای مختلف رنگ گلبرگ با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Minolta CR-400, Japan) اندازه‌گیری شد. سپس تغییرات کلی رنگ (رابطه ۲) و شاخص قهوه‌ای شدن گلبرگ‌ها (رابطه ۳) براساس اندازه‌گیری شاخص‌های L* (روشنایی)، b* (آبی تا زرد) و a* (سبز و قرمز) تعیین شد(Granato and Masson, 2010) :

(۲)

تغییرات کلی رنگ(ΔE*) = [(L2* − L1*)2 + ((a2* − a1*)2 + (b2* − b1*)2]1/2)

$$Browning\ Index\ (BI) = [100(x\text{-}0.31)] / 0.17 \quad (۳)$$

$$\text{where, } X = (a^* + 1.75\ L^*) / (5.645\ L^* + a^* - 3.012\ b^*) \quad (۴)$$

اندازه‌گیری قطر گل: قطر گل به‌وسیله کولیس دیجیتال برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

وزن‌تر نسبی: وزن‌تر نسبی شاخه‌های گل از رابطه ۵ به‌دست آمد. که در این رابطه: $W_t$ – وزن‌تر ساقه(g) در روزهای ۳، ۶ ، ۹ و $W_{t=0}$ - وزن همان ساقه در روز صفر بود.

$$(RFW)\% = W_t / W_{t=0} \times 100 \quad (۵)$$

شاخص پایداری غشای سلولی (MSI)[1]: شاخص پایداری غشأ از طریق نشت الکترولیتی ارزیابی شد. ابتدا یک گرم از بافت گلبرگ را با استفاده از تیغ از قبل استریل شده به قطعات هم‌اندازه و هم‌شکل خورد کرده و سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب یونیزه شده در فالکون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و سپس ۱ گرم گلبرگ خرد شده را به آن اضافه نموده، نمونه‌ها در طی یک ساعت در انکوباتور در دمای ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد و ۱۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفتند و پس از خروج نمونه‌ها از انکوباتور میزان هدایت الکتریکی اولیه ($EC_1$) توسط دستگاه EC متر مدل (TetraCon 325, Germany) قرائت گردید. سپس آن‌ها را به‌مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه‌سانتی‌گراد و ۱/۲ فشار اتمسفر قرار داده شدند. سپس مجدداً هدایت الکتریکی ثانویه ($EC_2$) توسط دستگاه EC متر قرائت شد. و در نهایت نشت الکترولیتی با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید:

$$(MSI)(\%) = [1-(EC_1/EC_2)\times 100] \quad (۶)$$

$EC_1$ و $EC_2$ به ترتیب هدایت الکترولیتی نمونه‌ها در دماهای ۴۰ و ۱۲۰ درجه‌سانتی‌گراد می‌باشد.

سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز[2] (PPO): جهت استخراج آنزیم مقدار ۰/۱ گرم از گلبرگ فریز شده در ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (PH=7) عصاره‌گیری و سپس در ۱۵۰۰۰ دور و دمای ۴ درجه‌سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سنجش آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) با استفاده از روش کار و میشرا (Kar and Mishra, 1976) با کمی تغییر اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ابتدا ۰/۰۵۰۴ گرم از ماده پیروگالل را در ۲۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر حل گردید و سپس به محلول بافر فسفات اضافه گردید. برای هربار سنجش، ۴۰ میکرولیتر از عصاره استخراج را به ۸۰ میکرولیتر بافر آماده اضافه و منحنی جذب در طول‌موج ۴۲۰ نانومتر را در بازه زمانی ۰، ۱، ۲، و ۳ دقیقه و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD): سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از روش لیانگ و همکاران( Liang *et al.*, 2018) با کمی تغییرات انجام شد. ابتدا ۱۶۱ میکرولیتر گایاگول به همراه ۱۷ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ($H_2O_2$) به بافر فسفات اضافه گردید. برای هربار سنجش، ۳۳ میکرولیتر از عصاره را به ۱۰۰۰ میکرولیتر بافر اضافه شد. سپس جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر در بازه زمانی صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ ثانیه، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

واکاوی آماری: داده‌های پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($p < 0.05$) انجام شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

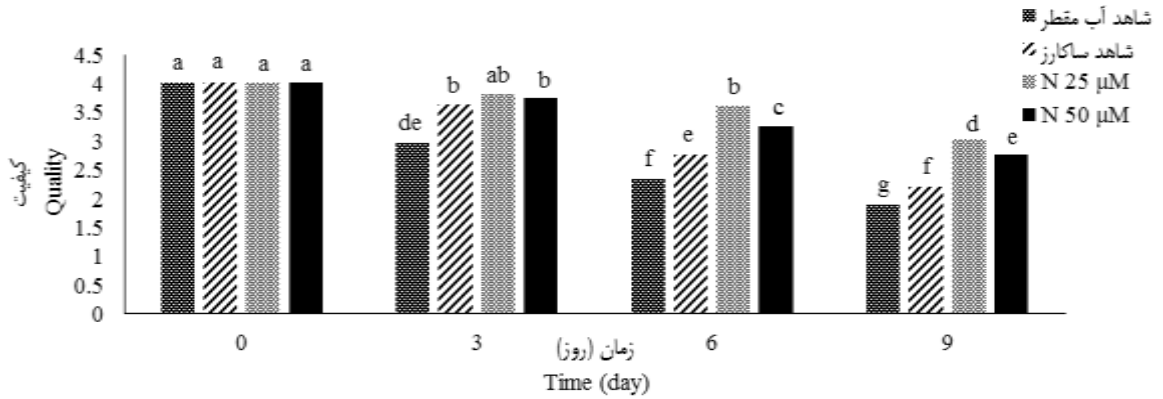
## نتایج و بحث

کیفیت ظاهری: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده زمان نگهداری و تیمار و همچنین اثر متقابل تیمار و زمان، تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر شاخص کیفیت ظاهری گل شاخه‌بریده نرگس داشت. با گذشت زمان کیفیت گل‌های تیمار شده و شاهد به‌تدریج کاهش یافت اما تمامی غلظت‌های انتخابی سدیم‌نیتروپروساید مورد استفاده در طول آزمایش از کیفیت بالاتری در مقایسه با شاهد (آب‌مقطر و ساکارز) برخوردار بودند. در پایان آزمایش (روز نهم) بیشترین کیفیت ظاهری (۳/۰۳) مربوط به تیمار سدیم‌نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار بود و کمترین کیفیت (۱/۸۹) مربوط به شاهد آب‌مقطر بود (شکل ۱).

مهمترین عامل بازارپسندی گل‌های شاخه‌بریده کیفیت ظاهری آن می‌باشد و عواملی مانند رنگ، عطر و تازگی، کیفیت گل‌های شاخه‌بریده را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. نتایج مطالعات انجام شده روی

1- Membrane Cell Stability Index
2- Polyphenol oxidase enzyme
3- Peroxidase

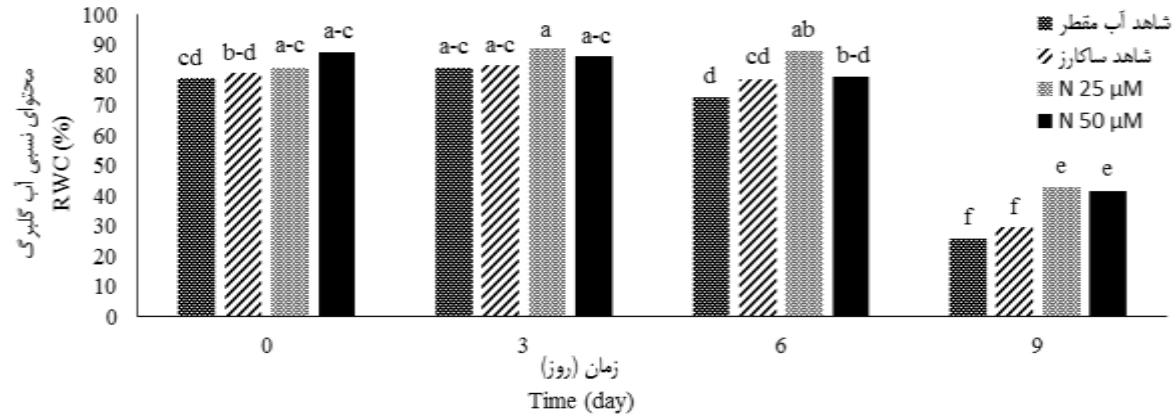
گل‌های رز، آفتابگردان، لیسیانتوس، میخک و شاخساره بامبو نشان داد که سدیم‌نیتروپروساید در غلظت‌های مناسب، از طریق ممانعت از سنتز اتیلن باعث افزایش کیفیت و بازارپسندی و همچنین عمر پس‌ازبرداشت گل‌های شاخه‌بریده می‌گردد( Ashouri Vajari and Molaahmad Nalousi, 2015 ; Yang *et al.*, 2010). مطالعات Dwivedi *et al.*, 2016) نشان دادند که استفاده از سدیم‌نیتروپروساید با حذف رادیکالهای آزاد و حفظ پایداری غشای سلولی، باعث افزایش عمر گلجایی و کیفیت پس‌ازبرداشت گل‌های شاخه‌بریده گلایول شد.




**شکل ۱- اثر متقابل زمان × غلظت‌های مختلف سدیم‌نیتروپروساید بر شاخص کیفیت ظاهری گل شاخه‌بریده نرگس رقم 'شهلای شیراز'**

**Figure 1- The interaction effect of time ×different concentrations of sodium nitroprusside on the visual quality of narcissus cv. 'Shahla-e-Shiraz' cut flowers (DMRT, $p\leq0.05$)**

محتوای نسبی آب گلبرگ (RWC): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده زمان نگهداری در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین اثر ساده تیمار و اثر متقابل تیمار و زمان در سطح احتمال ۵ درصد تاثیرمعنی‌داری بر محتوای نسبی آب گلبرگ گل شاخه‌بریده نرگس داشت. براساس نتایج بدست آمده میانگین تمامی غلظت‌های انتخابی سدیم‌نیتروپروساید مورد استفاده در این آزمایش از پتانسیل آب بیشتری در مقایسه با شاهد (آب‌مقطر و ساکارز) برخوردار بودند (شکل ۲). در پایان آزمایش (روز نهم) بیشترین محتوای نسبی آب گلبرگ (۴۳/۱۳ درصد) مربوط به تیمار ۲۵ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید بود و شاهد آب‌مقطر دارای کمترین محتوای نسبی آب گلبرگ (۲۶/۱۷ درصد) بودند. گلبرگ‌های تیمار شده با سدیم‌نیتروپروساید در مقایسه با شاهد آب‌مقطر و ساکارز دارای آب بیشتری بوده و فشار کمتری برای خروج آب از این اندام گیاهی، لازم بود. به‌طوری‌که گلبرگ‌ها در روز نهم نسبت به گلبرگ‌های تیمار نشده شادابی و طراوت خود را حفظ کرده بودند.

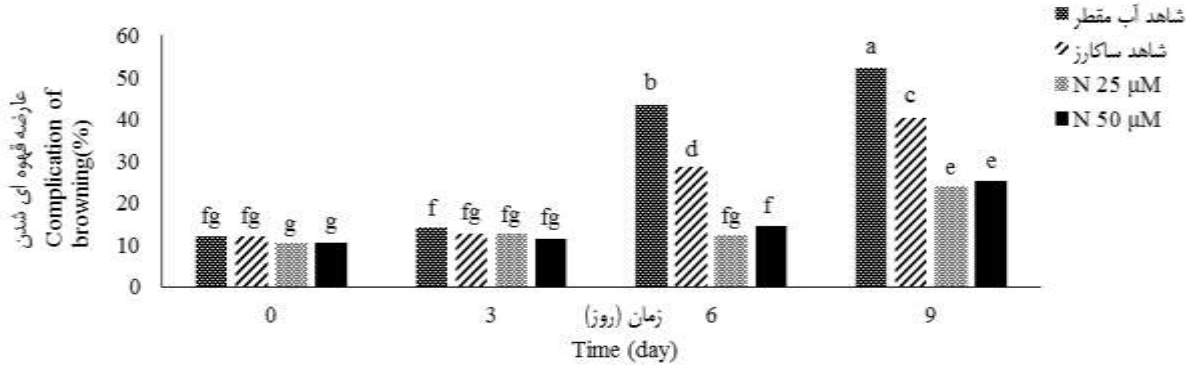



**شکل ۲- اثر متقابل زمان × غلظت‌های مختلف سدیم‌نیتروپروساید بر شاخص رطوبت نسبی آب گلبرگ گل شاخه‌بریده نرگس رقم 'شهلای شیراز'**

**Figure 2– The interaction effect of time ×different concentrations of sodium nitroprusside on the petal relative moisture index of narcissus cv. 'Shahla-e-Shiraz' cut flowers (DMRT, $p\leq0.05$)**

تأثیر سدیم‌نیتروپروساید وابسته به غلظت است به‌طوری که غلظت پایین به‌طور مستقیم روی اجزای دیواره سلولی گیاه اثر کرده و با افزایش انعطاف پذیری دیواره سلولی، توسعه سلول و رشد گیاه را سبب می‌شود، اما در غلظت‌های بالا سدیم‌نیتروپروساید با اکسیداسیون لیپیدهای غشایی باعث تخریب و آسیب غشأ می‌گردد (Xu *et al*., 2011).

عارضه قهوه‌ای شدن: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده زمان نگهداری و تیمار و همچنین اثر متقابل تیمار و زمان در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌داری بر میزان قهوه‌ای شدن گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس داشت. گل‌های شاخه‌بریده نرگس تیمار شده با غلظت‌های مختلف سدیم‌نیتروپروساید به‌طور معنی‌داری میزان قهوه‌ای شدن کمتری نسبت به شاهد آب‌مقطر و شاهد ساکارز نشان دادند. در پایان آزمایش (روز نهم) کمترین میزان قهوه‌ای شدن گلبرگ‌ها (۲۳/۹۵ درصد) در تیمار ۲۵ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید مشاهده شد و بیشترین عارضه قهوه‌ای شدن (۵۲/۳۵ درصد) مربوط به شاهد آب‌مقطر بود (شکل ۳). به‌طور معمول شدت قهوه‌ای شدن آنزیمی از طریق روش‌های بیوشیمیایی مانند سنجش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز یا پراکسیداز یا شاخص‌های فیزیکی مانند تغییر رنگ سطح محصول ارزیابی می‌شود.



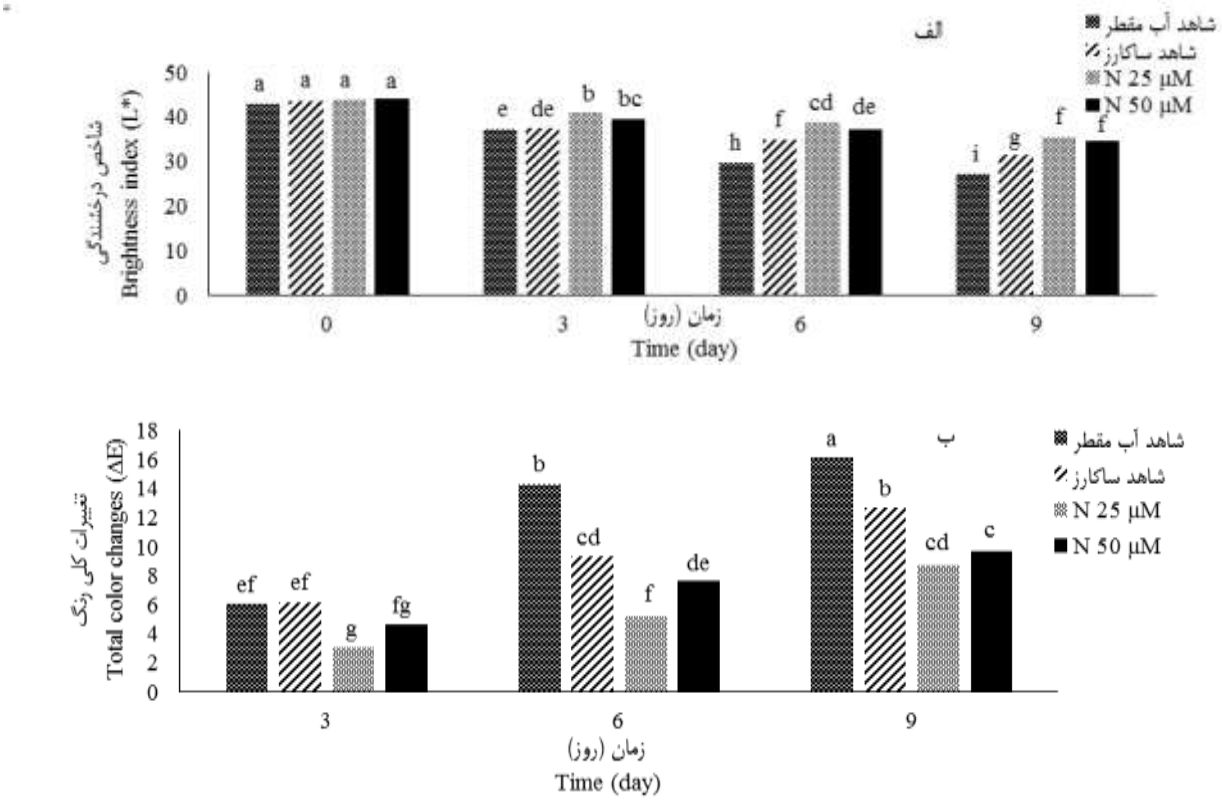

**شکل ۳- اثر متقابل زمان × غلظت‌های مختلف سدیم‌نیتروپروساید بر عارضه قهوه‌ای شدن گلبرگ گل شاخه‌بریده نرگس رقم 'شهلای شیراز'**

**Figure 3– The interaction effect of time and different concentrations of sodium nitroprusside on the complication of petal browning of narcissus cv. 'Shahla-e-Shiraz' cut flowers (DMRT, $p \leq 0.05$)**

شاخص درخشندگی ($L^*$): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده زمان نگهداری و تیمار و همچنین اثر متقابل تیمار و زمان در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌داری بر فاکتور درخشندگی ($L^*$) گلبرگ در گل شاخه‌بریده نرگس داشت. فاکتور درخشندگی ($L^*$) گلبرگ با گذشت زمان در تمام تیمارها به‌تدریج کاهش یافت. اما این کاهش در شاهد آب‌مقطر (۲۷/۱۹) با شدت بیشتری همراه بود و تفاوت معنی‌داری با دیگر تیمارها نشان داد. در پایان آزمایش (روز نهم) بیشترین روشنایی ($L^*$) (۳۵/۴۷) در تیمار ۲۵ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد آب‌مقطر و شاهد ساکارز نشان داد (شکل ۴-الف). شاخص رنگی $L^*$ (درخشندگی) در محدوده ۰ تا ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود و هرچه مقدار آن بزرگ‌تر باشد، نمونه روشن‌تر می‌باشد (Granato and Masson, 2010 ; MacDougall, 2002). کاهش مقدار $L^*$ ممکن است ناشی از تشکیل رنگیزه‌های قهوه‌ای در اثر واکنش‌های قهوه‌ای شدن باشد( Granato and Masson, 2010). این مطالعات (Marisa *et al*., 2005 ; Burdurlu and Karadeniz, 2003) گزارش کردند که با افزایش دما و زمان نگهداری کنسانتره شاخص $L^*$ کاهش می‌یابد. یافته‌های این تحقیق با مولفه ($L^*$) به‌عنوان شاخص روشنایی در فضای رنگی lab در سبزیجات و میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (MacDougall, 2002). عارضه قهوه‌ای شدن و تغییر در رنگ بافت محصولات باغی، باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود. دلیل این عارضه، تخریب غشای‌سلولی در نتیجه فعالیت رادیکال‌های آزاد و اکسیده شدن ترکیبات فنلی توسط آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و ایجاد رنگیزه‌های قهوه‌ای می‌باشد (Singh *et al*., 2018). تحقیقات گذشته نشان داده‌اند که فاکتور اصلی در واکنش‌های مربوط به عارضه قهوه‌ای شدن، آنزیم پلی‌فنل اکسیداز می‌باشد (Luo *et al*., 2011). در گزارشی استفاده از سدیم‌نیتروپروساید در غلظت ۵۰۰ میکرولیتر با کاهش فرایند قهوه‌ای شدن باعث بهبود عمر پس‌ازبرداشت کاهوی برش خورده شد (Wills *et al*., 2008). در مطالعه‌ای نشان داده شد که سدیم‌نیتروپروساید (۰/۲۵ میلی مولار) عارضه قهوه‌ای شدن را با ممانعت از فعالیت آنزیم‌های PPO و POD کنترل کرد. ایشان اظهار داشتند که ممکن است سدیم نیتروپروساید با ترکیب با عناصری مانند آهن، روی و مس یا پروتئین‌های حاوی عامل تیول، که می‌توانند با عنصر مس در آنزیم PPO واکنش دهند، ساختمان جایگاه فعال این آنزیم را تغییر دهد (Lichanporn and Techavuthiporn, 2013).

یافته‌های علی و همکاران (Ali *et al.*, 2011) در حفظ رنگ میوه پاپایا مطابقت داشت.

شاخص تغییرات کلی رنگ (ΔE): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده زمان نگهداری و تیمار و همچنین اثر متقابل تیمار و زمان در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌داری بر تغییرات کلی رنگ (ΔE) در گل شاخه‌بریده نرگس داشت. مقدار ΔE در گل‌های تیمار شده و شاهد طی زمان افزایش یافت اما شدت افزایش در گل‌های شاهد آب‌مقطر بیشتر مشاهده شد. در پایان آزمایش (روز نهم) کمترین مقدار تغییرات رنگ گلبرگ‌ها (ΔE) (۸/۷۳) مربوط به تیمارسدیم‌نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار و بیشترین تغییرات رنگ (۱۶/۱۵) مربوط به تیمار شاهد آب‌مقطر بود. به‌طوری که تیمار سدیم‌نیتروپروساید تفاوت معنی‌داری با شاهد آب‌مقطر و شاهد ساکارز نشان داد (شکل ۴-ب). تغییرات کلی رنگ (ΔE) که ترکیبی از پارامترهای a*، b* و L* است یکی از پارامترهای رنگ‌سنجی ست که به طور گسترده‌ای برای تشخیص تغییر رنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص L* که اندازه‌گیری تقریبی روشنایی و درخشش بوده و شاخص b*، رنگ بین آبی تا زرد و شاخص a* رنگ بین سبز و قرمز است (Granato and Masson, 2010; MacDougall., 2002). همانطور که قبلا اشاره شد واکنش‌های آنزیمی و غیر آنزیمی قهوه‌ای شدن نقش موثری در تغییرات کلی رنگ بافت گیاه دارند به‌طوری‌که با گذشت زمان و با تغییر شاخص‌های مختلف ذکر شده در رابطه ۲ و۳ مواد و روش‌ها، روند قهوه‌ای شدن گلبرگ‌ها افزایش یافت.




**شکل ۴- اثر متقابل زمان × غلظت‌های مختلف سدیم‌نیتروپروساید بر شاخص درخشندگی L* (الف) و تغییرات کلی رنگ (ΔE) (ب) گل شاخه‌بریده نرگس رقم 'شهلای شیراز'**

**Figure 4– The interaction effect of time ×different concentrations of sodium nitroprusside on the luminosity index L * (a) and overall color changes (EΔ) (b) of narcissus cv. 'Shahla-e-Shiraz' cut flowers (DMRT, $p \leq 0.05$)**

قطر گل: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار و اثر زمان نگهداری در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری بر قطر گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس داشت. اما اثر متقابل تیمار و زمان نگهداری تاثیر معنی‌داری بر قطر گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس نداشت. نتایج مقایسه میانگین قطر گل به‌تدریج با گذشت زمان کاهش یافت (جدول ۲). براساس نتایج بدست آمده بیشترین قطر (۳۳/۰۸ میلی‌متر) گل در تیمار سدیم‌نیتروپروساید در غلظت ۲۵ میکرومولار و کمترین قطر (۳۰/۶۶ میلی‌متر) گل در شاهد ساکارز

مشاهده شد (جدول ۱). سدیم‌نیتروپروساید به‌دلیل نقشی که در حذف رادیکال‌های آزاد، تاخیر فرایند پیری و حفظ کیفیت گل داشت باعث حفظ قطر گل شد. در مطالعه‌ای گزارش شد که سدیم‌نیتروپروساید طول عمر و قطر گل‌های رز را افزایش داده که اثرهای آن وابسته به غلظت و زمان بوده است که با نتایج این آزمایش همسو بود (Liao *et al.*, 2013). هم‌چنین (Changli and Chanyou, 2011)، گزارش کردند که گل شاخه بریده لیلیوم تیمار شده با سدیم‌نیتروپروساید، باعث ماندگاری و افزایش قطر گل شده که این ممکن است به‌دلیل کاهش تولید اتیلن و حفظ فعالیت‌های متابولیکی سلول باشد که منجر به حفظ قطر گل شده است.

وزن‌تر نسبی شاخه گل: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار و اثر زمان در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری بر وزن‌تر شاخه گل، شاخه‌بریده نرگس داشت اما اثر متقابل تیمار و زمان نگهداری تاثیر معنی‌داری بر وزن‌تر شاخه گل نرگس نداشت. با گذشت زمان وزن‌تر شاخه‌بریده نرگس کاهش یافت (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین وزن‌تر (۸۹/۷۵ گرم) شاخه گل مربوط به تیمار ۲۵ میکرمولار سدیم‌نیتروپروساید بود و کمترین وزن‌تر (۸۴/۳۸ گرم) شاخه گل در تیمار شاهد آب‌مقطر با مشاهده شد (جدول ۱). میزان جذب آب و وزن‌تر نسبی، از عوامل مهم مؤثر در روابط آبی و دوام گل بوده و کاهش آن‌ها باعث کاهش عمر مفید و کیفیت پس‌ازبرداشت گل‌های شاخه‌بریده می‌شود (Nazari Deljou *et al.*, 2011). به‌طور کلی وضعیت آبی گیاه برآیندی از مقدار آب گیاه هنگام برداشت گل و نیز میزان جذب و اتلاف آب پس‌ازبرداشت است. هنگامی که جذب آب به‌دلایلی مانند انسداد آوندی کمتر از میزان تعرق است، برای جذب آب میان اندام‌های مختلف ساقه رقابت صورت می‌گیرد که منجر به کاهش فشار تورژسانس و در نهایت پژمردگی می‌گردد (Nazari Deljou *et al.*, 2011) . در تحقیقی کاربرد سدیم‌نیتروپروساید روی گل شاخه‌بریده میخک باعث بهبود وزن‌تر شاخه‌های تیمار شده نسبت به شاهد شد (Changli and Chanyou, 2011).

شاخص پایداری غشای‌سلول (MSI): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تیمار و زمان نگهداری تفاوت معنی‌داری بر شاخص پایداری گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس داشت. اما اثر متقابل تیمار و زمان نگهداری، تاثیر معنی‌داری بر شاخص پایداری غشای‌سلولی گل شاخه‌بریده نرگس نداشت. پایداری غشأ به‌تدریج با گذشت زمان کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین شاخص پایداری (۷۳/۳۰ درصد) در تیمار سدیم‌نیتروپروساید در غلظت ۲۵ میکرومولار و کمترین شاخص (۶۹/۵۸ درصد) در شاهد آب‌مقطر مشاهده شد (جدول ۱). پایداری غشأ در نمونه‌های تیمار شده از شدت کاهش کمتری برخوردار بودند، به‌عبارت دیگر، گل‌های تیمار شده با سدیم‌نیتروپروساید دارای نشت الکترولیت کمتری بودند و این نشان‌دهنده حفظ یکپارچگی ساختار غشأ بود. فرآیند پیری با فعالیت آنزیم‌های لیپواکسیژناز که سبب تخریب غشای‌سلولی می‌شوند، افزایش می‌یابد. در نتیجه نفوذپذیری غشأ افزایش یافته و عمر پس‌ازبرداشت کاهش می‌یابد. سدیم‌نیتروپروساید از طریق حفاظت از غشأ، حفظ pH محلول گلجایی، جلوگیری از فعالیت لیپواکسیژناز و از بین‌بردن رادیکال‌های آزاد که به غشأ حمله کرده‌اند باعث حفظ ثبات غشأ می‌شود (Dwivedi *et al.*, 2016).

**جدول ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم‌نیتروپروساید و ساکارز ۲ درصد بر شاخص پایداری غشای سلولی ، قطر گل و وزن‌تر نسبی گل شاخه‌بریده نرگس رقم 'شهلای شیراز'**

**Table 1- The effect of different concentrations of sodium nitroprusside and sucrose 2% on cell membrane stability index, flower diameter, and relative fresh weight of narcissus cv. 'Shahla-e-Shiraz' cut flowers**

| تیمار Treatment | پراکسیداز (POD) ($U.g^{-1}$ FW) | شاخص پایداری غشای سلولی Cell membrane stability index (%) | قطر گل Flower diameter (mm) | وزن‌نسبی شاخه گل Relative weight of flower branch (g) |
|---|---|---|---|---|
| شاهد (آب مقطر) | $1.01^{a}$ | $69.58^{c}$ | $32.41^{a}$ | $84.38^{b}$ |
| شاهد (ساکارز) | $0.95^{a}$ | $70.48^{bc}$ | $30.66^{b}$ | $87.12^{a}$ |
| ۲۵ میکرومولار | $0.75^{a}$ | $73.30^{a}$ | $33.08^{a}$ | $89.75^{a}$ |
| ۵۰ میکرومولار | $1.07^{a}$ | $72.04^{ab}$ | $31.75^{ab}$ | $89.44^{a}$ |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p\leq0.05$)

In each column, means with similar letters are not significantly different ($p\leq0.05$) based on Duncan's multiple range test.

**جدول ۲- تأثیر زمان نگهداری (مدت زمان ۹ روز) بر فعالیت آنزیم پراکسیداز، شاخص پایداری غشای سلولی گلبرگ ، قطر گل و وزن‌تر نسبی شاخه گل، گل شاخه‌بریده نرگس رقم 'شهلای شیراز'**

**Table 2- The effect of storage time (duration 9 days) on peroxidase activity, petiole cell membrane stability index, flower diameter and relative fresh weight of flower branch, of narcissus cv. 'Shahla-e-Shiraz' cut flowers**

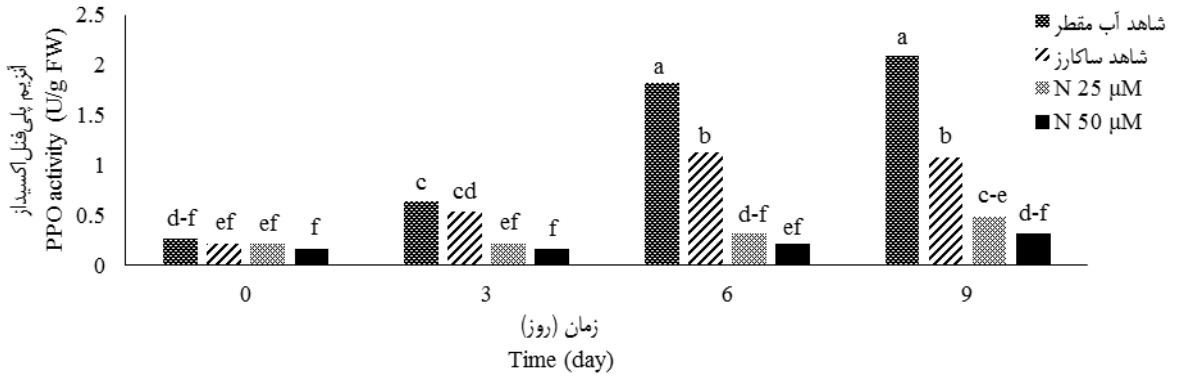
| زمان Time (day) | پراکسیداز (POD) ($U.g^{-1}$ FW) | شاخص پایداری غشای سلولی Cell membrane stability index (%) | قطر گل Flower diameter (mm) | وزن‌نسبی شاخه گل Relative weight of flower branch (g) |
|---|---|---|---|---|
| **0** | $0.92^{b}$ | $87.41^{a}$ | $37.83^{a}$ | - |
| **3** | $0.28^{c}$ | $84.59^{b}$ | $32.91^{b}$ | $92.19^{a}$ |
| **6** | $0.87^{b}$ | $74.66^{c}$ | $30.16^{c}$ | $88.10^{b}$ |
| **9** | $1.71^{a}$ | $38.75^{d}$ | $27.00^{d}$ | $82.72^{c}$ |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p\leq0.05$)

In each column, means with similar letters are not significantly different ($p\leq0.05$) based on Duncan's multiple range test.

پایداری غشای‌سلولی ممکن است در رابطه با نقش مستقیم سدیم‌نیتروپروساید در پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و یا نقش غیرمستقیم آن در جلوگیری از افزایش گونه‌های فعال اکسیژن باشد. گزارش تحقیق (Siddiqui *et al.*, 2011) نشان داد که کاربرد سدیم‌نیتروپروساید از طریق کاهش میزان نشت‌یونی موجب کاهش سرعت تعرق و افزایش بسته شدن روزنه‌ها شده است. گزارش شده است که سدیم‌نیتروپروساید نقش کلیدی در حفظ پایداری غشأ در طی مراحل گلجایی ایفا می‌کند، به‌طوری که غلظت ۰/۱ میکرومولار سبب کاهش پراکسیداسیون لیپید در گل‌های تیمار شده نسبت به شاهد شده است (Changli and Chanyou, 2011).

آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده زمان نگهداری و تیمار و همچنین اثر متقابل تیمار و زمان تاثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO) گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس داشت. نتایج مقایسه میانگین (شکل ۵) نشان داد که فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) درتیمار سدیم‌نیتروپروساید در غلظت‌های متفاوت اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (آب‌مقطر و ساکارز) داشت. همچنین تیمار شاهد ساکارز نسبت به تیمار شاهد آب‌مقطر نیز اختلاف معنی‌داری را نشان داد. فعالیت آنزیم PPO در تمام نمونه‌ها طی مدت نگهداری گل‌ها افزایش یافت، اما شدت افزایش در نمونه‌های تیمار شده با سرعت کمتری همراه بود. در پایان آزمایش (روز نهم) کمترین فعالیت آنزیم PPO در تیمار ۵۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید (۰/۳۲ U/g FW) و بیشترین فعالیت آنزیم در تیمار آب‌مقطر (۲/۰۹ U/g FW) مشاهده شد. آنزیم پلی‌فنل اکسیداز، یکی از آنزیم‌های تجزیه‌کننده ترکیبات فنلی است که سبب تولید رنگ قهوه‌ای در گل‌ها می‌شود و اثرات منفی در نگهداری گل‌ها و گیاهان دارد. آنزیم PPO از آنزیم‌هایی است که مهار فعالیت آن در نگهداری میوه‌ها و گل‌ها اهمیت دارد. مطالعات (Yang *et al.*, 2010) نشان دادند که تیمار پس‌ازبرداشت سدیم‌نیتروپروساید به‌ترتیب در میوه عناب و پسته فعالیت آنزیم‌های PPO و PAL را مهار کرده و فنل‌های کل را حفظ می‌کند. مطالعات انجام شده (Brown, 2004; Gheysarbigi *et al.*, 2020) نشان داد که عارضه قهوه‌ای شدن معمولا با اکسایش ترکیبات فنلی به اوکوئینون‌ها توسط آنزیم پلی‌فنل اکسیداز مرتبط می‌باشد و اوکوئینون‌ها به‌واسطه پلیمریزه شدن غیرانزیمی به رنگیزه‌های قهوه‌ای موسوم به ملانین تبدیل می‌شوند. گزارش مطالعات (Zhou *et al.*, 2011) نشان داد که با افزایش تنش اکسایشی، ترکیبات فنلی از سیتوزل به خارج از سلول نشت پیدا می‌کند و در این صورت بافت محصولات باغی دچار عارضه قهوه‌ای می‌شوند. در مطالعه‌ای (Liang *et al.*, 2018) نشان داده شد که تیمار سدیم‌نیتروپروساید در گل شاخه‌بریده آنتوریوم فعالیت آنزیم PPO را مهار کرده و محتوای ترکیبات فنلی کل را حفظ می‌کند. به‌طور کلی واکنش‌های قهوه‌ای شدن زمانی رخ می‌دهند که آنزیم‌های اکسیدکننده در معرض ترکیبات فنلی قرار گیرند. که این اتفاق طی فرآیند پیری بافت و تخریب غشای‌سلولی اتفاق می‌افتد. در دوره پس‌ازبرداشت، کاهش فعالیت آنزیم PPO باعث افزایش میزان فنل‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها و کاهش تجمع ROSها در میوه‌ها و سبزی‌ها و حفظ ارزش غذایی آنها می‌شود( Aghdam *et al.*, 2015: Aghdam *et al.*, 2018a ; Aghdam *et al.*, 2018b). کاربرد سدیم‌نیتروپروساید در گل‌های شاخه‌بریده گلایول، باعث کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و افزایش عمر ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده گلایول شد (Kazemzadeh-Beneh *et al.*, 2018).




**شکل ۵- اثر متقابل زمان × غلظت‌های مختلف سدیم‌نیتروپروساید بر آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO) گل شاخه‌بریده نرگس رقم 'شهلای شیراز'**

**Figure 5– The interaction effect of time ×different concentrations of sodium nitroprusside on polyphenol oxidase (PPO) enzyme of narcissus cv. 'Shahla-e-Shiraz' cut flowers (DMRT, $p \leq 0.05$)**

آنزیم پراکسیداز (POD): نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار و همچنین اثر متقابل تیمار و زمان تأثیر معنی‌داری بر آنزیم پراکسیداز گلبرگ‌های گل شاخه‌بریده نرگس نداشت اما اثر ساده زمان در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد. در این آزمایش آنزیم پراکسیداز در تیمار سدیم‌نیتروپروساید در غلظت ۲۵ میکرومولار در مقایسه با شاهد (آب‌مقطر و ساکارز) از فعالیت کمتری برخوردار بود. اما تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۱). در مورد تاثیر تیمار سدیم نیتروپروساید بر فعالیت آنزیم POD گزارشات متفاوتی دیده شده است. آزمایشی که بر روی برش‌های هلو انجام شد نشان داد که تیمار سدیم‌نیتروپروساید ۵ میکرومولار فعالیت آنزیم POD را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد و بطور معنی‌داری از قهوه‌ای شدن برش‌های میوه هلو جلوگیری کرد (Li-Qin *et al.*, 2006). برخلاف این تحقیق، کاربرد ۰/۱ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید روی گل میخک رقم 'Monte'، فعالیت آنزیم پراکسیداز را افزایش داد. در پژوهش ذکر شده تیمار سدیم نیتروپروساید به صورت محلول دائمی در تمام مدت نگهداری گل شاخه بریده میخک (۱۸ روز) استفاده شده بود (Zeng *et al.*, 2011). به احتمال این تفاوت نتیجه می‌تواند به‌دلیل تفاوت نوع گل، همچنین غلظت و شیوه استفاده از این تیمار باشد.

## نتیجه‌گیری

تیمار سدیم‌نیتروپروساید با افزایش محتوی نسبی آب گلبرگ و حفظ شاخص پایداری سلول، همچنین کاهش فعالیت آنزیم‌های موثر در فرایند قهوه‌ای شدن (PPO وPOD)، باعث حفظ کیفیت گل شاخه‌بریده نرگس شد. البته غلظت به‌کاررفته اهمیت زیادی داشت بطوری‌که غلظت پایین‌تر در بیشتر موارد مفیدتر واقع شد. با توجه به نتایج این پژوهش، سدیم‌نیتروپروساید (۲۵ میکرومولار) را می‌توان به‌عنوان ترکیب مؤثر و بسیار مفید در حفظ کیفیت و کاهش قهوه‌ای شدن گل شاخه‌بریده نرگس معرفی کرد.

## منابع


1. Aghdam, M.S., Naderi, R., Sarcheshmeh, M.A.A., & Babalar, M. (2015). Amelioration of postharvest chilling injury in anthurium cut flowers by γ-aminobutyric acid (GABA) treatments. *Postharvest Biology and Technology* 110: 70–76.
2. Aghdam, M.S., Jannatizadeh, A., Luo, Z., & Paliyath, G. (2018a). Ensuring sufficient intracellular ATP supplying and friendly extra cellular ATP signaling attenuates stresses, delays senescence and maintains quality in horticultural crops during postharvest life. *Trends Food Science and Technology* 76: 67–81.
3. Aghdam, M.S., Mahmoudi, R., Razavi, F., Rabiei, V., & Soleimani, A. (2018b). Hydrogen sulfide treatment confers chilling tolerance in hawthorn fruit during cold storage by triggering endogenous $H_2S$ accumulation, enhancing antioxidant enzymes activity and promoting phenols accumulation. *Science Horticulture* 238: 264–271.
4. Aghdam, M.S., Jannatizadeh, A., Sabzi Nojadeh, M., & Ebrahimzadeh, A. (2019). Exogenous melatonin ameliorates chilling injury in cut anthurium flowers during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology* 148: 184–191.
5. Armitage, M.A., & Laushman, J.M. (2003). *Specially Cut Flowers*. Timber Press, Portland Cambridge USA, 586 p.
6. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23: 112-121.
7. Ali, A., Muhammad, MTM., Sijam, K., & Siddiqui, Y. (2011). Effect of chitosan coatings on the physicochemical

characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chemistry* 124: 620-626.
8. Alipour, S., Farahmand, H., & Nasibi, F. (2014). *Effect of sodium nitro proside concentrations in preservative Solution on Flowering Life of Two Iranian Narcissus Cultivars*, First National Congress of Flowers and ornamental plants, Karaj, Iran. (In Persian)
9. Ashouri Vajari, M., & Molaahmad Nalousi, A. (2015). Effect of nitric oxide on postharvest quality and vase life of cut carnation flower. *Journal of Ornamental Plants 3*(3): 183-190.
10. Brown, G., Schimanski, L.J., & Jennings, D. (2004). *The effect of seasonality, maturity and color treatments on internal browning in pink lady apples*, In V International Postharvest Symposium, Verona, Italy. pp. 1013-1020.
11. Burdurlu, H.S., & Karadeniz, F. (2003). Effect of storage on non-enzymatic browning of apple juice concentrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 80: 91-97.
12. Changli, Z., & Chanyou, C. (2011). Effects of exogenous nitric oxide physiological indexes of cut lily flowers. *Food Science* 1: 202-213.
13. Chehrazi, M., Naderi, R., Shah Nejat Bushehri, A.A., & Hassani, M. (2007). Investigation of genetic diversity of narcissus (*Narcissus* spp.) indigenous and non-indigenous flowers using markers RAPD. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology* 8: 236-225. (In Persian)
14. Clark, E.M., Dole, J.M., Carlson, A.S., Moody, E.P., McCall, I.F., Fanelli, F.L., & Fonteno, W.C. (2010). Vase life of new cut flower cultivars. *Horticultural Technology 20*(6): 1016-1025.
15. Dwivedi, S.K., Arora, A., Singh, V.P., Sairam, R., & Bhattacharya, R.C. (2016). Effect of sodium nitroprusside on differential activity of antioxidants and expression of SAGs in relation to vase life of gladiolus cut flowers. *Scientia Horticulture* 210: 158-165.
16. Gheysarbigi, S., Mirdehghan, S.H., Ghasemnezhad, M., & Nazoori, F. (2020). The inhibitory effect of nitric oxide on enzymatic browning reactions of in-package fresh pistachios (*Pistacia vera* L.). *Postharvest Biology and Technology* 159: 110998.
17. Granato, D., & Masson, M.L. (2010). Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach. *Food Science and Technology 30*(4): 1090-1096.
18. Hanks, G.R. (2002). *Narcissus and daffodil: the genus Narcissus*. London: Taylor & Francis Inc. pp 419.
19. Jowkar, M.M. (2005). Effects of different compounds on the microbial population of cut Shiraz Narcissus vase solution. *Acta Horticulture* 682: 1705-1708.
20. Jowkar, M.M., & Sticklen, M. (2008). *Biotechnological applications of Narcissus*. In Volume 5: Floriculture, Ornamentals and Plant Biotechnology: Advances and Topical Issues. Teixeira da Silva JA (Ed). Global Science Books, Isleworth, UK, pp 510-539.
21. Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, Peroxidase, and Polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. *Physiologia Plantarum* 57: 315-319.
22. Kazemzadeh-Beneh, H., Samsampour, D., & Zarbakhsh, S. (2018). Biochemical, physiological changes and antioxidant responses of cut gladiolus flower 'White Prosperity' induced by nitric oxide. *Advance in Horticultural Science 32*(3): 421-431.
23. Liang, L., Deng, Y., Sun, X., Jia, X., & Su, J. (2018). Exogenous nitric oxide pretreatment enhances chilling tolerance of Anthurium. *Journal of the American Society for Horticultural Science 143*(1): 3-13.
24. Lichanporn, I., & Techavuthiporn, C. (2013). The effects of nitric oxide and nitrous oxide on enzymatic browning in longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.). *Postharvest Biology and Technology* 86: 62-65.
25. Liao, W.B., Zhang, M.L., & Yu, J.H. (2013). Role of nitric oxide in delaying senescence of cut rose flowers and its interaction with ethylene. *Scientia Horticulture* 155: 30-38.
26. Li-Qin, Zh., Zh, J., Shu-Hua, Zh., & Lai-Hui, G. (2006). Inhibition of browning on the surface of peach slices by short-term exposure to nitric oxide and ascorbic acid. *Food chemistry* 114: 174-179.
27. Luo, Z., Chen, C., & Xie, J. (2011). Effect of salicylic acid treatment on alleviating postharvest chilling injury of 'Qingnai' plum fruit. *Postharvest Biology and Technology* 62: 115-120.
28. MacDougall, D.B. (2002). Colour in food. Improving quality. *Colour Food 388*.
29. Marisa, R., Naphaporn, C., & Walaiporn, S. (2005). Effect of thermal processing on the quality loss of pineappl juice. *Journal of Food Engineering* 66: 259-265
30. Meena, H. S., and Afjal Ahmad, M. 2016. Effect of sodium nitroprusside (NO Donor) on postharvest. *Environment and Ecology 34*(2): 502-505.
31. Nazari Deljou, MJ., Khalighi, A., Arab, M., & Karamian, R. (2011). Postharvest evaluation of vase life, stem bending and screening of cultivars of cut gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus ex. Hook f.) flowers. *African Journal of Biotechnology 10*(4): 560-6.
32. Salehi-Sardoei, A., & Khalili, H. (2022). Nitric oxide signaling pathway in medicinal plants. *Cellular, Molecular and Biomedical Reports 2*(1): 1-9.
33. Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H., & Basalah, M.O. (2011). Role of nitric oxide in tolerance of plants to abiotic stress. *Proto Plasma 248*(3): 447-455.
34. Singh, B., Suri, K., Shevkani, K., Kaur, A., Kaur, A., & Singh, N. (2018). Enzymatic browning of fruit and

vegetables: a Review. *In Enzymes in Food Technology* 63-78.
35. Wills, R. B. H., Pristijono, P., & Golding, J.B. (2008). Browning on the surface of cut lettuce slices inhibited by short term exposure to nitric oxide (NO). *Food Chemistry 107*(4): 1387-1392.
36. Xu, J., Wang, W., Sun, J., Zhang, Y., Ge, Q., Du, L., Yin, H., & Liu, X. (2011). Involvement of auxin and nitric oxide in plant Cd-stress responses. *Plant and Soil 346*(1-2): 107.
37. Yang, H., Zhou, C., Wu, F., & Cheng, J. (2010). Effect of nitric oxide on browning and lignification of peeled bamboo shoots. *Postharvest Biology and Technology 57*(1): 72-76.
38. Zeng, C.L., Liu, L., & Xu, G.Q. (2011). The physiological responses of carnation cut flowers to exogenous nitric oxide. *Scientia Horticulture 127*(3): 424-430.
39. Zhou, R., Li, Y., Yan, L., & Xie, J. (2011). Effect of edible coatings on enzymes, cell-membrane integrity, and cell-wall constituents in relation to brittleness and firmness of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua) during storage. *Food Chemistry 124*(2): 569-575.
40. Zhu, Y., Du, M., Jiang, X., Huang, M., & Zhao, J. (2022). Nitric Oxide Acts as an Inhibitor of Postharvest Senescence in Horticultural Products. *International Journal of Molecular Sciences 23*(19): 11512.