مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۶ شماره ۱ صفحه‌های ۹۷ تا ۱۱۰ (۱۴۰۴)
مقاله پژوهشی

ارتقاء عمر پس‌برداشت گل رز بریدنی رقم آنجل با استفاده از نانوذرات نقره، نانوگرافن اکساید و آب پلاسما

Enhancement of Postharvest Longevity of Angel Rose Cut Flowers through Silver Nanoparticles, Graphene Oxide, and Plasma Water

تهمینه شمسی شلمانی*[1]، رحیم نیکخواه*[1] و غلامرضا عبدی[2]

۱- علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

۲- گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

* نویسنده مسئول: پست الکترونیک:(rnikkhah.r@pgu.ac.ir , t.shamsi59@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۳۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۱۳

چکیده

گل رز بریدنی به‌دلیل ارزش زینتی و اقتصادی بالا نیازمند بهبود راهکارهای افزایش طول عمر پس از برداشت است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر نانوذرات نقره، نانوگرافن اکساید و آب فعال‌شده با پلاسما به‌صورت جداگانه و ترکیبی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و عمر گلجایی گل رز انجام شد. برای ارزیابی عمر گلجایی، آزمایش نخست در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و هشت تیمار شامل آب مقطر، آب مقطر + نانوذرات نقره، آب مقطر + نانوگرافن اکساید، آب مقطر + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید، آب پلاسما، آب پلاسما + نانوذرات نقره، آب پلاسما + نانوگرافن اکساید و آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید اجرا شد. به‌منظور بررسی تغییرات صفات فیزیولوژیک در طول زمان، آزمایش دوم به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طراحی گردید؛ فاکتور اول همان هشت تیمار آزمایش نخست و فاکتور دوم زمان نمونه‌برداری در سه بازه سه، شش و ۱۵ روز پس از اعمال تیمارها بود. نتایج نشان داد که تیمار آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید بیشترین اثر مثبت را بر افزایش صفات وزن تر (۱۴۳/۳۰ گرم)، وزن خشک گل (۶/۳۹ گرم)، قطر گل (۷۴/۳۳ میلی‌متر) و مقدار جذب محلول (۰/۴۵ میلی‌لیتر بر گرم) در روز سوم داشت. همچنین، این تیمار طولانی‌ترین عمر گلجایی (۲۶ روز) را ایجاد کرد. در بررسی تعداد باکتری در محلول، تیمار آب مقطر + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید و آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید کمترین آلودگی میکروبی را در روز پایانی نشان دادند. علاوه بر این، کمترین تعداد باکتری در ساقه مربوط به تیمار آب پلاسما + نانوذرات نقره بود. در مقابل، تیمار آب مقطر به‌تنهایی ضعیف‌ترین عملکرد را در همه شاخص‌ها نشان داد. به‌طور کلی، نتایج بیانگر آن است که ترکیب آب پلاسما، نانوذرات نقره و نانوگرافن اکساید به‌عنوان یک راهکار نوین می‌تواند بهبود قابل توجهی در کیفیت و افزایش عمر پس از برداشت گل رز بریدنی رقم آنجل ایجاد نماید.

واژه‌های کلیدی: باکتری، جذب محلول، زمان نگهداری، عمر گلجایی، فیزیولوژی.

مقدمه

امروزه گل‌های بریدنی یکی از عناصر مهم زندگی شهری مدرن هستند و کاربردهای مختلف در زندگی مردم و مناسبت‌ها دارند به‌همین دلیل صنعت تولید گل‌های بریدنی یکی از شاخه‌های اصلی کشاورزی نوین به شمار می‌آید. اما ضایعات بالای این محصولات یکی از چالش‌های عمده این صنعت است. با توجه به ارزش اقتصادی و سودآوری بالای این محصولات، کاهش ضایعات و افزایش عمر پس از برداشت آن‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین پژوهش‌های فراوانی در زمینه فیزیولوژی پس از

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

برداشت گل‌های بریدنی با هدف افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت آن‌ها صورت گرفته است (Rashed *et al.,* 2024). گل رز[1]، گیاهی چندساله و چوبی از تیره رزاسه[2] با بیش از ۱۵۰ گونه و حدود ۱۴۰۰ رقم، یکی از مهم‌ترین گیاهان زینتی در جهان است. این گیاه به‌دلیل زیبایی، عطر و دوام، از جایگاه ویژه‌ای در صنعت گل‌کاری برخوردار و سطح زیرکشت آن رو به افزایش است (Soundararajan *et al.,* 2019). در راستای افزایش عمر پس از برداشت گل‌های بریدنی، استفاده از محلول‌های نگهدارنده حاوی قند و ترکیبات ضد میکروبی رایج است. قند به‌عنوان منبع انرژی برای تنفس عمل کرده و ترکیبات ضد میکروبی از انسداد آوندهای آبی جلوگیری می‌کنند (Nguyen & Lim, 2021).

گرافن تک‌لایه‌ای به‌صورت صفحه‌ای شکل با اتم‌های کربن متصل به هم به صورت شش ضلعی با هیبریداسیون SP_2 است. ضخامت صفحه‌های گرافن به تقریب ۱ نانومتر است. برخی از مهمترین ویژگی‌های نانوگرافن شامل بالابودن رسانندگی الکتریکی و گرمایی، زیاد بودن نسبت سطح به واحد جرم (۲۶۳۰ مترمربع بر گرم) است و همچنین ویژگی‌های متفاوتی که در نانو چندسازه‌ها ایجاد می‌کنند. این ماده به‌عنوان یکی از بهترین نانوذره‌های پرکننده پلیمری به حساب می‌آید. گرافن اکساید معمولاً از اکسایش گرافیت به‌روش‌های شیمی تر یا گرمایی تهیه می‌شود (Golkar *et al.,* 2021).

نانوذرات نقره[3] با اندازه بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، به‌دلیل ویژگی‌هایی مانند اندازه کوچک، اثرات سطحی ویژه و فعالیت ضد میکروبی قوی، در حوزه‌های مختلف از جمله پزشکی، زیست‌فناوری، الکترونیک و کشاورزی کاربرد دارند (Zhang *et al.,* 2023). کارایی نانوذرات نقره در گیاهان به عواملی همچون اندازه، پوشش سطحی، غلظت، نوع سنتز و ژنوتیپ گیاه بستگی دارد (Anna *et al.,* 2018). این ذرات از طریق آزادسازی یون نقره و تأثیر بر آنزیم‌های تنفسی و غشای سلولی، منجر به مهار رشد میکروبی می‌شوند (Furno *et al.,* 2004). همچنین خاصیت ضداتیلنی آن‌ها در بهبود عمر گلجایی اثبات شده است (Alimoradi *et al.,* 2013; Tymoszuk & Miler, 2019).

پلاسما، حالتی از ماده متشکل از ذرات باردار نظیر الکترون‌ها، یون‌ها و فوتون‌ها است که دارای رفتار دسته‌جمعی می‌باشد. فناوری پلاسما در کشاورزی، صنایع غذایی و پزشکی به‌طور گسترده‌ای کاربرد یافته است. آب فعال‌شده پلاسما[4] (PAW) حاصل از تماس پلاسما با آب است و ویژگی‌هایی نظیر کاهشpH، افزایش هدایت الکتریکی و تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن و نیتروژن دارد که آن را به یک عامل ضد میکروبی قدرتمند تبدیل می‌کند (Ito *et al.,* 2018). بر اساس یافته های قبلی، آب پلاسما موجب بهبود ترکیبات مغذی، عملکرد گیاه و افزایش بقای پیوندک در گیاهان باغی می‌شود (Kuzin *et al.,* 2023). با توجه به پتانسیل نانوذرات نقره و نانوگرافن اکساید در بهبود کیفیت و افزایش عمر گل‌ها و نیز نقش مکمل آب پلاسما در کاهش آلودگی‌های میکروبی، این پژوهش با هدف بررسی اثر تیمارهای نانومواد (نانوگرافن اکساید و نانوذرات نقره) همراه با آب پلاسما و یا بدون آن بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عمر پس از برداشت گل بریدنی رز رقم آنجل انجام شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش و آماده‌سازی تیمارها

این مطالعه در پاییز ۱۴۰۲ در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه خلیج فارس (بوشهر) و پس از برداشت گل‌های بریدنی انجام شد. شاخه‌های گل بریده رز رقم آنجل از گلخانه باشی واقع در شهر شیراز تهیه شدند. شاخص برداشت گل بریدنی رز رقم آنجل بر اساس مرحله بازشدگی غنچه تعیین گردید. بدین منظور، برداشت زمانی انجام شد که یک تا دو کاسبرگ خارجی باز شده و غنچه در مرحله نیمه‌گشوده قرار داشت. این مرحله به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برداشت رز معرفی می‌شود، زیرا از یک‌سو جلوه ظاهری مطلوب و بازارپسند گل را تضمین می‌کند و از سوی دیگر با به حداقل رساندن فرآیند پیری فیزیولوژیک، بیشترین عمر پس از برداشت را فراهم می‌سازد. گل‌ها از نظر قطر، طول دمگل، طول ساقه، رنگ گلبرگ‌ها و یکنواختی ظاهری همسان‌سازی شدند و بی‌درنگ در دسته‌های ۲۰ تایی بسته‌بندی و در مدت یک ساعت به‌صورت خشک به آزمایشگاه منتقل شدند.

در این پژوهش، گل‌های بریدنی رز رقم 'آنجل' تحت تیمار هشت محلول آزمایشی شامل نانوذرات نقره (SNP)، نانوگرافن اکسید (GO)، آب‌پلاسما (PW) و ترکیب آن‌ها با آب‌مقطر (DW) استفاده شد. مواد از شرکت آذر تجهیز (نمایندگی مرک آلمان)

۱- *Rosa × hybrida* L. ۲- Rosaceae ۳- AgNPs ۴- Plasma-activated water

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

تهیه و در آب‌مقطر یا آب‌پلاسما با غلظت مناسب حل شدند. برای تهیه ۱۵۰سی سی آب پلاسما ، ۱۵۰سی سی آب مقطر در ظرف مخصوص دستگاه ریخته و به مدت ۵ دقیقه روشن شد که آب پلاسما با pH مورد نظر تهیه شد. محلول‌های نگهداری در ظروف دو لیتری تهیه و حجم نهایی هر محلول یک لیتر در نظر گرفته شد. pH آب‌پلاسما مورد استفاده برابر با ۵/۶۹ و pH آب‌مقطر برابر با ۷ اندازه‌گیری شد. به تمام محلول‌ها ۳۰ گرم ساکارز اضافه گردید. برای تهیه محلول نانوذرات نقره با غلظت نهایی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مقدار ۱۲/۵ میلی‌لیتر از محلول مادر با غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به آب مقطر یا آب‌پلاسما اضافه و حجم نهایی به یک لیتر رسانده شد. همچنین برای تهیه محلول نانوگرافن اکسید با غلظت نهایی ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر، ۱۵۰ میکرولیتر از محلول مادر با غلظت ۸۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به آب مقطر یا آب‌پلاسما اضافه و حجم نهایی به یک لیتر تنظیم گردید. در هر تیمار، سه شاخه گل رز درون محلول نگهداری قرار داده شد و تمامی نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش‌ها در یخچال ایستاده با دمای ۱ ± ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

اعمال تیمارها و طرح آزمایشی

پس از انتقال گل‌های بریدنی به آزمایشگاه، انتهای ساقه‌ها در زیر آب مقطر و به‌صورت مورب تا طول ۵۰ سانتی‌متر با استفاده از قیچی استریل برش داده شد تا از انسداد آوندی جلوگیری گردد. سپس گل‌ها به‌طور تصادفی در ظروف حاوی محلول‌های تیماری قرار گرفتند. شرایط نگهداری شامل شرایط محیطی شامل دمای ۲±۲۳ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ±۶۰ درصد، شدت نور ۱۲ میکرومول در متر مربع در ثانیه و فتوپریود ۱۲ ساعت روشنایی بود.

برای ارزیابی عمر گلجایی، آزمایش نخست در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و هشت تیمار شامل:

۱) آب مقطر
۲) آب مقطر + نانوذرات نقره
۳) آب مقطر + نانوگرافن اکسید
۴) آب مقطر + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکسید
۵) آب پلاسما
۶) آب پلاسما + نانوذرات نقره
۷) آب پلاسما + نانوگرافن اکسید
۸) آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکسید

انجام شد. به‌منظور بررسی تغییرات صفات فیزیولوژیک در طول زمان، آزمایش دوم به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طراحی گردید. در این آزمایش، فاکتور اول شامل همان هشت تیمار فوق و فاکتور دوم زمان نمونه‌برداری بود که در سه بازه زمانی سه، شش و ۱۵ روز پس از اعمال تیمارها اندازه‌گیری‌ها انجام گرفت.

صفات مورد ارزیابی

پس از اعمال تیمارها و سپری شدن مدت زمان تعیین‌شده، صفات پس از برداشت شامل عمر گلجایی، تغییرات وزنی، قطر گل، قطر شاخه، تعداد باکتری و مقدار جذب محلول، مطابق با روش‌های ذکرشده در ادامه، مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند.

عمر گلجایی

مدت زمان از شروع تیمار تا پژمردگی ۶۰٪ گلبرگ‌ها یا خمیدگی بیش از ۹۰ درجه گردن گل اندازه‌گیری شد. میانگین عمر سه شاخه در هر تکرار، به‌عنوان عمر آن واحد آزمایشی در نظر گرفته شد.

مقدار جذب محلول

مقدار محلول جذب شده با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. برای بررسی میزان تبخیر، تعدادی ظرف حاوی محلول بدون شاخه گل بریده به طور تصادفی در بین تیمارها قرار داده شد و میزان میانگین تبخیر از این ظروف از تمام تیمارها کاسته شد (Rafi & Ramezanian, 2013). اندازه‌گیری جذب محلول در روزهای سه، شش و ۱۵ روز پس از آغاز آزمایش انجام شد و مقدار جذب هر دوره بر اساس اختلاف وزن محلول با روز قبل از همان زمان محاسبه گردید.

رابطه ۱: محلول جذب شده

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

محلول جذب شده = ((St − 1) − St)

St = وزن محلول در روزهای سوم، ششم و پانزدهم

(St-1) = وزن محلول گلجایی در روز قبل از آن (یعنی یک روز قبل از هر اندازه‌گیری)

تغییرات وزن‌تر گل، وزن خشک گل و شاخص وزن‌تر نسبی

برای تعیین وزن‌تر گل‌ها، ابتدا گل‌ها به‌آرامی از داخل محلول خارج شده و آب اضافی سطح آن‌ها با استفاده از دستمال یا پارچه نرم بدون ایجاد آسیب به ساختار گل‌ها پاک شد. این کار به منظور حذف اثر وزن ناشی از رطوبت سطحی انجام گردید. سپس شاخه‌های گل مربوط به هر تیمار روی ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم قرار داده شده و مقدار وزن تر گل‌ها ثبت گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک گل‌ها، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در آون قرار گرفتند. پس از اطمینان از خشک شدن کامل، گل‌ها از آون خارج شده و وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت گردید. برای میانگین وزن تر نسبی، وزن تر در روزهای سوم، ششم و پانزدهم نسبت به وزن اولیه (روز صفر) به صورت درصد طبق رابطه ۲ محاسبه شد:

رابطه ۲: میانگین وزن تر نسبی

$$\text{وزن تر نسبی} = (wt / w_{t0}) \times 100$$

Wt= وزن تر گل در روزهای سوم، ششم و پانزدهم

Wt_0=وزن تر در روز صفر

درصد ماده خشک

نمونه‌ها پس از اتمام عمر گلجایی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک و وزن شدند. سپس درصد ماده خشک از رابطه ۳ زیر به‌دست آمد:

رابطه ۳: درصد ماده خشک

$$\text{درصد ماده خشک} = (\text{وزن خشک}/\text{وزن تر نهایی}) \times 100$$

قطر گل و قطر ساقه

قطر گل در روزهای سوم، ششم و پانزدهم با کولیس اندازه‌گیری شد (میانگین قطر کوچک و بزرگ). قطر ساقه نیز در سه نقطه (پایین، میانه و بالا) اندازه‌گیری و میانگین گرفته شد.

شمارش باکتری

برای شمارش تعداد باکتری، ۲۴ ساعت پس از شروع تیمار، یک میلی‌لیتر از محلول و دو سانتی‌متر انتهای ساقه‌ها با آب‌مقطر شسته و در محلول نرمال سالین ۰/۹ درصد عصاره‌گیری شد. سپس روی محیط کشت آگار تلقیح شده و به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور ۳۷ درجه سلسیوس قرار گرفتند. شمارش کلونی‌ها طبق روش Liu و همکاران (Liu *et al.,* 2009) انجام شد.

واکاوی آماری

داده‌ها با نرم‌افزار Excel طبقه‌بندی و در نرم‌افزار SAS نسخه 9.4 تجزیه و تحلیل شدند. نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو–ویلک بررسی شد. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام گرفت.

نتایج

عمر گلجایی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد، بیشترین عمر گلجایی در تیمار ترکیبی «آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکسید» با میانگین ۲۶ روز مشاهده شد، در حالی که کمترین عمر گلجایی مربوط به تیمار شاهد (آب مقطر) با میانگین ۱۷ روز بود (شکل ۱). این یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از آب پلاسما همراه با نانوذرات فلزی و کربنی تأثیر مثبت و معنادار در افزایش عمر گلجایی گل‌های بریدنی رز رقم آنجل دارد. این نتایج می‌تواند در انتخاب شیوه‌های مؤثر و نوین جهت بهبود ماندگاری گل‌ها در صنایع گلکاری و تولیدات تجاری بسیار مفید باشد.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

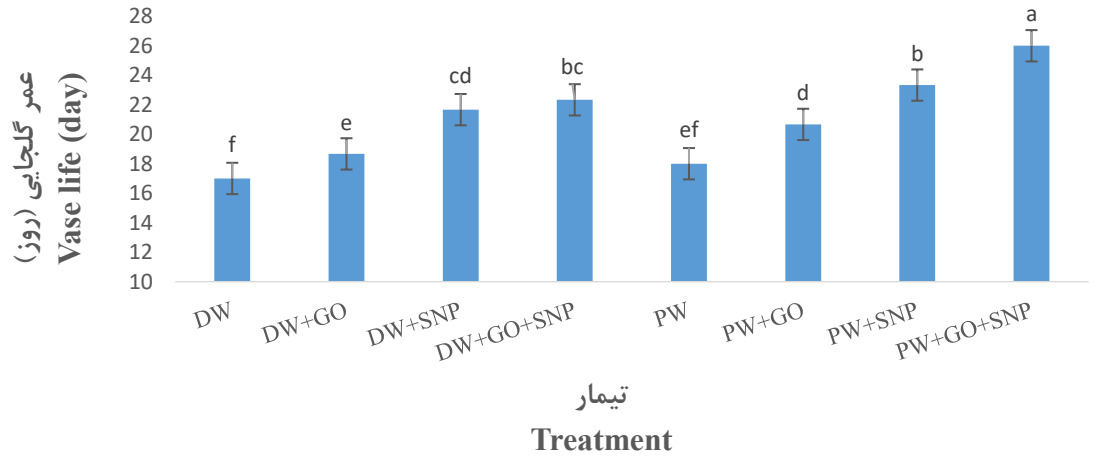
مطالعات پیشین نیز بیانگر این موضوع هستند که استفاده از نانوذرات در مقادیر پایین، به‌عنوان زیست‌کش‌های ایمن، می‌تواند به‌صورت مؤثر عمر پس از برداشت گل‌ها را افزایش دهد (Rabiza-Świder *et al.,* 2020). نانوذرات با اندازه کوچک و خواص سطحی بالا، قابلیت نفوذ به سلول‌های گیاهی و مهار فعالیت میکروبی در ناحیه آوندهای چوبی را دارند. این ویژگی، از انسداد مسیر جذب آب جلوگیری می‌کند و انتقال مؤثر آب را در طول ساقه بهبود می‌بخشد (Naing & Kim, ؛Liu *et al.,* 2009 2020). این مکانیسم، نقش کلیدی در افزایش کیفیت و دوام گل‌های بریدنی ایفا می‌کند. مطالعات مختلفی بر تأثیر نانوذرات نقره و گرافن اکسید بر فیزیولوژی پس از برداشت گل‌ها تاکید دارند. نانوذرات از طریق اختلال در نفوذپذیری غشا، مهار آنزیم‌های زنجیره تنفسی و تعامل با اجزای سلولی نظیر DNA و RNA، خاصیت ضدباکتریایی قوی از خود نشان می‌دهند (He *et al.,* 2018). در مطالعه حاضر نیز تیمارهای مختلف، از جمله نانوذرات نقره، نانوگرافن اکساید و آب پلاسما، به تنهایی یا در ترکیب، تأثیر معنی‌داری بر افزایش عمر گلجایی داشتند (شکل ۱).

در مطالعه‌ای مشابه، کاربرد ترکیبی نانوذرات نقره و گرافن اکسید در غلظت ۱ میکرولیتر بر لیتر موجب افزایش عمر گل‌های بریدنی نسبت به تیمار شاهد به مقدار ۶ روز شد (Thakur *et al.,* 2022). سلیمانی و همکاران (Soleimani *et al.,* 2023) نیز نشان دادند که استفاده از نانوذرات نقره و کلسیم با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار عمر گلجایی در گل رز رقم Classic Cezanne در روز چهارم شد. نتایج پژوهش‌های متعددی نیز تأییدکننده تأثیر مثبت نانوذرات نقره در افزایش عمر پس از برداشت سایر گونه‌های گل مانند آلسترومریا[۱] (Langroudi *et al.,* 2020) و گل لاله[۲] رقم White Parrot (Byczyńska, 2017) است. همچنین، یافته‌های کاظمی‌پور و همکاران (Kazemipour *et al.,* 2015) نشان داد که کاربرد نانوذرات نقره در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و سیلیکات سدیم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش معنادار عمر گل داوودی[۳] بریدنی شد. در مطالعه حاضر نیز برهمکنش این دو ماده معنی‌دار بود (شکل ۱).

از سوی دیگر، نقش آب پلاسما نیز به واسطه تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) از جمله پراکسید هیدروژن، در بهبود تحمل گل‌ها به تنش‌های زیستی و غیرزیستی اهمیت دارد. پراکسید هیدروژن به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده، در فعال‌سازی مکانیسم‌های دفاعی، تعدیل پیری و بهبود مقاومت در برابر استرس‌هایی نظیر گرما، شوری و فلزات سنگین مؤثر است، با این حال، افزایش بیش از حد ROS می‌تواند به تسریع پیری منجر شود (Saxena *et al.,* 2016). مطالعات Liao و همکاران (Liao *et al.,* 2012) و همچنین Rahimian-Boogar و همکاران (Rahimian-Boogar *et al.,* 2016) نشان دادند که استفاده از محلول نگهدارنده حاوی پراکسید هیدروژن در غلظت‌های بهینه (حدود ۶۰۰ میکرومولار)، موجب افزایش طول عمر گلدانی در گل‌های سوسن و مریم بریدنی شد. بررسی تیمار گل لیلیوم رقم Siberia با آب فعال‌شده با پلاسما، نشان داد که غلظت ۶۰۰ میکرومولار مؤثرترین تیمار در افزایش عمر گلدانی و جذب آب توسط گل‌ها بوده است (Kwon & Ryu, 2018). به طور کلی، یافته‌های پژوهش حاضر در راستای مطالعات پیشین نشان می‌دهد که استفاده ترکیبی از نانوذرات نقره، نانوگرافن اکساید و آب پلاسما، با به‌کارگیری همزمان مکانیسم‌های ضدباکتریایی، حفظ تعادل آب، و تحریک دفاع آنتی‌اکسیدانی، می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر و پایدار در افزایش عمر گل‌های بریدنی رز مورد استفاده قرار گیرد.

۱- *Alstroemeria hybrida* ۲- *Tulipa gesneriana* ۳- *Chrysanthemum morifolium*

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]



شکل ۱- مقایسه اثر تیمارهای آب مقطر (DW)، آب مقطر به همراه نانوذرات نقره (DW+SNP)، آب مقطر به همراه گرافن اکساید (DW+GO)، آب مقطر به همراه نانو ذرات نقره و نانو گرافن اکساید (DW + SNP + GO)، آب پلاسما (PW)، آب پلاسما به همراه نانوذرات نقره (PW+ SNP)، آب پلاسما به همراه نانو گرافن اکساید (PW+ GO) و آب پلاسما به همراه نانو ذرات نقره و نانو گرافن اکساید (PW+ SNP+ GO) بر میانگین عمر گلجایی گل بریدنی رز رقم آنجل. ارتفاع ستون‌ها میانگین عمر گلجایی (روز) را نشان می‌دهد و حروف روی ستون‌ها تفاوت معنادار آماری بین تیمارها را بر اساس آزمون دانکن (α =۰/۰۵) مشخص می‌کنند.

Fig. 1. Comparison effects of different treatments including distilled water (DW), distilled water with silver nanoparticles (DW+SNP), distilled water with graphene oxide (DW+GO), distilled water with silver nanoparticles and graphene oxide (DW+SNP+GO), plasma-activated water (PW), plasma-activated water with silver nanoparticles (PW+SNP), plasma-activated water with graphene oxide (PW+GO), and plasma-activated water with silver nanoparticles and graphene oxide (PW+SNP+GO) on the mean vase life of cut rose flowers (cv. Angel). The height of the bars represents the mean vase life (days), and the letters above the bars indicate statistically significant differences between treatments according to Duncan's test (α = 0.05).

وزن تر نسبی، وزن تر و خشک گل

بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده، گل‌های داخل تیمار ترکیبی «آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» در روز سوم، بالاترین وزن تر نسبی (۱۴۳/۳۳درصد)، وزن تر (۳۸/۳۳ گرم) و خشک گل (۶/۳۹ گرم) را نشان دادند، که نشان‌دهنده اثربخشی بالای این ترکیب در بهبود وضعیت آبی گل در مراحل ابتدایی پس از برداشت است. در مقابل، تیمار شاهد (آب مقطر) در روز پانزدهم، با ثبت وزن تر نسبی ۹۰/۳۳ درصد، کمترین کارایی را داشت. کمترین وزن تر گل نیز در تیمار آب مقطر در روزهای سوم و ششم به‌ترتیب با ۱۶/۶۶ و ۱۸/۳۳گرم مشاهده شد. همچنین، تیمار آب پلاسما به‌تنهایی در روز پانزدهم با وزن تر ۲۰ گرم عملکرد ضعیف‌تری نسبت به تیمارهای ترکیبی داشت. در مورد وزن خشک نیز، تیمار شاهد با میانگین ۳/۲۶ گرم در روز پانزدهم کمترین مقدار را داشت (جدول ۱). در روز پانزدهم به عنوان روز پایانی آزمایش، تیمار آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید بالاترین وزن‌تر نسبی (۱۱۸/۶۶ درصد) را به خود اختصاص داد که با تیمارهای آب پلاسما + نانو ذرات نقره (۱۱۴/۰ درصد) و آب مقطر + نانوگرافن اکساید (۱۱۲/۰ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت. در صفت وزن‌تر گل نیز، تیمارهای آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید و آب پلاسما + نانوذرات نقره هر دو با ۳۰ گرم بیشترین مقدار را داشتند، در حالی که با تیمار آب مقطر + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید با ۲۹/۳۳ گرم به لحاظ آماری اختلافی نشان نداد. همچنین، بیشترین وزن خشک گل در تیمار آب پلاسما + نانوگرافن اکساید (۴/۶۷ گرم) به دست آمد که از نظر آماری با سایر تیمارهای ترکیبی حاوی آب پلاسما و نیز تیمار آب مقطر + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید اختلافی نداشت (جدول ۱).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

جدول ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای نانوذرات و آب پلاسما فعال‌شده در زمان‌های مختلف نگهداری بر ویژگی‌های پس از برداشت گل بریدنی رز رقم آنجل تحت شرایط نگهداری در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵٪.

Table 1. Mean Comparison of the Effects of Nanoparticle and Plasma-Activated Water treatments at different holding times on postharvest traits of cut rose (*Rosa hybrida* 'Angel') under holding conditions at 10 °C and 75 % relative humidity.

تیمار Treatment	زمان انبارمانی Storage time (day)	وزن تر نسبی Relative fresh weight (%)	وزن تر گل Flower fresh weight (gr)	وزن خشک گل Flower dry weight (gr)	قطر گل Flower diameter (mm)	قطر شاخه Stem diameter (mm)
آب مقطر Distilled water	3	114.33 $^{e-j}$	25.0 ^{f}	3.83 $^{f-i}$	56.42 ^{d}	4.64 ^{cd}
	6	108.67 ^{j}	18.3 ^{g}	3.41 ^{hi}	55.31 ^{d}	4.56 $^{c-h}$
	15	90.33 ^{l}	16.7 ^{g}	3.26 ^{i}	46.77 ^{e}	4.07 ^{h}
آب مقطر+ نانو ذرات نقره Distilled water + silver nanoparticles	3	121.33 ^{cde}	28.3 $^{c-f}$	4.25 $^{c-g}$	55.79 ^{d}	5.41 ^{ab}
	6	108.67 ^{j}	26.7 ^{def}	4.19 $^{c-g}$	56.15 ^{d}	4.67 ^{cd}
	15	100.00 ^{k}	25.0 ^{f}	3.92 $^{e-i}$	54.30 ^{d}	4.62 $^{c-f}$
آب مقطر+ نانو گرافن اکساید Distilled water + nano graphene oxide	3	126.67 ^{bc}	28.3 $^{c-f}$	4.36 $^{c-g}$	58.43 ^{cd}	4.82 ^{c}
	6	113.33 $^{f-j}$	28.3 $^{c-f}$	3.87 $^{f-i}$	56.16 ^{d}	4.70 ^{cd}
	15	112.00 $^{g-j}$	26.0 ^{ef}	3.70 ^{ghi}	54.37 ^{d}	4.42 $^{c-h}$
آب مقطر+ نانو ذرات نقره+ نانوگرافن اکساید Distilled water + silver nanoparticles + nano graphene oxide	3	126.00 ^{bc}	29.3 ^{cde}	4.62 ^{cde}	64.07 ^{b}	4.81 ^{c}
	6	110.67 ^{hij}	30.0 ^{cd}	4.40 $^{c-g}$	58.46 ^{cd}	4.63 ^{cde}
	15	108.67 ^{j}	29.3 ^{cde}	4.36 $^{c-g}$	56.29 ^{d}	4.28 $^{d-h}$
آب پلاسما Plasma water	3	117.67 $^{e-h}$	30.0 ^{cd}	4.52 $^{c-f}$	54.68 ^{d}	4.33 $^{c-h}$
	6	116.67 $^{e-i}$	26.7 ^{def}	4.10 $^{d-h}$	53.91 ^{d}	4.24 $^{d-h}$
	15	110.67 ^{hij}	20.0 ^{g}	4.01 $^{d-i}$	45.56 ^{e}	4.14 $^{e-h}$
آب پلاسما + نانو ذرات نقره Plasma water + silver nanoparticles	3	125.00 ^{cd}	35.0 ^{b}	4.92 ^{c}	56.81 ^{d}	5.66 ^{ab}
	6	115.33 $^{e-j}$	31.7 ^{bc}	4.63 ^{cde}	58.01 ^{d}	5.74 ^{a}
	15	114.00 $^{e-j}$	30.0 ^{cd}	4.37 $^{c-g}$	54.19 ^{d}	4.69 ^{cd}
آب پلاسما + نانو گرافن اکساید Plasma water + nano graphene oxide	3	120.00 $^{c-f}$	31.7 ^{bc}	4.85 ^{c}	72.00 ^{a}	5.25 ^{b}
	6	110.00 ^{ij}	30.0 ^{cd}	4.91 ^{c}	65.40 ^{b}	4.70 ^{cd}
	15	109.67 ^{ij}	25.0 ^{f}	4.67 ^{cd}	63.73 ^{b}	4.60 $^{c-g}$
آب پلاسما + نانو ذرات نقره+ نانوگرافن اکساید Plasma water + silver nanoparticles + nano graphene oxide	3	143.33 ^{a}	38.3 ^{a}	6.39 ^{a}	74.33 ^{a}	4.63 ^{cde}
	6	132.67 ^{b}	31.7 ^{bc}	5.77 ^{b}	65.56 ^{b}	4.58 $^{c-g}$
	15	118.67 $^{d-g}$	30.0 ^{cd}	4.41 $^{c-g}$	63.32 ^{bc}	4.46 $^{c-h}$

میانگین‌های موجود در هر ستون که دستکم دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن ندارند.

Means in each column with at least a same letter are not significantly different according to Duncan (P<0.01) test.

برای افزایش طول عمر گل‌های بریدنی، حفظ جریان مؤثر آب، کاهش اتلاف رطوبت و ثبات وزن تر از اهمیت بالایی برخوردار است. حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh *et al.*, 2014) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند؛ به‌طوری‌که استفاده از نانوذرات نقره در غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌صورت تیمار پالسی، منجر به افزایش عمر گلجایی گل رز رقم Full House شد. در این پژوهش، تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر کمترین کاهش در وزن تر نسبی را نسبت به سایر تیمارها و شاهد نشان داد. در راستای این یافته‌ها، Thakur و همکاران (Thakur *et al.*, 2022) تأثیر مثبت ترکیب نانوذرات نقره و گرافن اکسیدبر

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

جذب آب و افزایش وزن تر نسبی در گل پرنده بهشتی[1] را گزارش کردند. یافته‌های مطالعه حاضر همچنین با گزارش (Kwon & Ryu, 2018) همخوان است که اثر آب پلاسما بر حفظ محتوای نسبی آب در برگ‌های سوسن هیبرید سیبری را بررسی کردند. در مطالعه آن‌ها، برگ‌های تیمار شده با آب پلاسما نسبت به گروه کنترل، کاهش کمتری در RWC نشان دادند. این اثر را به حضور پراکسید هیدروژن نسبت دادند که از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، بهبود محتوای قندهای محلول، کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش مقاومت در برابر تنش‌های اسمزی، کیفیت پس از برداشت را ارتقا داده است. در همین راستا، Liao و همکاران (Liao *et al.*, 2012) نشان دادند که تیمار گل سوسن مانیسا با ۶۰۰ میکرومولار پراکسید هیدروژن، موجب تأخیر در کاهش محتوای آب برگ‌ها شد، که به فعال‌سازی مسیرهای وابسته به آبسیزیک اسید و بسته شدن روزنه‌ها نسبت داده شد.

قطر گل و شاخه

نتایج نشان داد قطر گل در تیمارهای «آب پلاسما + نانوگرافن اکساید» و «آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» بدون اختلاف آماری معنی دار در روز سوم بیشترین مقدار را نشان داد (جدول۱). همچنین، قطر شاخه در تیمار «آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» در روزهای سوم و ششم و در تیمار «آب مقطر + نانوذرات نقره» در روز سوم، نسبت به سایر تیمارها عملکرد بهتری داشت. در مقابل، تیمارهای «آب مقطر» و «آب پلاسما» در روز پانزدهم، کمترین مقدار قطر گل و قطر شاخه را نشان دادند (جدول ۱). طبق داده‌های جدول ۱، در روز پانزدهم بیشترین قطر گل مربوط به تیمار آب پلاسما + نانوگرافن اکساید با میانگین ۶۳/۷۲ میلی‌متر بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید (۶۳/۳۲ میلی‌متر) نداشت و هر دو تیمار نسبت به سایر تیمارها عملکرد بهتری در حفظ قطر گل نشان دادند. در خصوص قطر شاخه نیز، تیمار آب مقطر + نانوذرات نقره با میانگین ۴/۶۸ میلی‌متر بالاترین مقدار را داشت، هرچند این برتری نسبت به سایر تیمارها چندان چشمگیر نبود و تفاوت معنی‌داری فقط با تیمارهای آب مقطر و آب پلاسما به تنهایی مشاهده شد (جدول ۱). این یافته‌ها تأیید می‌کند که استفاده از نانومواد (به‌ویژه در ترکیب با آب پلاسما) تأثیر مثبت و پایداری بر بهبود ساختار فیزیکی گل‌ها دارد و این اثر در طول زمان نیز حفظ می‌شود.

مطالعات پیشین نیز شواهد مشابهی ارائه کرده‌اند. Thakur و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که افزایش طول و عرض گلبرگ‌ها در گل پرنده بهشتی در مرحله پس از برداشت و در شرایط تیمار با محلول گرافن اکسید و نانوذرات نقره در غلظت ۱ میکرولیتر در لیتر در گلجای رخ داده است. تیمار شاهد که شامل آب مقطر بدون افزودنی‌های نانوذرات بود، چنین افزایش معناداری در اندازه گلبرگ‌ها نشان نداد و پارامترهای فیزیولوژیکی آن همچون جذب محلول، وزن تازه نسبی و تراکم میکروبی در حد پایه باقی ماند. بنابراین، اثر مشهود بر افزایش طول و عرض گلبرگ‌ها مستقیماً ناشی از استفاده از نانوذرات ترکیبی و بعد از برداشت گل بود، نه قبل از برداشت یا در شرایط شاهد. این اثر به‌دلیل بهبود جذب آب و انتقال آن به بافت گلبرگ، و در نتیجه افزایش سنتز کربوهیدرات و توسعه گلبرگ‌ها تفسیر شد. همچنین سلیمانی و همکاران (Soleimani *et al.*, 2023) گزارش کردند که تیمار با نانوذرات کلسیم و نقره (۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) در گل رز رقم Classic Cezanne منجر به افزایش ۱۴ درصدی قطر گل نسبت به تیمار شاهد شد. در پژوهشی، Alimoradi و همکاران (Alimoradi *et al.*, 2013) نیز اثر مثبت تیوسولفات نقره را در افزایش قطر گل بریدنی آلسترومریا گزارش کردند. علاوه بر این، He و همکاران (He *et al.*, 2018) نشان دادند که تیمار رز بریدنی با گرافن اکسیددر غلظت پایین (۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) سبب افزایش عمر گلدانی و قطر گل‌ها شد، که به خواص ضد میکروبی نانوذرات و بهبود روابط آبی نسبت داده شد.

باز شدن ناقص جوانه‌ها و عدم توسعه کامل گل‌ها از عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت و عمر گلدانی هستند (van Doorn & Han, 2011). در همین راستا، Liao و همکاران (Liao *et al.*, 2012) گزارش کردند که قطر گل سوسن مانیسا درتیمار ۶۰۰ میکرومولار پراکسید هیدروژن نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌دار داشت، در حالی‌که غلظت بالاتر یعنی۱۲۰۰ میکرومولار تأثیر معکوس ایجاد نمود. استفاده همزمان از مهارکننده‌های پراکسید هیدروژن نظیر DPI یا آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر اسکوربیک اسید این اثر منفی را تعدیل کردند. مطالعه Kwon و Ryu (Kwon & Ryu, 2018) نیز بیانگر آن بود که تیمار گل‌های لیلیوم

۱- *Strelitzia reginae* L.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

رقم Siberia با آب فعال‌شده با پلاسما، به‌رغم عدم تفاوت آماری معنی‌دار در قطر گل، موجب افزایش نسبی معنی دار اندازه گل‌ها در مقایسه با گروه شاهد شد؛ بیشترین قطر گل مربوط به تیمار ۶۰۰ میکرومولار آب پلاسما بود. در مجموع، یافته‌های مطالعه حاضر نیز نشان داد که استفاده از تیمارهای نانویی به‌ویژه در ترکیب با آب پلاسما می‌تواند با بهبود جذب آب، حفظ فشار تورژسانس سلولی، و تأخیر در پیری فیزیولوژیک، قطر گل و شاخه را به‌طور معناداری افزایش دهد و کیفیت فیزیکی گل‌های بریدنی را در طول نگهداری ارتقاء بخشد.

درصد ماده خشک

نتایج واکاوی داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد ماده خشک در تیمار ترکیبی «آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» در روز سوم مشاهده شد (۱۶/۸۹٪)، در حالی‌که کمترین مقدار این شاخص مربوط به تیمار «آب مقطر» در روز پانزدهم با ۱۰/۷۰٪ بود (جدول ۲). در روز پانزدهم، بیشترین درصد ماده خشک مربوط به تیمار آب پلاسما + نانوگرافن اکساید (۱۴/۱۷٪) بود که با تیمارهای ترکیبی دیگر حاوی نانوذرات بجز ترکیب «آب مقطر+ نانو ذرات نقره»، اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). این یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب فناوری آب پلاسما و نانومواد می‌تواند نقش مؤثری در حفظ ماده خشک گل‌ها در مراحل اولیه پس از برداشت ایفا کند.

یافته‌های حاضر با نتایج Škarpa و همکاران (Škarpa *et al.,* 2020) مطابقت دارد؛ آن‌ها در مطالعه‌ای روی ذرت نشان دادند که محلول‌پاشی دوره‌ای با آب فعال‌شده با پلاسما، منجر به افزایش قابل‌توجه محتوای نیتروژن در ماده خشک گیاه شد، اگرچه سایر عناصر مغذی در این تیمار تأثیر مشخصی نداشتند. این مطالعه نیز نقش پتانسیل بالای آب پلاسما در ارتقاء کیفیت فیزیولوژی گیاه را تأیید می‌کند. از سوی دیگر، اثربخشی نانومواد بر ماده خشک گیاه به عوامل متعددی از جمله ترکیب شیمیایی، اندازه، پوشش سطحی، نوع سنتز و خصوصیات گیاه هدف بستگی دارد (Anna *et al.,* 2018). نانوگرافن اکساید با دارا بودن ویژگی‌های آبدوست، توانایی افزایش ظرفیت انتقال آب و تحریک رشد گیاهان نظیر اسفناج و پیازچه را در غلظت‌های پایین نشان داده است (Dasgupta *et al.,* 2017). همچنین، یون نقره به‌عنوان یکی از قوی‌ترین عوامل ضداتیلنی شناخته شده است و می‌تواند با مهار اثر اتیلن، مانع از پیری زودرس بافت‌های گل شود. در پژوهشی دیگر استفاده از نانوذرات نقره در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر از باززایی ریشه ناخواسته در گل‌های ژربرا و داوودی جلوگیری کرده و در عین حال، موجب بهبود کارایی و ماندگاری گل پامچال شد (Tymoszuk & Miler, 2019). در مجموع، ترکیب آب پلاسما با نانوذرات نقره و گرافن اکساید، با بهبود پایداری ساختار سلولی و کاهش روند تخریب فیزیولوژیک، می‌تواند نقش مهمی در حفظ ماده خشک و در نتیجه افزایش کیفیت و عمر گلجایی گل‌های بریدنی ایفا کند.

مقدار جذب محلول

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار جذب محلول در تیمار ترکیبی «آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» در روز سوم با میانگین ۴۵ میلی‌لیتر بر گرم ثبت شد که اگرچه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار «آب مقطر + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» (۴۳/۳۳ میلی‌لیتر بر گرم) نداشت، اما در مجموع، هر دو تیمار بهترین عملکرد را در این شاخص نشان دادند. در مقابل، تیمار «آب مقطر» در روز پانزدهم با میانگین ۱۵/۶۷ میلی‌لیتر بر گرم، کمترین مقدار جذب محلول را دارا بود. سایر تیمارها، از جمله «آب پلاسما» و ترکیبات حاوی نانومواد در روز آخر، نیز کاهش قابل‌توجهی در جذب محلول نسبت به روزهای ابتدایی نشان دادند (جدول ۲). با توجه به داده‌های روز پایانی آزمایش (روز ۱۵)، مشخص شد که بیشترین میزان جذب محلول مربوط به تیمار آب مقطر + نانوذرات نقره با ۲۶/۶۷ میلی‌لیتر بر گرم وزن‌تر بود. این نتیجه نشان می‌دهد که حضور نانوذرات نقره به‌تنهایی توانسته است در شرایط انتهایی نگهداری، نسبت به سایر تیمارها جذب محلول بیشتری را در ساقه گل‌ها حفظ کند. در مقابل، تیمارهای آب مقطر (۱۵/۶۷)، آب پلاسما (۱۶/۶۶) و نیز برخی ترکیبات پلاسمایی، کمترین میزان جذب محلول را داشتند که بیانگر کاهش کارایی آن‌ها در تأمین نیاز آبی گل در روزهای انتهایی انبارمانی است (جدول ۲).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای نانوذرات و آب پلاسما فعال‌شده در زمان‌های مختلف نگهداری بر ویژگی‌های پس از برداشت گل بریدنی رز رقم آنجل تحت شرایط نگهداری در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵٪.

Table 2. Mean Comparison of the Effects of Nanoparticle and Plasma-Activated Water treatments at different holding times on postharvest traits of cut rose (*Rosa hybrida* 'Angel') under holding conditions at 10 °C and 75 % relative humidity.

تیمار Treatment	زمان انبارمانی Storage time (day)	درصد ماده خشک Dry matter percentage (%)	مقدرا جذب محلول Soluble absorption rate (mL/g FW)	تعداد باکتری‌های محلول Solution bacterial count (CFU/mL)	تعداد باکتری‌های ساقه Stem bacterial count (CFU/mL)
آب مقطر Distilled water	3	13.28 e-i	29.0 efg	26.3 ij	126.7 b-e
	6	12.42 hi	19.0 jk	37.7 c	134.0 bc
	15	10.70 j	15.7 k	70.0 a	149.3 a
آب مقطر+ نانو ذرات نقره Distilled water + silver nanoparticles	3	14.80 bcd	35.0 cd	15.0 n	93.0 kl
	6	14.79 bcd	34.7 cd	31.7 d-g	112.0 ghi
	15	12.19 i	26.7 fgh	32.0 def	116.7 e-i
آب مقطر+ نانو گرافن اکساید Distilled water + nano graphene oxide	3	13.39 e-i	40.3 b	21.7 klm	115.0 e-i
	6	13.56 d-h	25.0 gh	28.0 e-i	120.7 d-h
	15	13.18 f-i	19.3 jk	30.3 d-h	125.7 b-f
آب مقطر+ نانو ذرات نقره+ نانوگرافن اکساید Distilled water + silver nanoparticles + nano graphene oxide	3	14.02 d-g	43.3 ab	18.0 mn	119.3 d-h
	6	14.50 b-e	36.0 c	20.7 lm	129.0 bcd
	15	14.13 d-g	23.7 hi	22.0 klm	130.7 bcd
آب پلاسما Plasma water	3	13.33 e-i	31.7 de	23.3 jkl	122.7 c-g
	6	13.22 f-i	17.3 jk	32.0 de	134.7 b
	15	12.58 hi	16.7 jk	42.0 b	137.3 b
آب پلاسما + نانو ذرات نقره Plasma water + silver nanoparticles	3	14.39 b-f	34.0 cd	20.7 lm	87.0 l
	6	13.35 e-i	20.3 ij	25.3 ijk	98.7 jk
	15	13.05 ghi	20.0 ijk	32.3 d	106.0 ij
آب پلاسما + نانو گرافن اکساید Plasma water + nano graphene oxide	3	15.38 bc	36.3 c	18.0 mn	90.3 kl
	6	14.51 b-e	26.0 fgh	27.7 hi	109.3 hij
	15	14.18 c-g	20.0 ijk	32.3 d	114.0 f-i
آب پلاسما + نانو ذرات نقره+ نانوگرافن اکساید Plasma water + silver nanoparticles + nano graphene oxide	3	16.89 a	45.0 a	14.3 n	71.0 m
	6	15.52 b	29.3 ef	22.0 klm	106.7 ij
	15	14.10 d-g	20.0 ijk	24.7 i-l	113.7 ghi

میانگین‌های موجود در هر ستون که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن ندارند.

Means in each column with at least a same letter are not significantly different according to Duncan (P<0.01).

یافته‌های مطالعه حاضر با گزارش Amin و همکاران (Amin *et al.*, 2020) همسو است. آن‌ها دریافتند که کاربرد نانوذرات نقره (۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) به‌همراه ساکارز، سبب افزایش معنی‌دار جذب محلول و بهبود کیفیت گل‌های بریدنی آهار[۱] شد.

۱- *Zinnia elegans*

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

نانوذرات نقره با داشتن ویژگی ضداتیلنی و ضدمیکروبی قوی، نقش مهمی در بهبود جذب آب و جلوگیری از انسداد آوندهای گل ایفا می‌کنند (Tymoszuk & Miler, 2019). همچنین، سلیمانی و همکاران (Soleimani *et al.,* 2023) گزارش کردند که تیمار نانوذرات کلسیم و نقره در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، در گل‌های بریدنی رز رقم Classic Cezanne منجر به افزایش جذب محلول شد. علاوه‌بر این، (Rezvanypour & Osfoori, 2011) اظهار داشتند که کاهش جذب محلول در گل‌ها ناشی از انسداد آوندی توسط میکروارگانیسم‌ها است که منجر به پژمردگی زودرس می‌شود. استفاده از عوامل ضد میکروبی نظیر نانوذرات نقره موجب کنترل این فعالیت‌ها و افزایش جذب محلول می‌گردد. در مجموع، ترکیب نانوذرات نقره و گرافن اکساید با آب پلاسما یا بدون آن، با افزایش توانایی گل‌ها در جذب محلول، نقش مؤثری در بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری گل‌های بریدنی دارد.

تعداد باکتری محلول و باکتری ساقه

نتایج نشان داد که آب مقطر در طول مدت زمان طولانی‌تر شرایط مناسبی برای رشد و تکثیر باکتری‌ها فراهم می‌کند. برعکس، تیمارهای «آب مقطر + نانوذرات نقره» و «آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» در روز سوم با میانگین حداقل به ترتیب ۱۵ و ۱۴/۳ تعداد باکتری، کمترین مقدار رشد باکتری محلول را نشان دادند. این مقادیر با تیمارهای ترکیبی «آب مقطر + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» و «آب پلاسما + نانوگرافن اکساید» در روز سوم (میانگین ۱۸) تفاوت آماری معنی‌دار نداشتند. تیمار «آب مقطر» در روز پایانی با میانگین ۱۴۹/۳۳ تعداد باکتری ساقه، بیشترین مقدار رشد میکروبی برای این صفت را نشان داده و این مسئله حاکی از ایجاد شرایط مساعد برای تکثیر باکتری‌ها در این تیمار است. در مقابل، تیمار «آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» در روز سوم با حداقل میانگین ۷۱ رشد باکتری، مؤثرترین تأثیر کاهش جمعیت میکروبی را نشان داد (جدول ۲). در روز پایانی آزمایش، تیمارهای آب مقطر و آب پلاسما به همراه نانوذرات نقره و نانوگرافن اکساید کمترین میزان باکتری در محلول گل بریدنی رز رقم آنجل را نشان دادند (۲۲ و ۲۴/۶۶) و به‌طور معناداری کمتر از سایر تیمارها بودند (جدول ۲). این اثر نشان‌دهنده فعالیت هم‌افزای ضد میکروبی ترکیب نانوذرات نقره و نانوگرافن اکساید است که از تجمع میکروب‌ها در انتهای ساقه و مسدود شدن رگبرگ‌ها جلوگیری کرده و جذب آب و وزن تازه گلبرگ‌ها را بهبود می‌بخشد. کمترین باکتری در ساقه نیز مربوط به تیمار آب پلاسما + نانوذرات نقره بود (۱۰۶)، که با سایر ترکیبات پلاسما و تیمار آب مقطر + نانوذرات نقره تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). این کاهش بار میکروبی احتمال مسدود نشدن رگبرگ‌ها و حفظ رطوبت، وزن تازه نسبی و سلامت فیزیولوژیک گل را افزایش می‌دهد. بنابراین، استفاده هم‌زمان از نانوذرات نقره و نانوگرافن همراه با آب پلاسما به عنوان یک استراتژی مؤثر برای کاهش رشد باکتریایی و افزایش طول عمر پس از برداشت گل بریدنی توصیه می‌شود.

باکتری‌ها از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های موجود در محلول‌های گلجایی هستند که با تجمع در ناحیه برش خورده ساقه، باعث انسداد آوندهای چوبی شده و در نتیجه مانع از جذب مؤثر آب می‌شوند (Tarizadeh, 2019). استفاده از ترکیبات ضدباکتری، به‌ویژه نانوذرات، یکی از راهکارهای مؤثر برای جلوگیری از انسداد آوندها و افزایش عمر گلدانی گل‌های بریدنی محسوب می‌شود. نانوذرات نقره با تأثیر مستقیم بر غشای سلولی و آنزیم‌های زنجیره تنفسی می‌توانند باعث مرگ باکتری‌ها شوند (Zhao *et al.,* 2018). این نانوذرات از طریق سیستم آوندی وارد ساقه می‌شوند و از کلونیزاسیون باکتری‌ها در انتهای ساقه جلوگیری می نمایند و در نهایت مانع انسداد آوندی می‌گردند (Naing & Kim, 2020). کاهش قابل‌توجه جمعیت میکروبی در این تیمارها را می‌توان به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نانوذرات از جمله اندازه، شکل، سطح، غلظت و ماهیت سطحی آن‌ها، و همچنین ویژگی‌های گیاه میزبان از جمله ژنوتیپ، مرحله رشد و شرایط فیزیولوژی نسبت داد (Anna *et al.,* 2018).

مطالعات پیشین نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کنند. Spinoso-Castillo و همکاران (Spinoso-Castillo *et al.,* 2017) اثر نانوذرات نقره را در کاهش آلودگی باکتریایی ارکیده تأیید کردند. در مطالعه‌ای Prabawati و همکاران (Prabawati *et al.,* 2023) نیز نشان دادند که تیمار نانوذرات نقره با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر توانست رشد باکتری‌ها در گل داوودی را به‌طور مؤثری مهار کند. همچنین، He و همکاران (He *et al.,* 2018) نیز به نقش میکروب‌کشی گرافن اکساید و بهبود جذب آب توسط آن در گل رز اشاره کردند. در ارتباط با آب فعال‌شده با پلاسما، مطالعات نشان داداند که واکنش آب با پلاسما موجب تغییراتی همچون کاهش pH، افزایش پراکسید هیدروژن و تولید ROS می‌شود (Ito *et al.,* 2018). گونه‌های ROS، خاصیت ضد میکروبی دارند و به کاهش رشد باکتری‌ها در محلول کمک می‌کنند (Ma *et al.,* 2017). گزارش کردند که آب فعال‌شده با پلاسما حاوی ۹۰۰

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

میکرومولار پراکسید هیدروژن، تراکم باکتری‌ها را نسبت به گروه شاهد در آب مقطر حدود ۳۰ برابر کاهش داد (Kwon & Ryu, 2018). مطالعه Amin و همکاران (Amin *et al.,* 2020) نیز نشان داد که استفاده از محلول‌های نگهدارنده حاوی نانوذرات نقره به غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر، باعث کاهش بار میکروبی در آب نگهدارنده گل بریدنی آهار شد، که بیانگر اثر ضد میکروبی مؤثر این نانوذرات در حفظ کیفیت پس از برداشت گل‌ها است. همچنین، کاظمی‌پور و همکاران (Kazemipour *et al.,* 2015) نشان دادند که ترکیب نانوذرات نقره و سیلیکات سدیم به‌طور معنی‌داری جمعیت باکتری‌های انتهای ساقه را کاهش دادند. در نهایت، به نظر می‌رسد که استفاده از تیمارهای ترکیبی حاوی نانوذرات نقره و گرافن اکساید، به‌ویژه در ترکیب با آب پلاسما، می‌تواند به‌صورت مؤثری از رشد میکروبی جلوگیری کرده و با ممانعت از انسداد آوندهای چوبی، جذب آب و عمر گلجایی گل‌های بریدنی را بهبود بخشد.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر اهمیت فناوری‌های نوین همچون آب پلاسما و نانومواد را در بهبود کیفیت و افزایش عمر گل‌های بریدنی رز رقم آنجل به‌وضوح نشان می‌دهد. ترکیب «آب پلاسما + نانوذرات نقره + نانوگرافن اکساید» به‌طور مکرر به‌عنوان مؤثرترین تیمار شناخته شد و روی همه شاخص‌های مورد بررسی، تاثیر قابل توجهی داشت. این تیمار علاوه بر افزایش وزن تر و خشک گل و شاخه، به طور معناداری قطر گل و شاخه را نیز بهبود بخشید. از سوی دیگر، کاهش تعداد باکتری‌ها و افزایش جذب محلول، به ویژه در روزهای سوم و ششم پس از برداشت، نشان‌دهنده کارایی بالای این ترکیب نسبت به سایر تیمارها بود. همچنین، افزایش عمر گلجایی تا ۲۶ روز در این تیمار نسبت به ۱۷ روز عمر گلجایی در تیمار «آب مقطر» تفاوت آماری معنادار داشت (شکل ۱). در مقابل، تیمارهای پایه همچون «آب مقطر» و «آب پلاسما» عملکرد کمتری داشتند و نتایج مربوط به آنها روی بیشتر شاخص‌ها کمتر رضایت‌بخش بود. به‌ویژه تیمار «آب مقطر» شرایط مساعدی برای رشد و تکثیر باکتری‌ها ایجاد کرد و تأثیر مثبتی بر افزایش کیفیت گل‌ها نداشت. این یافته‌ها بر اهمیت بهره‌گیری از نانومواد و ترکیب‌های پیشرفته برای افزایش عمر گلجای تأکید دارد زیرا علاوه بر بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی گل‌ها، سیستم دفاعی آن‌ها در برابر عوامل زیان‌آور را تقویت می‌کنند. بنابراین، استفاده از فناوری‌های نوین، به ویژه ترکیبات حاوی نانوذرات و آب پلاسما، به عنوان رویکردی نوآورانه و زیست‌سازگار در صنعت کشاورزی و گل‌کاری برای افزایش ماندگاری و ارتقای کیفیت گل‌های بریدنی توصیه می‌شود. این رویکرد می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت محصولات گلکاری و افزایش بهره‌وری اقتصادی داشته باشد. توصیه می‌شود در جهت به‌کارگیری این فناوری‌ها در سطح تجاری و پژوهش‌های آتی، مطالعات بیشتری با تمرکز بر غلظت‌های بهینه و سازگاری زیستی انجام گیرد.

References منابع

Alimoradi, M., Jafararpoor, M., & Golparvar, A. (2013). Improving the keeping quality and vase life of cut Alstroemeria flowers by post-harvest nano silver treatments. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, *6*(11), 632-635 .

Amin, O. A., Barsoom, M. A., & Bastawy, Z. (2020). The role of nano silver with sucrose on longevity of cut flowers of zinnia in vase. *Middle East Journal of Applied Sciences*, *10*, 835.

Anna, B., Barbara, K., & Magdalena, O. (2018). How the surface properties affect the nanocytotoxicity of silver? Study of the influence of three types of nanosilver on two wheat varieties. *Acta Physiologiae Plantarum*, *40*, 1-7.

Byczyńska, A. (2017). Improvement of postharvest quality of cut tulip 'White Parrot 'by nano silver. *World Scientific News,* (83), 224-228.

Dasgupta, A., Sarkar, J., Ghosh, M., Bhattacharya, A., Mukherjee, A., Chattopadhyay, D., & Acharya, K. (2017). Green conversion of graphene oxide to graphene nanosheets and its biosafety study. *PloS One*, *12*(2), e0171607.

Furno, F., Morley, K. S., Wong, B., Sharp, B. L., Arnold, P. L ,.Howdle, S. M., Bayston, R., Brown, P. D., Winship, P. D., & Reid, H. J. (2004). Silver nanoparticles and polymeric medical devices: a new approach to prevention of infection? *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, *54*(6), 1019-1024.

Golkar, P., Bakhtiari, M .A., & Bazarganipour, M. (2021). The effects of nanographene oxide on the morpho-biochemical traits and antioxidant activity of Lepidium sativum L. under in vitro salinity stress. *Scientia Horticulturae*, *288*, 110301.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

He, Y., Qian ,L., Liu, X., Hu, R., Huang, M., Liu, Y., Chen, G., Losic, D., & Zhu, H. (2018). Graphene oxide as an antimicrobial agent can extend the vase life of cut flowers. *Nano Research*, *11*, 6010-6022.

Hosseinzadeh, A., Kalateh-Jari, S., Zarinnai, V., Mashhadi Akbarbojar, M., & Hosseinzadeh, S. (2014). Study of the effect of silver nanoparticles on the quality and lifespan of cut rose flowers. *Scientific-Research Quarterly Journal of Plants and Ecology*, Year 10, Issue 40. (In Persian).

Ito, M., Oh, J. S., Ohta, T., Shiratani, M., & Hori, M. (2018). Current status and future prospects of agricultural applications using atmospheric-pressure plasma technologies. *Plasma Processes and Polymers*, *15*(2), 1700073.

Kazemipour, S., Hashemabadi, D., Kaviani, B., & Mohammadi, R. (2015). The effect of silver nanoparticles and sodium silicate on the shelf life and quality of cut chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* L.). *Journal of Crop and Horticultural Production and Processing*, 5(18), 63-74. (In Persian).

Kuzin, A., Solovchenko, A., Khort, D., Filippov, R., Lukanin, V., Lukina, N., & Konchekov, E. (2023). Effects of Plasma-Activated Water on Leaf and Fruit Biochemical Composition and Scion Growth in Apple. *Plants*, *12*(2), 385.

Kwon, S., & Ryu, J. H. (2018). Effects of Plasma Activated Water on the Postharvest Quality of 'Siberia'Lily. *Journal of People, Plants, and Environment*, *21*(2), 93-101.

Langroudi, M. E., Hashemabadi, D., KalateJari, S., & Asadpour, L. (2020). Effects of silver nanoparticles, chemical treatments and herbal essential oils on the vase life of cut alstroemeria (Alstroemeria 'Summer Sky') flowers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *95*(2), 175-182.

Liao, W. B., Zhang, M. L., Huang, G.B., & Yu, J.H. (2012). Hydrogen peroxide in the vase solution increases vase life and keeping quality of cut Oriental× Trumpet hybrid lily 'Manissa'. *Scientia Horticulturae*, *139*, 32-38.

Liu, J., He, S., Zhang, Z., Cao, J., Lv, P., He, S., Cheng, G., & Joyce, D. C. (2009). Nano-silver pulse treatments inhibit stem-end bacteria on cut gerbera cv. Ruikou flowers. *Postharvest Biology and Technology*, *54*(1), 59-62.

Ma, S., Kim, K., Huh, J., & Hong, Y. (2017). Characteristics of microdischarge plasma jet in water and its application to water purification by bacterial inactivation. *Separation and Purification Technology*, *188*, 147-154.

Naing, A. H., & Kim, C. K. (2020). Application of nano-silver particles to control the postharvest biology of cut flowers: A review. *Scientia Horticulturae*, *270*, 109463.

Nguyen, T. K., & Lim, J. H. (2021). Do eco-friendly floral preservative solutions prolong vase life better than chemical solutions? *Horticulturae*, *7*(10), 415.

Prabawati, S., Sjafrina, N., Sulistyaningrum, A., Rahayu, E., Widayanti, S. M., Waryat,…Arif, A. B. (2023). Increasing the Vase Life of Chrysanthemum Cut Flowers by Using Silver and Zinc Nanoparticles. *The Scientific World Journal*, (1), 8871491.

Rabiza-Świder, J., Skutnik, E., Jędrzejuk, A., & Rochala-Wojciechowska, J. (2020). Nanosilver and sucrose delay the senescence of cut snapdragon flowers. *Postharvest Biology and Technology*, *165*, 111165.

Rafi, Z. N., & Ramezanian, A. (2013). Vase life of cut rose cultivars 'Avalanche'and 'Fiesta'as affected by Nano-Silver and S-carvone treatments. *South African Journal of Botany*, *86*, 68-72.

Rahimian-Boogar, A., Salehi, H., & Mir, N. (2016). Influence of citric acid and hydrogen peroxide on postharvest quality of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.'Pearl') cut flowers. *Journal of Horticultural Research*, *24*(1).

Rashed, N. M., Memon, S. A., Turki, S. M. A., Shalaby, T. A., & El-Mogy, M. M. (2024). An analysis of conventional and modern packaging approaches for cut flowers: a review article. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1371100.

Rezvanypour, s., & Osfoori, m. (2011). Effect of chemical treatments and sucrose on vase life of three cut rose cultivars. *Journal of Research in Agricultural Science, 7*(2), 133-139.

Saxena, I., Srikanth, S., & Chen, Z. (2016). Cross talk between H2O2 and interacting signal molecules under plant stress response. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 570.

Škarpa, P., Klofáč, D., Krčma, F., Šimečková, J., & Kozáková, Z. (2020). Effect of plasma activated water foliar application on selected growth parameters of maize (*Zea mays* L.). *Water*, *12*(12), 3545.

Soleimani, H., Alaei, M., & Arghavani, M. (2023). The effect of calcium and silver nanoparticles on the morphophysiological characteristics of rose cut flowers. *Horticultural Sciences*, 37(3), 857-871. (In Persian).

Soundararajan, P., Won, S. Y., & Kim, J. S. (2019). Insight on Rosaceae family with genome sequencing and functional genomics perspective. *BioMed Research International*, *2019*(1), 7519687.

Spinoso-Castillo, J., Chavez-Santoscoy, R., Bogdanchikova, N., Pérez-Sato, J., Morales-Ramos, V., & Bello-Bello, J. (2017). Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on in vitro regeneration of vanilla (Vanilla planifolia Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, *129*, 195-207.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

Tarizadeh, F. (2019). *Effect of zeolite and silver nanoparticles treatments on increasing the vase life of cut rose cv. Red Night (Master's thesis).* University of Tabriz. 78 pages. (In Persian).

Thakur, M., Chandel, A., Guleria, S., Verma, V., Kumar, R., Singh, G., Rakwal, A., Sharma, D., & Bhargava, B. (2022). Synergistic effect of graphene oxide and silver nanoparticles as biostimulant improves the postharvest life of cut flower bird of paradise (*Strelitzia reginae* L.). *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1006168.

Tymoszuk, A., & Miler, N. (2019). Silver and gold nanoparticles impact on in vitro adventitious organogenesis in chrysanthemum, gerbera and Cape Primrose. *Scientia Horticulturae*, *257*, 108766.

van Doorn, W. G., & Han, S. S. (2011). Postharvest quality of cut lily flowers. *Postharvest Biology and Technology*, *62*(1), 1-6.

Zhang, N. A., Sun, J., Yin, L., Liu, J., & Chen, C. (2023). Silver nanoparticles: From in vitro green synthesis to in vivo biological effects in plants. *Advanced Agrochemistry*, *2*(4), 313-323.

Zhao, D., Cheng, M., Tang, W., Liu, D., Zhou, S., Meng, J., & Tao, J. (2018). Nano-silver modifies the vase life of cut herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) flowers. *Protoplasma*, *255*, 1001-1013.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 26 (1): 97-110 (2025)
Research article

Enhancement of Postharvest Longevity of Angel Rose Cut Flowers through Silver Nanoparticles, Graphene Oxide, and Plasma Water

Tahmina Shamsi Shalmani*[1], Rahim Nikkhah*[1], Gholamreza Abdi[2]
1. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Persian Gulf University, Bushehr
2. Department Of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Persian Gulf University, Bushehr
*Corresponding Authors, Email:(t.shamsi59@gmail.com; rnikkhah.r@pgu.ac.ir)

Cut roses, due to their high ornamental and economic value, require effective strategies to extend postharvest longevity. This study aimed to investigate the effects of silver nanoparticles, graphene oxide, and plasma-activated water, applied individually and in combination, on the physiological traits and vase life of cut roses. To evaluate vase life, the first experiment was conducted as a completely randomized design with three replications and eight treatments: distilled water, distilled water + silver nanoparticles, distilled water + graphene oxide, distilled water + silver nanoparticles + graphene oxide, plasma-activated water, plasma-activated water + silver nanoparticles, plasma-activated water + graphene oxide, and plasma-activated water + silver nanoparticles + graphene oxide. To monitor changes in physiological traits over time, a second experiment was designed as a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications; the first factor included the same eight treatments, and the second factor was sampling time at 3, 6, and 15 days after treatment application. Results indicated that the treatment combining plasma-activated water, silver nanoparticles, and graphene oxide exhibited the most pronounced positive effects on fresh weight (143.3 g), dry weight (6.39 g), flower diameter (74.33 mm), and solution uptake (0.45 $mL \cdot g^{-1}$) on day 3. This treatment also produced the longest vase life (26 days). Regarding microbial assessment in the solutions, the treatments of distilled water + silver nanoparticles + graphene oxide and plasma-activated water + silver nanoparticles + graphene oxide showed the lowest microbial contamination at the final day. Moreover, the lowest bacterial count in the stem was observed in the plasma-activated water + silver nanoparticles treatment. In contrast, distilled water alone showed the weakest performance across all parameters. Overall, the results suggest that the combination of plasma-activated water, silver nanoparticles, and graphene oxide represents a promising strategy for significantly improving the quality and extending the postharvest life of cut roses cv. Angel.

Keywords: Bacteria, Solution uptake, Postharvest longevity, Physiology, Vase life.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-09-09]