فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۳، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۲۱۵-۲۳۱
https://doi.org/10.22034/13.63.215

مقاله پژوهشی

غنی‌سازی محلول غذایی با نانوحباب اکسیژن و تغذیه برگی نانوکلات سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک در گل رز شاخه بریده (رقم‌های سامورایی و جوملیا)

رقیه حسین هاشمی[۱]، علی نیکبخت*[۱]، حامد عالی‌پور[۲] و محمدحسین اهتمام[۳]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

[۲] گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[۳] گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱)

چکیده

در گل‌های شاخه بریده رز، پیری گلبرگ نه تنها ارزش زینتی را محدود می‌کند، بلکه ضرر اقتصادی قابل توجهی را نیز به همراه دارد. بنابراین، تأخیر در پیری گلبرگ‌های گل رز بریده برای کسب سود تجاری بالا بسیار حائز اهمیت است. در همین راستا، پژوهشی با هدف بررسی اثر کاربرد فناوری نوین غنی‌سازی با نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم در شرایط کشت بدون خاک بر شاخص‌های فیزیولوژیک، وضعیت روزنه و عمر گلجایی گل‌های رز شاخه بریده انجام پذیرفت. پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل شامل دو رقم رز شاخه بریده (رقم‌های سامورایی و جوملیا)، غنی‌سازی محلول غذایی با نانوحباب اکسیژن (با غلظت نانوحباب اکسیژن صفر و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و به مدت ۴ دقیقه در هر ساعت) و محلول‌پاشی نانوکلات سیلیسیم ۲٪ (با غلظت صفر و ۲ میلی‌لیتر در لیتر با فاصله ۱۰ روز یکبار) با سه تکرار انجام شد. کاربرد نانوکلات سیلیسیم در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب سبب بهبود ۱۳/۴، ۱۵/۶، ۲۵/۶، ۱۸/۳ و ۲۸/۳ درصدی سطح برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و محتوای کارتنوئید شد. برهمکنش نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم محتوای کلروفیل a (۱۴/۷٪)، کلروفیل b (۲۶/۱٪)، کلروفیل کل (۱۸٪)، کارتنوئید (۲۷/۲٪)، مساحت روزنه (۷/۴۱٪)، قطر روزنه (۴/۴۸٪)، طول روزنه (۷/۳۰٪)، عرض روزنه (۶/۴۹٪) و نسبت تعداد روزنه‌های باز به بسته (۵۳٪) را در مقایسه با شاهد افزایش داد. تأثیر کاربرد نانوحباب اکسیژن اثر بارزتری در مقایسه با نانوکلات سیلیسیم را بر جای گذاشت که می‌توان آن را به‌عنوان تیمار شاخص در افزایش عمر پس از برداشت و کیفیت گل شاخه بریده رز معرفی کرد.

کلمات کلیدی: عمر پس از برداشت، وضعیت روزنه، هیدروپونیک، محتوای آنتوسیانین، قند محلول کل

مقدمه

در حال حاضر گل رز یکی از محبوب‌ترین انواع گل‌های شاخه بریده است که همواره در بازار تقاضا دارد (Gupta and Dubey, 2018). ماندگاری و حفظ کیفیت و کاهش عوارض فیزیولوژیک در گل‌های شاخه بریده به دلیل افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: anikbakht@iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

(Gupta and Dubey, 2018). به منظور افزایش تولید و پرورش در تمام طول سال، توسعه کشاورزی و غلبه بر محدودیت‌های موجود مانند دسترسی به آب، زمین‌های کوچک، بیماری‌ها و بروز آفات، وجود خاک‌های مشکل‌دار و غیره، تولید گلخانه‌ای گل‌های رز شاخه بریده به روش آبکشت یکی از سیستم‌های برجسته معرفی شده است (Kumari *et al.*, 2018). در سیستم آبکشت مانند کشت غرقابی، ریشه در محلول غذایی غوطه‌ور است و ریشه به صورت دائم به اکسیژن احتیاج دارد که به صورت محلول در محلول غذایی جذب می‌شود (Kumari *et al.*, 2018). تأمین غلظت مناسب اکسیژن موجب دسترسی بیشتر ریشه به اکسیژن می‌شود (Bhattarai and Midmore, 2009)، و به طور مستقیم رشد ریشه گیاه و جذب عناصر غذایی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Wu *et al.*, 2019). با وجود آن که از قسمت‌های هوایی انتقال اکسیژن به بستر گیاه صورت می‌پذیرد، اما سطح آن نسبت به نیاز سیستم ریشه‌ای کمتر است (نیکبخت و اشرفی، ۱۴۰۰). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که برای به حداکثر رساندن کنترل بیماری و حداکثر بازده محصول، سطوح ۲۵–۱۵ میلی‌گرم در لیتر اکسیژن برای اکثر محصولات بهینه است (Zhou *et al.*, 2019). پژوهش‌ها نشان داده است که آب آبیاری با سطوح فوق اشباع اکسیژن شرایط منطقه ریشه بهتری را برای جذب عناصر غذایی و راندمان جذب آب ایجاد می‌کند (Wu *et al.*, 2019; Baram *et al.*, 2022). سلول‌های ریشه تمام انرژی خود را از طریق تنفس سلولی تولید می‌کنند. سلول‌های مویینه ریشه اکسیژن کافی برای تنفس سلولی را از محیط‌های رشد مختلف به دست می‌آورند (Jost *et al.*, 2011). بر این اساس، استفاده از نانوحباب‌ها به‌عنوان وسیله‌ای ساده برای دستیابی به شرایط بیش بود اکسیژن در تولید محصولات کشاورزی، توجه روزافزونی را به خود جلب کرده است (Baram *et al.*, 2022). نانوحباب‌ها ذراتی با قطر کمتر از ۲۰۰ نانومتر هستند (Agarwal *et al.*, 2011) و به‌جای بالا آمدن روی سطح و بیرون آمدن مانند حباب‌های بزرگ‌تر، در داخل یک مایع شناور می‌شوند و آن‌ها را برای شرکت در واکنش‌های فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی دائماً در دسترس قرار می‌دهند (Nakazawa *et al.*, 2023). از مزایای ذکرشده برای فناوری نانوحباب می‌توان به پایداری طولانی مدت ذرات نانو در آب آبیاری، بهبود توسعه ریشه، بهبود رشد رویشی، افزایش محتویات اوره‌آز و فسفاتاز و گونه‌های میکروبی خاک اشاره کرد که و نوید رشد بیشتر ریشه‌های محصول و افزایش جذب عناصر غذایی موجود در خاک را می‌دهد و در نهایت منجر به افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Bhattarai and Midmore, 2009; Wu *et al.*, 2019; Nakazawa *et al.*, 2023). خواص فیزیکی آب در انتقال آب در آوند چوب دخیل هستند؛ این فرآیندی است که در آن کشش سطحی نقش مهمی ایفا می‌کند و به ایجاد فشار منفی در رابط آب– هوا در اتاقک زیر روزنه نیز کمک می‌کند (Domec, 2011).

از سوی دیگر، در چند دهه اخیر استفاده از عناصر سودمند در محصولات گلخانه‌ای توجه زیادی به خود جلب کرده است (Kamenidou *et al.*, 2010). بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از ترکیبات بر پایه نانوساختارها و نانوکودها برای رشد، حفاظت در برابر بیماری‌ها و کاهش تنش در گیاهان تأثیرگذار است (Seddon *et al.*, 2012). از جمله نانوکودها که می‌تواند در برنامه تغذیه‌ای گل‌های شاخه بریده قرار گیرد، عنصر مفید سیلیسیم است. افزودن سیلیسیم به بستر بدون خاک یا محلول غذایی اثرات مثبتی بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان دارد (Datnoff *et al.*, 2001). ذرات سیلیسیم می‌توانند به طور قابل توجهی موجب افزایش جذب نور و تحریک فتوسنتز، افزایش راندمان آب و اثر بر فعالیت‌های آنزیمی شوند (Mali and Aery, 2008). محققین به این نتیجه رسیدند که کاربرد سیلیسیم تخریب کلروفیل را کاهش می‌دهد و محتوای کلروفیل کل را حفظ می‌کند که می‌تواند در افزایش عمر پس از برداشت گل‌های شاخه بریده لیسیانتوس و رز دخیل باشد (Kazemi *et al.*, 2012; Asgari and Diyanat, 2021). به نظر می‌رسد سیلیسیم با افزایش شاخص کلروفیل برگ، اثر محافظتی بر روی رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ یا واکنش‌های تحریک‌کننده منجر به تولید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

این رنگ‌دانه‌ها یا ترکیبی از هر دوی آن‌ها می‌شود (Asgari and Diyanat, 2021). تحریک فتوسنتز در اثر کاربرد سیلیسیم و به دنبال آن افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و محافظت از کلروپلاست و تیلاکوئید به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی، باعث افزایش فتوسنتز می‌شود. در اثر افزایش فتوسنتز، میزان کربوهیدرات درون گیاه و همچنین محتوای آنتوسیانین افزایش می‌یابد (Savvas and Ntatsi, 2015)، و به دنبال آن عمر گلجایی و بازارپسندی گل‌های رز شاخه بریده نیز بهبود می‌یابد. محققان عنوان کرده‌اند اعمال سیلیسیم می‌تواند تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد و بر بهبود فتوسنتز در گیاهان تأثیرگذار باشد (Sun *et al.*, 2021). از سوی دیگر، کاربرد سیلیسیم باعث بهبود وضعیت روزنه و اثر مثبت بر تراکم و شاخص روزنه می‌شود (Torabi *et al.*, 2015). به نظر می‌رسد که رسوب سیلیسیم در برگ‌ها، به ویژه در سلول‌های نگهبان روزنه می‌تواند طول و عرض روزنه را تغییر دهد (Torabi *et al.*, 2015) و در نهایت عمر پس از برداشت و کیفیت گل‌های شاخه بریده را افزایش دهد.

با توجه به مطالعات صورت‌گرفته و بررسی‌های انجام‌شده اطلاعات اندکی در رابطه با ویژگی‌های فیزیولوژیک و وضعیت روزنه در صورت کاربرد همزمان محلول غذایی غنی‌شده با نانو حباب اکسیژن و محلول‌پاشی نانوکلات سیلیسیم در گل‌های رز شاخه بریده رقم سامورایی و جوملیا در بستر بدون خاک در دسترس است. لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر برهمکنش غنی‌سازی محلول‌غذایی با نانوحباب اکسیژن و محلول‌پاشی نانوکلات سیلیسیم بر برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی و وضعیت روزنه گل‌های شاخه بریده رز رقم‌های سامورایی و جوملیا مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در سالن رز گلخانه شیشه‌ای دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. این تحقیق به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل شامل دو رقم رز شاخه بریده، غنی‌سازی محلول غذایی با نانوحباب اکسیژن و محلول‌پاشی نانوکلات سیلیسیم با سه تکرار انجام شد. دو رقم رز شاخه بریده 'Samurai' و 'Jumilia' *R. hybrida* Cvs. در این تحقیق به کار گرفته شد. گل‌های رز شاخه بریده در بستر متشکل از کوکوپیت و پرلایت با نسبت ۶۰ به ۴۰ درصد مستقر شدند. در مدت زمان اعمال تیمارها دمای گلخانه در طول روز ۲۴-۲۹ درجه سلسیوس و در طول شب ۱۵-۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی گلخانه ۵۰-۴۵ درصد بود. محلول غذایی غنی‌شده با نانوحباب اکسیژن به‌منظور آبیاری و تغذیه روزانه با مقادیر صفر و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اکسیژن محلول در آب و به مدت ۴ دقیقه در هر ساعت در اختیار گیاهان قرار گرفت، فرمول غذایی گیاهان براساس جدول ۱ اعمال شد. اسیدیته محلول غذایی با استفاده از اسید نیتریک ۶۵٪ پیرامون ۵/۸-۵/۵ تنظیم شد. پمپ تولیدکننده نانوحباب اکسیژن از شرکت دانش‌بنیان دانا تجهیز پترو آب (دانتک)، دانشگاه صنعتی اصفهان تهیه شد، اندازه ذرات استفاده‌شده زیر ۱۰۰ نانومتر بوده که با روش رشته‌های نوری پویا (Daynamic light string) در آزمایشگاه نانوتکنولوژی دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه‌گیری شده است. محلول‌پاشی نانوکلات سیلیسیم ۲ درصد با غلظت صفر و ۲ میلی‌لیتر در لیتر با فاصله ۱۰ روز یکبار صورت گرفت که از شرکت صدور احرار شرق با نام تجاری خضرا، تهران تهیه شد که قطر ذرات این کود ۴۰ نانومتر و کلاتور آن ارگانیک اسید پلیمرشده گزارش شده است (شکل ۱) (Nazaran, 2012). صابون محلول‌پاشی یونی با مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر در لیتر به محلول نانوکلات سیلیسیم پس از اختلاط با آب در هر دور محلول‌پاشی اضافه شد. تیمارهای موردنظر به مدت ۸ ماه اعمال شد.

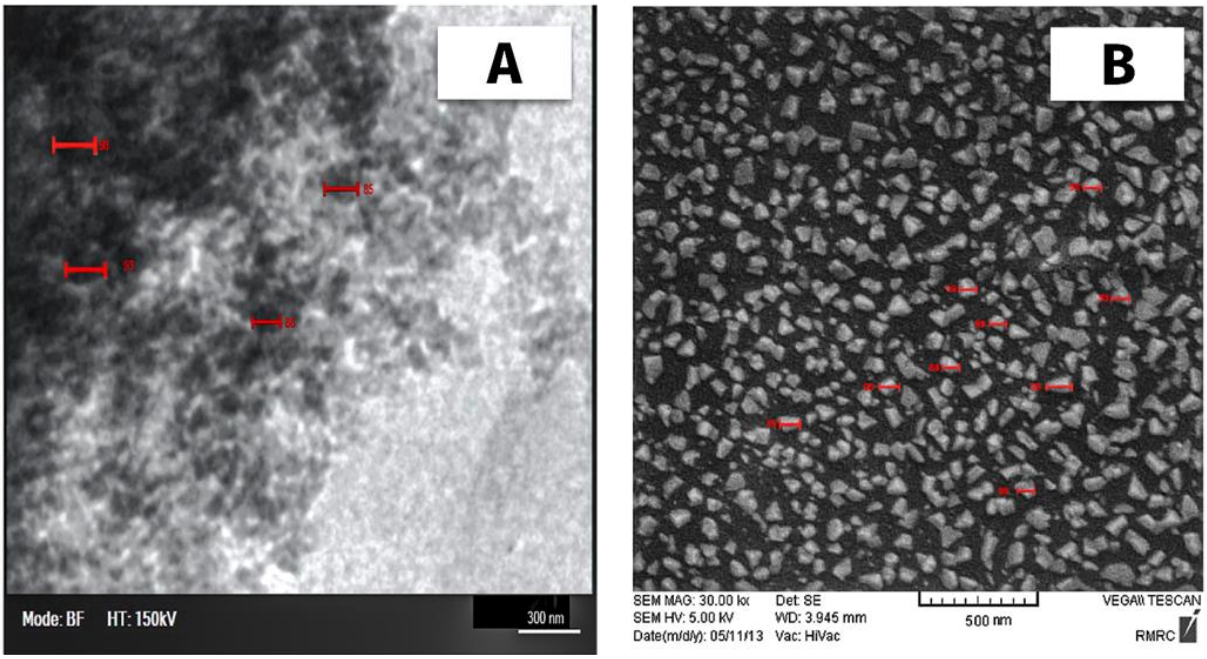
صفات مورد ارزیابی: جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های روزنه از جمله تعداد، طول و عرض، محیط و مساحت، تعداد روزنه‌های باز و بسته و نسبت آن به یکدیگر از سطح زیرین اولین برگ تکامل‌یافته پنج برگچه‌ای گل‌های رز شاخه بریده پس از ۲۰ مرحله محلول‌پاشی با نانوکلات سیلیسیم در بازه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

جدول ۱- وزن خالص عناصر غذایی مورد استفاده در آزمایش به‌ازای هر ۱۰۰۰ لیتر آب (Nazaran, 2012)

نوع عنصر	مقدار خالص عنصر (g)	منبع کودی
نیتروژن	۵۰	۳۶-۱۲-۱۲، نانو کلات کلسیم ۷٪، نانو کلات منیزیم ۶٪، نیتریک اسید ۶۵٪
فسفر	۲۰/۴	۳۶-۱۲-۱۲
پتاسیم	۵۹/۷	۳۶-۱۲-۱۲
کلسیم	۱۷/۵	نانو کلات کلسیم ۷٪
منیزیم	۶	تانو کلات منیزیم ۶٪
آهن	۳/۸	نانو کلات آهن ۹٪، نانو کلات میکرو کامل
روی و منگنز	۰/۴۵	نانو کلات میکرو کامل
مس، مولیبدن و بور	۰/۱۵	نانو کلات میکرو کامل



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) از کود نانوکلات سیلیسیم (a). همانطور که در تصویر مشخص شده مشاهده می‌شود، ذرات تقریباً بین ۸۰ تا ۹۰ نانومتر هستند. این تصویر توسط دستگاه EM900 (150KV) دانشگاه تهران گرفته شده است. تصویر SEM (میکروسکوپ الکترونی روبشی) از کود نانوکلات سیلیسیم خضرا. (b). همانطور که مشاهده می‌شود ذرات تقریباً ۴۰-۵۰ نانومتر هستند. این تصویر توسط دستگاه HITACHI SU-5000 (500 KV) در پژوهشگاه صنعت نفت گرفته شده است.

زمانی ۱۱-۱۰ صبح درحالی‌که برگ به شاخه متصل بود؛ نمونه‌برداری انجام شد. به‌منظور نمونه‌برداری لاک ناخن شفاف بر روی سطح زیرین برگ کشیده شد و پس از آن چسب نواری روی آن چسبانده و پس از جداکردن اپیدرم، لاک و چسب بر روی لام قرار داده شدند و سپس از این لام‌ها با کمک میکروسکوپ (OLYMPUS CH-2) مجهز به دوربین (Eyepieces Dino-Eye) با استفاده از نرم‌افزار Dino Capture 2 عکس‌برداری شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Digimizer (نسخه ۴/۱/۱) شاخص‌های روزنه اندازه‌گیری شد (Daneshmand *et al.*, 2024).

به منظور اندازه‌گیری سطح برگ، ۱۰ برگ پنج برگچه‌ای از هر گیاه انتخاب شد، سپس با استفاده از اسکنر (CanoScan

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

LIDE 700F) اسکن شدند و با استفاده از نرم‌افزار Digimizer (نسخه ۴/۱/۱) این پارامتر ارزیابی شد.

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کارتنوئید براساس روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد. ۰/۱ گرم از نمونه تازه اولین برگ تکامل‌یافته پنج برگچه‌ای پس از ۲۰ مرحله محلول‌پاشی با نانوکلات سیلیسیم پس از همگن‌شدن با استون ۱۰۰٪ سانتریفیوژ شد، سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Shimadzu UV-160A ساخت ژاپن) به منظور اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کارتنوئید به ترتیب میزان جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر ثبت شد (Lichtenthaler, 1987).

سنجش قند محلول کل با روش Irigoyen (۱۹۹۲) انجام شد. نمونه‌های برگ بعد از همگن‌شدن با اتانول ۹۵٪ و دو مرحله شستشو و سانتریفیوژ با اتانول ۷۰٪ به درون لوله‌های شیشه‌ای حاوی معرف آنترون منتقل و به مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری قرار گرفتند و میزان جذب نور نمونه‌ها و استانداردها در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت شد (Irigoyen *et al*., 1992).

به منظور اندازه‌گیری غلظت آنتوسیانین گلبرگ، ۰/۲ گرم از بافت تازه گلبرگ پس از ۲۰ مرحله محلول‌پاشی با نانوکلات سیلیسیم به همراه محلول استخراج (متانول: اسید کلریدریک؛ نسبت حجمی ۹۹ به ۱) همگن و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از آن که نمونه‌ها در دور ۴۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. میزان جذب نور نمونه‌ها در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر ثبت و با استفاده از فرمول واگنر محتوای آنتوسیانین کل محاسبه شد (Wagner, 1979):

$$A = \varepsilon bc \quad (1)$$

A: میزان جذب در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر، ε: ضریب خاموشی معادل ۳۳۰۰۰ $mMcm^{-1}$، b: عرض سلول اندازه‌گیری شده برابر ۱ cm و c: مقدار آنتوسیانین.

گل‌های رز شاخه بریده پس از برداشت به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس (سردخانه) در تاریکی قرار گرفتند و پس از سپری‌شدن این زمان طول عمر این گل‌ها در آزمایشگاه پس از برداشت دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه‌گیری شد. آزمایشگاه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس با چرخه نوری روشنایی به تاریکی ۱۶:۸ ساعت، ۳۵۰۰ لوکس نور اعمال‌شده توسط لامپ‌های فلورسنت سفید و رطوبت نسبی ۶۰-۵۰٪ بود. در طول عمر گلجایی گل‌ها، محلول گلجایی هر دو روز یکبار تعویض شد و تقریباً ۱ سانتی‌متر از انتهای تمام ساقه‌های گل کوتاه شد. در این پژوهش، اصطلاح پایان عمر گلجایی از زمان انتقال گل‌ها به آزمایشگاه تا زمانی که حداقل یکی از علائم زیر را نشان دهند اطلاق می‌شود: پیچ‌خوردگی یا پژمردگی گلبرگ‌ها، خم‌شدن گردن گل (بیش از ۹۰ درجه)، تغییر رنگ و کندشدن گلبرگ‌ها از این علائم هستند (Rezai *et al*., 2023).

به‌منظور بررسی آماری داده‌های مربوط به هر صفت در این پژوهش از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴)، و جهت نرمال‌سازی داده‌ها و بررسی همبستگی میان صفات از نرم‌افزار Statistix (نسخه ۸) استفاده شد.

نتایج و بحث

وضعیت روزنه: استفاده از رقم‌های مختلف در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد، مساحت، محیط، طول و عرض روزنه، تعداد روزنه‌های باز و بسته و نسبت آن‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). برهمکنش رقم و نانوحباب اکسیژن به ترتیب بر تعداد و طول روزنه در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین برهمکنش نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم بر تعداد روزنه، طول روزنه، تعداد روزنه‌های باز و بسته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). برهمکنش سه‌گانه به ترتیب بر طول روزنه و تعداد روزنه‌های بسته در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اعمال نانوحباب اکسیژن در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب در ارقام سامورایی کاهش ۱۸/۶ و ۵/۱۷ درصدی و در ارقام جومولیا افزایش ۵/۲۵ و ۱۶/۲ درصدی بر تعداد روزنه و طول روزنه را به همراه داشت (داده‌ها ارائه نشده است). کاربرد نانوکلات سیلیسیم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های روزنه تحت تیمار نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم ارقام رز سامورایی و جوملیا

منابع تغییرات	df	میانگین مربعات						
		تعداد روزنه	عرض روزنه	طول روزنه	محیط روزنه	مساحت روزنه	تعداد روزنه بسته	تعداد روزنه باز	باز/ بسته
رقم (A)	۱	۱۵۰**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۰۰۲**	۳۵۲**	۹۶۲**	۶۰/۳**
نانوحباب اکسیژن (B)	۱	۱۳/۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۵^{ns}	۱/۵^{ns}	۶^{ns}	۲/۲۱^{ns}
نانوکلات سیلیسیم (C)	۱	۴/۱۶^{ns}	۰/۰۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۴^{ns}	۰^{ns}	۰/۱۶۶^{ns}	۶^{ns}	۱/۷۸^{ns}
(B) × (A)	۱	۴۸/۱**	۰/۰۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۳*	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۹^{ns}	۰/۱۶۶^{ns}	۴۲/۶**	۰/۱۸۶^{ns}
(C) × (A)	۱	۱۶۰**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۱۶۶^{ns}	۱۵۰**	۰/۷۷۷^{ns}
(C) ×(B)	۱	۱۵۰**	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۱^{ns}	۳۲/۶**	۴۲/۶**	۱/۶۷^{ns}
(C) ×(B) ×(A)	۱	۴/۶**	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰۰۰۰۱^{ns}	۲۴**	۲/۶^{ns}	۰/۱۰۸^{ns}
خطا		۵/۰۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۰۵	۲/۶۵	۳/۶۶	۲/۲۰
٪Cv		۹/۵۴	۸/۵۴	۹/۴۲	۹/۰۲	۱۷/۳	۱۷/۴	۱۳/۵	۵۹/۸

****، * و ns به ترتیب نمایانگر معنی‌دار بودن در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار است.**

نسبت به عدم کاربرد آن در ارقام سامورایی و جوملیا به ترتیب سبب کاهش ۲۵ و افزایش ۱۸/۱ درصدی تعداد روزنه شد (داده‌ها ارائه نشده است). این در حالی است که، اعمال نانوکلات سیلیسیم در رقم جوملیا بهبود ۲۱/۶ درصدی در تعداد روزنه‌های باز را به نشان داد (داده‌ها ارائه نشده است). بیشترین تعداد روزنه در گل‌های رقم جوملیا تحت تیمار نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلسیم و کمترین آن در گیاهان تحت تیمار نانوکلات سیلیسیم در رقم سامورایی مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین عرض روزنه در رقم سامورایی تحت تیمار هم‌زمان نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم و کمترین آن در رقم جوملیا تحت تیمار نانوکلات سیلیسیم مشاهده شد. بیشترین تعداد روزنه‌های باز به ترتیب متعلق به رقم جوملیا و سامورایی تحت تیمار همزمان نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم بود (جدول ۴ و شکل ۲).

محققان عنوان کردند که تراکم و طول روزنه در دو رقم گل رز شاخه بریده (*Rosa hybrida* L.) تفاوت معنی‌داری را نشان داده است (حاتمیان و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین تفاوت در تراکم روزنه‌ای در بین دو رقم ممکن است به دلیل ویژگی‌های ژنتیکی دو رقم ژربرا (*Gerbera jamesonii* L.) باشد (Romero-Aranda *et al.*, 1994). بررسی تراکم روزنه در سطوح بالایی و پایینی برگ‌های دو رقم گل شاخه بریده ژربرا نشان داد که تراکم روزنه در بین دو رقم و همچنین دو سطح برگ در یک رقم متفاوت است (Romero-Aranda *et al.*, 1994). حاتمیان و همکاران (۱۳۹۳) عنوان کردند طول و تعداد روزنه در رزهای رقم ردوان و گلیمرا متفاوت است (حاتمیان و همکاران، ۱۳۹۳). Koentjoro و همکاران (۲۰۲۰) عنوان کردند اعمال سیلیسیم در گیاه سویا باعث بازشدن بیشتر روزنه می‌شود (Koentjoro *et al.*, 2020).

اصلی‌ترین وسیله تبادلات گازی در گیاهان آوندی روزنه‌های برگ هستند (Koentjoro *et al.*, 2020). روزنه شکافی است که معمولاً در سطح زیرین برگ‌ها تجمع یافته‌اند و توسط دو سلول اپیدرمی لوبیایی شکل تحت عنوان سلول‌های نگهبان روزنه احاطه شده‌اند که کنترل باز و بسته شدن روزنه را بر عهده دارد (Koentjoro *et al.*, 2020). روزنه‌ها نقش مهمی به عنوان دریچه در ورود و خروج بخار آب، دی‌اکسید کربن و اکسیژن دارند (حاتمیان و همکاران، ۱۳۹۳؛ Koentjoro *et al.*, 2020). با توجه به آن که عنصر سیلیسیم موجب بهبود تحمل به تنش‌های محیطی و بهبود تعادل عناصر غذایی در گیاهان می‌شود (Reezi *et al.*, 2018) می‌توان عنوان کرد که اعمال نانوکلات سیلیسیم بر روی

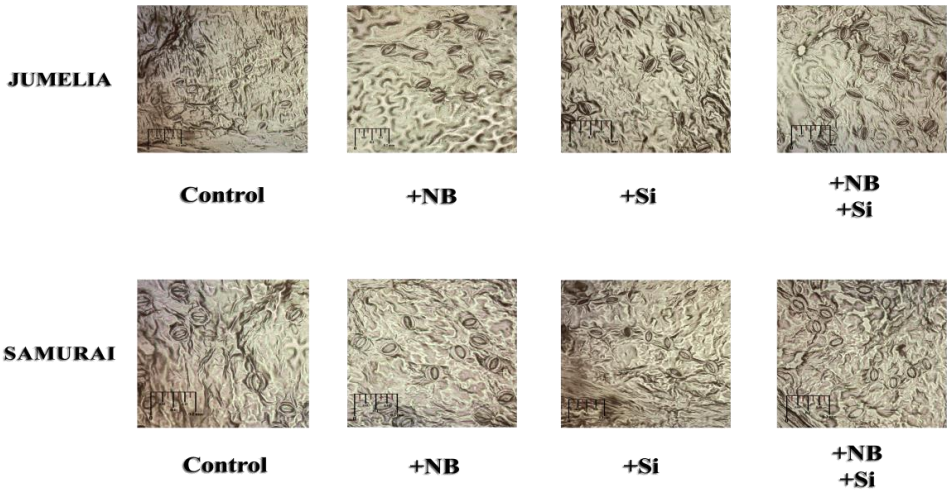
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

جدول ۳- مقایسه میانگین رقم، نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم بر صفات روزنه در ارقام رز سامورایی و جوملیا

تیمارها	صفات اندازه‌گیری‌شده						
	تعداد روزنه	عرض روزنه (mm)	طول روزنه (mm)	محیط روزنه (mm^2)	مساحت روزنه (mm^3)	تعداد روزنه بسته	تعداد روزنه‌های باز	باز/ بسته
رقم‌ها								
جوملیا	۲۶^{a}	۰/۰۰۳^{b}	۰/۲۰۳^{b}	۰/۰۷۳^{b}	۰/۰۵۲^{b}	۵/۵۰^{b}	۲۰/۵^{a}	۴/۰۶^{a}
سامورایی	۲۱^{b}	۰/۰۰۵^{a}	۰/۲۵۳^{a}	۰/۰۸۶^{a}	۰/۰۷۰^{a}	۱۳/۱^{a}	۷/۸۳^{b}	۰/۸۹۶^{b}
نانوحباب اکسیژن								
کاربرد	۲۲/۷^{a}	۰/۰۰۴^{a}	۰/۲۳۳^{a}	۰/۰۸۱^{a}	۰/۰۶۲^{a}	۹/۰۸^{a}	۱۳/۶^{a}	۲/۷۸^{a}
عدم کاربرد	۲۴/۲^{a}	۰/۰۰۳^{a}	۰/۲۲۳^{a}	۰/۰۷۸^{a}	۰/۰۶۰^{a}	۹/۵۸^{a}	۱۴/۶^{a}	۲/۱۷^{a}
نانوکلات سیلیسیم								
کاربرد	۲۳/۰۸^{a}	۰/۰۰۴^{a}	۰/۲۲۸^{a}	۰/۰۸۱^{a}	۰/۰۶۲^{a}	۹/۴۱^{a}	۱۳/۶^{a}	۲/۷۵^{a}
عدم کاربرد	۲۳/۹^{a}	۰/۰۰۴^{a}	۰/۲۲۸^{a}	۰/۰۷۹^{a}	۰/۰۶۰^{a}	۹/۲۵^{a}	۱۴/۶a	۲/۲۰^{a}

در هر ستون (هر تیمار به صورت جداگانه) میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح ۵٪ آزمون LSD با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.



شکل ۲- تصویر میکروسکوپی پارامترهای روزنه در گل‌های رز رقم‌های جوملیا و سامورایی در شرایط کاربرد نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم با استفاده از میکروسکوپ OLYMPUS CH-2 و مجهز به دوربین Eyepieces Dino- با بزرگنمایی ۴۰، شاهد Control رقم سامورایی، 'Samurai'رقم جوملیا، Si+ 'Jumelia' کاربرد نانوکلات سیلیسیم، NB+ کاربرد نانوحباب اکسیژن، Si+ NB+ کاربرد همزمان نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم

گل‌های رز شاخه بریده ار ایجاد هر گونه تنش جلوگیری می‌کند و سبب بهبود وضعیت روزنه‌ای در گیاهان می‌شود.

از سوی دیگر، پتاسیم از جمله عناصری است که نقش بسزایی در باز و بسته‌شدن روزنه‌ها دارد (Datnoff *et al.*, 2001). نانوسیلیسیم به دلیل وجود مکانیسم‌های مختلف جذب مانند تولید اسیدهای آلی توسط ریشه جذب این عنصر را تسهیل می‌کند (Li *et al.*, 2023). از طرفی سیلیسیم قابلیت فعال‌کردن H^{+}-ATPase در غشای پلاسمایی را دارد و جذب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

جدول ۴- مقایسه میانگین سه‌گانه اثر متقابل رقم × نانوحباب اکسیژن × نانوکلات سیلیسیم بر شاخص‌های روزنه در ارقام رز سامورایی و جوملیا

تیمارها			صفات اندازه‌گیری‌شده						
رقم	نانوحباب اکسیژن	نانوکلات سیلیسیم	تعداد روزنه	مساحت روزنه (mm^3)	محیط روزنه (mm^2)	طول روزنه (mm)	عرض روزنه (mm)	تعداد روزنه بسته	تعداد روزنه باز	باز/بسته
جوملیا	عدم	عدم‌کاربرد	۲۴/۳^{b}	۰/۰۰۳^{bc}	۰/۲۰۵^{bc}	۰/۰۷۱^{cd}	۰/۰۵۶^{de}	۵/۶۶^{c}	۱۸/۶^{b}	۳/۴۲^{abc}
	کاربرد	کاربرد	۲۶/۳^{ab}	۰/۰۰۲^{c}	۰/۱۷۵^{c}	۰/۰۶۵^{d}	۰/۰۴۷^{e}	۵/۶۶^{c}	۲۰/۶^{b}	۳/۹۳^{ab}
	کاربرد	عدم‌کاربرد	۲۳/۳^{bc}	۰/۰۰۳^{bc}	۰/۱۹۸^{bc}	۰/۰۷۳^{bcd}	۰/۰۴۹^{e}	۵^{c}	۱۸/۳^{b}	۳/۸۱^{ab}
		کاربرد	۳۰^{a}	۰/۰۰۴^{ab}	۰/۲۳۳^{ab}	۰/۰۸۵^{ab}	۰/۰۵۶^{de}	۵/۶۶^{c}	۲۴/۳^{a}	۵/۱۱^{a}
سامورایی	عدم	عدم‌کاربرد	۳۰^{a}	۰/۰۰۵^{a}	۰/۲۵۹^{a}	۰/۰۸۶^{ab}	۰/۰۷۲^{ab}	۱۵/۶^{a}	۱۴/۳^{c}	۰/۹۱۹^{cd}
	کاربرد	کاربرد	۱۶/۳^{d}	۰/۰۰۵^{a}	۰/۲۵۳^{a}	۰/۰۹۱^{a}	۰/۰۶۷^{bc}	۱۱/۳^{b}	۵^{d}	۰/۴۴۱^{d}
	کاربرد	عدم‌کاربرد	۱۸^{d}	۰/۰۰۴^{a}	۰/۲۴۹^{a}	۰/۰۸۵^{ab}	۰/۰۶۱^{cd}	۱۰/۶^{b}	۷/۳۳^{d}	۰/۶۸۷^{d}
		کاربرد	۱۹/۶^{cd}	۰/۰۰۵^{a}	۰/۲۵۲^{a}	۰/۰۸۳^{abc}	۰/۰۸۱^{a}	۱۵^{a}	۴/۶۶^{d}	۱/۵۳^{bcd}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، طبق آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.

یون پتاسیم از طریق شیب الکتروشیمیایی، کانال‌های K^+ و انتقال را افزایش می‌دهد (Datnoff *et al*., 2001). یکی از اثرات نانوحباب اکسیژن، در راستای رفع تنش ناشی از کمبود اکسیژن است. این در نانوحباب‌ها به دلیل وجود بارهای منفی می‌توانند بر ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه اثرگذار باشند و جذب عناصر غذایی را بهبود ببخشند و عناصر با بار الکتریکی مثبت مانند پتاسیم را راحت‌تر از خاک جذب کنند (Ebina *et al*., 2013). بنابراین پتاسیم می‌تواند بر تعداد، مساحت، طول، عرض و تعداد روزنه‌های باز و بسته اثر مثبت داشته باشد (Datnoff *et al*., 2001). احتمال می‌رود برهمکنش نانوحباب اکسیژن موجب بهبود جذب عنصر پتاسیم و اعمال نانوکلات سیلیسیم نیز موجب از بین‌بردن هر گونه تنش احتمالی بر گل‌های رز شاخه بریده و جذب عنصر پتاسیم می‌شود و در نهایت سبب بهبود وضعیت روزنه‌ای در ارقام مختلف می‌شود.

سطح برگ: استفاده از ارقام مختلف و اثر تیمار نانوکلات سیلیسیم بر سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). اعمال تیمار نانوکلات سیلیسیم موجب افزایش ۱۳/۴ درصدی سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۶). رقم سامورایی در مقایسه با رقم جوملیا بهبود ۲۵/۱ درصدی بر سطح برگ را نشان داد (جدول ۶). از طرفی بیشترین سطح برگ به تیمار نانوکلات سیلیسیم در رقم سامورایی تعلق داشت (جدول ۷).

براساس تحقیقات مختلف می‌توان عنوان کرد؛ استفاده از سیلیسیم سبب افزایش سطح برگ در رز شاخه بریده (*R. hybrida* Cv. Beverly watson)، اطلسی (*Petunia hybrida* L.)، خیار (*Cucumis sativus* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) می‌شود (بیات و همکاران، ۱۳۹۱؛ مامرشپورو نظری دلجو، ۱۳۹۷؛ Li *et al*., 2023؛ Jalilzadeh Khoie *et al*., 2024)، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد که از این طریق یک لایه سیلیکات دوگانه بر روی اپیدرم تشکیل می‌دهد که باعث آرایش بهتر برگ و افزایش ظرفیت جذب نور می‌شود (Song *et al*., 2021)، همچنین نانوذرات سیلیسیم فشار اسمزی و سایز گیاه را از طریق بهبود کارایی استفاده از آب و مقدار نسبی آب برگ افزایش می‌دهد (Baram *et al*., 2022) و موجب بهبود پارامترهای رشد و نموی و پتانسیل فتوسنتزی (سطح برگ و کلروفیل) می‌شوند (مامرشپور و نظری دلجو، ۱۳۹۷). کاهش سطح برگ در اثر ایجاد تنش در گیاهان منجر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

جدول ۵- تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیک و عمر گلجایی تحت تیمار نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم ارقام رز سامورایی و جوملیا

منابع تغییرات	df	میانگین مربعات							
		سطح برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	قند محلول کل	آنتوسیانین	عمر گلجایی
رقم (A)	۱	۶۲۵۴**	۲۲/۹*	۴/۴۷^{ns}	۴۷/۷*	۲۳/۶^{ns}	۰/۰۱۹**	۶۱۷۵۵۷**	۴۵۹**
نانوحباب اکسیژن (B)	۱	۱۴۰^{ns}	۰/۶۸۵^{ns}	۰/۱۴۵^{ns}	۱/۴۶^{ns}	۱/۸۴^{ns}	۰/۰۰۳**	۳۰/۰۹^{ns}	۵۷/۰۴**
نانوکلات سیلیسیم (C)	۱	۱۹۴۰**	۳۳/۵**	۱۶/۳**	۹۶/۷**	۹۲/۰۵**	۰/۰۲۰**	۱۹/۲^{ns}	۰/۳۷۵ ^{ns}
(B) × (A)	۱	۵۷/۶^{ns}	۵/۵۴^{ns}	۰/۱۶۰^{ns}	۷/۵۹^{ns}	۰/۰۷۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۶۶۷**	۵۷/۰۴**
(C) × (A)	۱	۴۷۶^{ns}	۷/۳۴^{ns}	۹/۳۱*	۳۳/۲^{ns}	۴۵/۴**	۰/۰۰۲**	۷۴۷**	۵/۰۴ ^{ns}
(C) ×(B)	۱	۰/۷۳۶^{ns}	۵۳/۰۷**	۱۴/۹**	۱۲۴**	۷۰/۷*	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۱۱۸^{ns}	۴۰/۰۴**
(C) ×(B) ×(A)	۱	۹۵/۱^{ns}	۲/۷۳^{ns}	۰/۳۶۴^{ns}	۵/۰۹^{ns}	۱/۲۹^{ns}	۰/۰۰۱**	۴/۶۲^{ns}	۹/۳۷ ^{ns}
خطا		۱۶۰	۳/۲۳	۱/۹۴	۸/۹۷	۱۱/۰۸	۰/۰۰۰۲	۷۸/۹	۴/۱۹
٪Cv		۸/۹	۱۱/۰۶	۱۹/۱	۱۲/۷	۲۱/۲	۱/۳۷	۴/۸۱	۹/۷۳

**، * و ns به ترتیب نمایانگر معنی‌دار بودن در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار است.

جدول ۶- مقایسه میانگین رقم، نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم بر صفات فیزیولوژیک و عمر گلجایی در ارقام رز سامورایی و جوملیا

تیمارها	صفات اندازه‌گیری‌شده							
	سطح برگ ($cm^{۲}$)	کلروفیل a ($mg.g^{-۱}$)	کلروفیل b ($mg.g^{-۱}$)	کلروفیل کل ($mg.g^{-۱}$)	کارتنوئید ($mg.g^{-۱}$)	قند محلول کل ($mg.g^{-۱}$)	آنتوسیانین ($\mu mol.g^{-۱}$)	عمر گلجایی (روز)
رقم‌ها								
جوملیا	۱۲۶/۲^{b}	۱۵/۲^{b}	۶/۸۲^{a}	۲۲/۱^{b}	۱۴/۷^{a}	۱/۱۷ ^{a}	۲۳/۹^{b}	۲۵/۴^{a}
سامورایی	۱۵۸^{a}	۱۷/۲^{a}	۷/۶۹^{a}	۲۴/۹^{a}	۱۶/۷^{a}	۱/۱۱^{b}	۳۴۴^{a}	۱۶/۶^{b}
نانوحباب اکسیژن								
کاربرد	۱۳۹^{a}	۱۶/۰۸^{a}	۷/۱۸^{a}	۲۳/۲^{a}	۱۵/۴^{a}	۱/۱۳^{b}	۱۸۳^{a}	۱۹/۵^{b}
عدم کاربرد	۱۴۴^{a}	۱۶/۴^{a}	۷/۳۳^{a}	۲۳/۷^{a}	۱۶/۰۳^{a}	۱/۱۵^{a}	۱۸۵^{a}	۲۰/۹^{a}
نانوکلات سیلیسیم								
کاربرد	۱۵۱^{a}	۱۷/۴^{a}	۸/۰۸^{a}	۲۵/۵^{a}	۱۷/۷^{a}	۱/۱۱^{b}	۱۸۵^{a}	۲۵/۴^{a}
عدم کاربرد	۱۳۳^{b}	۱۵/۰۶^{b}	۶/۴۳^{b}	۲۱/۵^{b}	۱۳/۸^{b}	۱/۱۷^{a}	۱۸۳^{a}	۱۶/۶^{b}

در هر ستون (هر تیمار به صورت جداگانه) میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح ۵٪ آزمون LSD با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

به کاهش رشد رویشی شده و به دنبال آن فتوسنتز و عملکرد نیز کاهش می‌یابد (دولتخواهی و همکاران، ۱۳۹۷). نخستین فرایندی که پس از کاهش محتوای آب گیاه اتفاق می‌افتد، کاهش توسعه سلولی و تقلیل توسعه برگ‌ها و ریشه‌ها است (دولتخواهی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به آن که کاربرد سیلیسیم منجر به افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌شود، احتمال می‌رود منجر به بهبود فتوسنتز در گیاهان شود و به دنبال آن افزایش سطح برگ اتفاق می‌افتد.

محققان عنوان کرده‌اند ژنوتیپ‌های مختلف گل‌های رز شاخه بریده سطح برگ متفاوتی در هر برگچه را نشان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

جدول ۷- مقایسه میانگین سه‌گانه اثر متقابل رقم × نانوحباب اکسیژن × نانوکلات سیلیسیم بر صفات فیزیولوژیک در ارقام رز سامورایی و جوملیا

تیمارها			صفات اندازه‌گیری‌شده							
رقم	نانوحباب اکسیژن	نانوکلات سیلیسیم	سطح برگ (cm^2)	کلروفیل a ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل b ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل کل ($mg.g^{-1}$)	کارتنوئید ($mg.g^{-1}$)	قند محلول ($mg.g^{-1}$)	آنتوسیانین ($\mu mol.g^{-1}$)	عمرگلجایی (روز)
جوملیا	عدم	عدم‌کاربرد	۱۲۴^{cd}	۱۲/۰۷^{c}	۴/۷۰^{c}	۱۶/۷^{d}	۱۰/۱^{c}	۱/۱۹^{a}	۲۶/۵^{c}	۲۱^{cd}
		کاربرد	۱۲۹^{cd}	۱۷/۸^{ab}	۸/۹۴^{a}	۲۶/۷^{ab}	۱۹/۸^{a}	۱/۱۷^{a}	۳۴/۱^{c}	۲۳^{bc}
	کاربرد	عدم‌کاربرد	۱۱۸^{d}	۱۴/۹^{bc}	۶/۰۵^{bc}	۲۱/۰۴^{cd}	۱۲/۶^{bc}	۱/۱۸^{a}	۸/۴۰^{d}	۳۱^{a}
		کاربرد	۱۳۲^{cd}	۱۶/۱^{b}	۷/۶۱^{ab}	۲۳/۷^{bc}	۱۶/۳^{ab}	۱/۱۳^{b}	۲۶/۶^{c}	۲۶^{b}
سامورایی	عدم	عدم‌کاربرد	۱۴۷^{bc}	۱۵/۴^{b}	۶/۷۳^{abc}	۲۲/۱^{bc}	۱۴/۵^{abc}	۱/۱۷^{a}	۳۴۷^{ab}	۱۵/۶^{e}
		کاربرد	۱۷۷^{a}	۲۰/۳^{a}	۸/۹۶^{a}	۲۹/۳^{a}	۱۹/۶^{a}	۱/۰۷^{c}	۳۳۴^{b}	۱۷/۶^{de}
	کاربرد	عدم‌کاربرد	۱۴۲^{c}	۱۷/۷^{ab}	۸/۲۴^{ab}	۲۶/۰۱^{abc}	۱۷/۷^{ab}	۱/۱۳^{b}	۳۵۱^{a}	۱۷^{e}
		کاربرد	۱۶۶^{ab}	۱۵/۳^{b}	۶/۸۲^{abc}	۲۲/۲^{bc}	۱۵/۰۵^{abc}	۱/۰۷^{c}	۳۴۶^{ab}	۱۶/۳^{e}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، طبق آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.

می‌دهند، این در حالی است که سطح برگ می‌تواند تحت تأثیر شرایط آب و هوایی مانند شدت نور، دما و غلظت کربن دی‌اکسید قرار گیرد (Gao *et al.*, 2012). با توجه به این موضوع که شرایط اقلیمی در بازه انجام این پژوهش برای تمامی تیمارها یکسان بوده است؛ ژنوتیپ می‌تواند نقش بسزایی در افزایش سطح برگ گل‌های رز شاخه بریده رقم‌های سامورایی و جوملیا داشت باشد.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ: استفاده از ارقام مختلف بر محتوای کلروفیل a و کل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). اعمال نانوکلات سیلیسیم بر محتوای کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کارتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). برهمکنش رقم و نانوکلات سیلیسیم به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد بر محتوای کلروفیل b و کارتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۵). رقم سامورایی در مقایسه با رقم جوملیا افزایش ۱۱/۳ درصدی بر محتوای کلروفیل a، ۱۰/۸ درصدی بر محتوای کلروفیل b، ۱۱/۳ درصدی بر محتوای کلروفیل کل و ۱۱/۸ درصدی بر محتوای کارتنوئید داشت (جدول ۶). تأثیر نانوکلات سیلیسیم نسبت به عدم کاربرد این تیمار؛ به ترتیب اختلاف ۱۳/۵، ۲۵/۶، ۱۸/۶ و ۲۸/۳ درصدی بر محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید داشت (جدول ۶). کاربرد هم‌زمان نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم به ترتیب باعث افزایش ۱۴/۷ درصدی کلروفیل a، ۲۶/۱ درصدی کلروفیل b، ۱۸/۰۹ درصدی محتوای کلروفیل کل و ۲۷/۱ درصدی کارتنوئید نسبت به شاهد شد (داده‌ها ارائه نشده است).

در پژوهشی، اعمال نانوحباب اکسیژن محتوای کلروفیل a و b در برگ خیار را به ترتیب ۱/۳۴ و ۱/۴۴ برابر افزایش داده است (Dahrazma *et al.*, 2019). Baram و همکاران (۲۰۲۲) بر این باورند که آبیاری با آب حاوی نانوحباب سبب افزایش محتوای کلروفیل a و b در کاهو (*Lactuca sativa* L.) شده است (Baram *et al.*, 2022).

محققان بر این باورند که کاربرد سیلیسیم سبب افزایش غلظت کلروفیل به عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر در فتوسنتز در هر واحد برگ گندم، خیار و گل‌های شاخه بریده رز (*R. chinensis* var. minima) می‌شود و محتوای کلروفیل a و b در برگ گندم نسبت به شاهد به ترتیب ۱۷/۱ و ۵۲/۱ برابر افزایش می‌یابد و از طرفی توانایی گیاه برای استفاده مؤثر از نور را به‌گونه‌ای که بتواند شدت‌های پایین و بالا را تحمل کند افزایش می‌دهد (مامرشپور و نظری دلجو، ۱۳۹۷؛ Asgari and Diyanat, 2021; Li *et al.*, 2023; Jalilzadeh Khoie *et al.*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

2024). Baram و همکاران (۲۰۲۲) عنوان کردند که محتوای کارتنوئید فقط در کاهوی پرورش‌یافته در شرایط هوادهی ضعیف کاهش یافت (Baram *et al*., 2022).

از عوامل اصلی جذب انرژی نورانی، کلروفیل است (Lichtenthaler, 1987). کاروتنوئیدها به‌عنوان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی گیاهان هستند (Baram *et al*., 2022) و همچنین نقش مؤثری در فتوسنتز دارند (Agarie *et al*., 1998). کلروفیل a رنگ‌دانه اصلی در فتوسنتز است و کلروفیل b که در برخی گیاهان به‌خصوص گیاهان سبز یافت می‌شود، عامل دیگری است که به کلروفیل a در فتوسنتز کمک می‌کند (Dahrazma *et al*., 2019). استفاده از آب غنی‌شده با نانوحباب اکسیژن می‌تواند عامل مؤثری در بهبود رشد رویشی و تولیدمثلی باشد. کاروتنوئیدها در خارج از مواد زنده خاصیت فلورسانس ندارند، درحالی‌که چنین رفتاری را در کلروفیل a نشان می‌دهند به‌گونه‌ای که طول‌موج نوری را جذب می‌کنند که کلروفیل a قادر به جذب آن نیست. گزارش‌ها حاکی از آن است که کاروتنوئیدها در گیاهان آبیاری شده با آب حاوی نانوحباب در مقایسه با گیاهان آبیاری‌شده با آب لوله‌کشی می‌تواند نقش مؤثری در حفاظت از کلروفیل‌ها داشته باشد (Dahrazma *et al*., 2019). از طرفی کارتنوئیدها علاوه بر عملکرد خود به‌عنوان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند و در پاسخ آنتی‌اکسیدانی گیاه نقش دارند. تنش اکسیداتیو ممکن است تحت شرایط کمبود اکسیژن القا شود، و پاسخ اکسیداتیو را تحریک کند و سبب تولید آنتی‌اکسیدان‌ها از جمله کارتنوئیدها شود. از این‌رو، کاهش غلظت کارتنوئید در برگ‌های کاهوی رشدیافته در خاک‌های رسی اکسیژن‌دهی شده؛ نشان‌دهنده نیاز کمتر به محافظت از سلول‌های فتوسنتزی در برابر شرایط تنش است که ممکن است ناشی از کمبود اکسیژن در خاک باشد (Baram *et al*., 2022). از طرفی کاربرد سیلیسیم به دلیل رسوب در پهنای برگ و افزایش سطح برگ سبب افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌شود؛ در این حالت توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور را بالا می‌برد (Li *et al*., 2023; Agarie *et al*., 1998)، و به افزایش نرخ خالص فتوسنتز کمک می‌کند، از عوامل دیگر می‌توان به تغییر ساختار کلروپلاست، هدایت روزنه‌ای و فعالیت آنزیم روبیسکو اشاره کرد (Li *et al*., 2023). Agarie و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که کاهش مقدار کلروفیل در صورت کمبود سیلیسیم به دلیل کاهش فتوسنتز است. دلیل این امر را می‌توان به نقش سیلیسیم در زنجیره فتوسنتزی و ممانعت از تخریب کلروفیل نسبت داد (Agarie *et al*., 1998).

محتوای قند محلول کل: استفاده از ارقام مختلف، اعمال نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای قند محلول کل معنی‌دار شد (جدول ۵). برهمکنش دوگانه رقم و نانوکلات سیلیسیم و برهمکنش سه‌گانه رقم، نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای قند محلول کل معنی‌دار بود (جدول ۵).

تیمار نانوحباب اکسیژن سبب افزایش میزان قند محلول در خیار و گوجه‌فرنگی (*Lycopresicon esculentum* Cv. Zhongyan 998) نسبت به شاهد شده است (Liu *et al*., 2019). Li و همکاران (۲۰۲۳) عنوان کردند که محلول‌پاشی گندم با نانوسیلیس سبب افزایش محتوای قند محلول در برگ در مقایسه با شاهد شده است. افزایش قابل توجه و تدریجی در محتوای قندهای محلول کل با استفاده از نانوسیلیسیم در مقایسه با رزهای شاهد نیز توسط سرافی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شد (El-Serafy, 2019). رنجبر و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد سیلیکات پتاسیم، میزان قندهای محلول در دانهال‌های پسته رقم بادامی ریز زرند را نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است (Ranjbar *et al*., 2020).

از جمله محصولات اصلی فتوسنتز قندها هستند که به‌عنوان تأمین‌کننده انرژی و بلوک‌های سازنده اجزای مختلف ساختاری سلول‌های گیاهی، بافت‌ها و اندام‌ها شناخته می‌شوند. علاوه‌بر این قندها به‌عنوان بخشی از مسیرهای مختلف سیگنال‌دهی با سایر بخش‌های سلولی تعامل دارند و بر بسیاری از فرآیندهای سلولی مهم در گیاهان تأثیر می‌گذارند (Li *et al*., 2023). طبق تحقیقاتی گیاهانی که با آب هوادهی شده آبیاری شدند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

می‌توانند محتوای اکسیژن خاک در منطقه ریشه را افزایش دهند (Li *et al*., 2023) که افزایش غلظت اکسیژن محلول در آب آبیاری می‌تواند نرخ فتوسنتز برگ را افزایش دهد (Bhattarai and Midmore, 2009). از طرفی سیلیسیم با تأثیر بر قدرت و نحوه قرارگیری برگ‌ها (Asgari and Diyanat, 2021)، فعالیت آنزیم روبیسکو (Asgari and Diyanat, 2021) تغییر ساختار کلروپلاست، هدایت روزنه‌ای (Li *et al*., 2023) و افزایش کارایی فتوسیستم II (Agarie *et al*., 1998) می‌تواند به افزایش نرخ خالص فتوسنتز کمک کند (Li *et al*., 2023) که به تبع آن میزان قند محلول کل موجود در گیاهان را افزایش می‌دهد (Jalilzadeh Khoie *et al*., 2024).

غلظت آنتوسیانین گلبرگ: استفاده از رقم‌های مختلف در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ معنی‌دار بود (جدول ۵). برهمکنش‌های دوگانه رقم و نانوحباب اکسیژن و همچنین رقم و نانوکلات سیلیسیم در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ معنی‌دار شد (جدول ۵). اعمال نانوکلات سیلیسیم در رقم جوملیا سبب افزایش ۷۴/۱ درصدی محتوای آنتوسیانین گلبرگ در مقایسه با شاهد شد (داده‌ها ارائه نشده است). بیشترین محتوای آنتوسیانین در رقم سامورایی در زمان کاربرد نانوحباب اکسیژن مشاهده شد (جدول ۷).

Reezi و همکاران (۲۰۱۸) عنوان کردند اعمال سیلیسیم بر میزان آنتوسیانین گلبرگ در گل حنای گینه‌نو (Impatiens hawkeri W.Bull) اثر معنی‌داری نداشت (Reezi *et al*., 2018). کاربرد سیلیسیم باعث افزایش رشد و جذب عنصرها و محتوای آنتوسیانین در گیاه چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) شد (Reezi *et al*., 2018)، از طرفی محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در گل‌های رز رقم بورلی واتسون بیشترین میزان آنتوسیانین را به همراه داشت (Jalilzadeh Khoie *et al*., 2024). Rezai و همکاران (۲۰۲۳) عنوان کردند تفاوت‌های مشاهده شده در محتوای آنتوسیانین میان ارقام مختلف (سامورایی و جوملیا) به رنگ طبیعی گل‌ها در ژنوتیپ مربوط است (Rezai *et al*., 2023).

آنتوسیانیدین‌ها ساختارهای اساسی آنتوسیانین‌ها هستند. آنتوسیانیدین‌ها (آگلیکون‌ها) از یک حلقه معطر تشکیل شده‌اند که به یک حلقه هتروسیکلیک که حاوی اکسیژن است، توسط یک پیوند کربن- کربن به حلقه آروماتیک سوم پیوند می‌خورد (Konczak and Zhang, 2004). هنگامی که آنتوسیانیدین‌ها به شکل گلیکوزید خود به یک قند متصل می‌شوند به عنوان آنتوسیانین شناخته می‌شوند (Wrolstad *et al*., 2005). این رنگدانه‌ها مسئول رنگ‌های براق نارنجی، صورتی، قرمز، بنفش و آبی در گل‌ها و میوه‌های برخی گیاهان هستند (Konczak and Zhang, 2004)، که پایداری آن‌ها تحت تأثیر عوامل متعددی مانند pH، ساختار شیمیایی، نور، میزان اکسیژن، وجود آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و یون‌های فلزی است (Rein, 2005). با توجه به این موضوع که آنتوسیانین‌ها از ترکیب قند و ترکیبات حلقوی تشکیل می‌شوند، تشکیل آنتوسیانین در گیاهان معمولاً با تجمع قند در بافت همراه است و هر عاملی که میزان قند را در بافت افزایش دهد، اغلب تولید آنتوسیانین‌ها را در بافت‌ها بهبود می‌بخشد (Tavakoli and Asadi-Gharneh, 2020). نتایج حاکی ازآن است که کاربرد سیلیسیم باعث افزایش تعداد و سطح برگ و میزان فتوسنتز در گیاهان می‌شود (Asgari and Diyanat, 2021; Baram *et al*., 2022; Jalilzadeh Khoie *et al*., 2024)، از طرفی قندها به‌عنوان محصولات اصلی فتوسنتز هستند (Lichtenthaler, 1987)؛ احتمالاً کاربرد نانوکلات سیلیسیم به دلیل افزایش میزان کربوهیدرات سبب افزایش میزان آنتوسیانین نیز می‌شود. آنتوسیانین‌ها ترکیباتی هستند که بسته به pH درون سلول با رنگ‌ها و شدت‌های متفاوتی ظاهر می‌شوند (Reezi *et al*., 2018). با توجه به این موضوع که رنگ حقیقی آنتوسیانین بستگی به محل عامل هیدروکسیل در مولکول و pH محیط دارد، تیمار گیاهان با مواد حاوی سیلیسیم به دلیل تأثیر بر pH می‌تواند از عوامل اصلی کاهش میزان آنتوسیانین باشد (Reezi *et al*., 2018). Alavi و همکاران (۲۰۲۳) عنوان کردند بیشترین محتوای آنتوسیانین گلبرگ گل‌های رز شاخه بریده هنگامی مشاهده شد که آبیاری با ایجاد فاصله (خشک شدن جزئی ریشه) همراه بود (Alavi *et al*., 2023). احتمال می‌رود کاربرد نانوحباب اکسیژن به سبب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

حضور اکسیژن در ساختار آنتوسیانین و همچنین به سبب آن که اکسیژن از عوامل تأثیرگذار در پایداری آنتوسیانین‌هاست موجب افزایش غلظت آنتوسیانین گلبرگ‌ها شود.

عمر پس از برداشت: استفاده از ارقام مختلف و اثر نانوحباب اکسیژن بر عمر پس از برداشت گل‌های رز شاخه بریده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). تأثیر برهمکنش دوگانه رقم و نانوحباب اکسیژن و همچنین برهمکنش نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم بر عمر پس از برداشت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). رقم جوملیا در مقایسه با رقم سامورایی ۵۲/۵ درصد عمر پس از برداشت بیشتری را نشان داد (جدول ۶). تیمار نانوحباب اکسیژن افزایش ۱۵/۸ درصدی بر عمر پس از برداشت در مقایسه با تیمار شاهد را نشان داد (جدول ۶). برهمکنش نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم سبب افزایش ۱۵/۴ درصدی عمر پس از برداشت نسبت به شاهد شد (داده‌ها ارائه نشده است). بیشترین عمر گل به تیمار نانوحباب اکسیژن در رقم جوملیا و کمترین آن به تیمار شاهد رقم سامورایی تعلق داشت (جدول ۷).

یکی از مهم‌ترین عواملی که بر عمر و کیفیت گل‌های شاخه بریده تأثیر می‌گذارد؛ تنش اکسیداتیو است. تنش اکسیداتیو بر مکانیسم‌های سلولی و لیپیدهای غشایی تأثیر می‌گذارد و پیری را تسریع می‌کند، به همین دلیل اجتناب یا کاهش تنش اکسیداتیو برای افزایش طول عمر گل‌ها حیاتی است؛ بنابراین، یک سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی مناسب می‌تواند عمر مفید گل‌ها را افزایش دهد. گزارش شده است که نانومواد مختلف می‌توانند پاسخ‌های مثبت (مانند رشد و توسعه بهتر) و تغییرات در متابولیسم در گیاهان را القا کنند که می‌تواند به تحمل شرایط تنش مختلف کمک کند (Seddon *et al*., 2012). Nakazawa و همکاران (۲۰۲۳) عنوان کردند کاربرد نانوحباب اکسیژن سبب افزایش عمر گلجایی در گل‌های شاخه بریده داوودی (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) شده است (Nakazawa *et al*., 2023). در گل‌های بریده رز، کاربرد سیلیسیم، با به تأخیرانداختن تجزیه کلروفیل، باعث افزایش عمر گلجایی می‌شود (Jalilzadeh Khoie *et al*., 2024). Nakazawa و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند کاربرد سیلیسیم عمر گلدانی گل‌های شاخه بریده ژربرا را طولانی می‌کند (Kazemi *et al*., 2012). بهبود طول عمر گل‌های شاخه بریده میخک (*Dianthus caryophllus* L.)، داوودی (*Chrysanthemum morifolium* RAM.)، لیسیانتوس و رز به دلیل مکمل‌های سیلیسیم که باعث افزایش محتوای کلروفیل و کربوهیدرات کل می‌شود گزارش شده است (Kazemi *et al*., 2012; El-Serafy, 2019; Ali and Hassan, 2016; Asgari and Diyanat, 2021). طبق تحقیقات، جذب آب تأثیر به سزایی بر شادابی و عمر پس از برداشت بیشتر گل‌های شاخه بریده دارد، کاربرد سیلیسیم با کاهش نشت یونی و افزایش جذب آب و محتوای نسبی آب باعث حفظ شادابی گل و افزایش عمر گل‌های شاخه بریده لیلیوم شده است (مامرشپور و نظری دلجو، ۱۳۹۷).

با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته مطالعات زیادی بر تأثیر نانوحباب اکسیژن بر عمر پس از برداشت گیاهان در شرایط گلخانه‌ای یافت نشد؛ احتمال می‌دهیم تأثیر مثبت نانوحباب اکسیژن بر افزایش عمر پس از برداشت گل‌های رز شاخه بریده به دلیل آن است که آبیاری با آب حاوی نانوحباب سبب دسترسی سطوح اکسیژن محلول پایدار و یکنواخت به‌منظور سلامت ریشه، بهبود توسعه ریشه، افزایش جذب و استفاده از عناصر غذایی و نگهداری بهتر آب در محیط ریزوسفر می‌شود (Bhattarai and Midmore, 2009; Wu *et al*., 2019; Nakazawa *et al*., 2023). با توجه به این خواص، آبیاری با آب حاوی نانوحباب، تغذیه یکنواخت و بهتری را به ریزوسفر گیاه ارائه می‌دهد و در نهایت منجر به راندمان بالای مصرف کود و عملکرد بهتر گیاه می‌شود (Zhou *et al*., 2020). از جمله عناصری که جذب آن بسیار تأثیرگذار است؛ کلسیم است. کلسیم به‌عنوان یک ماده ضروری برای دیواره سلولی، با افزایش ترکیبات پلی‌ساکاریدی و پکتینی در بافت‌ها باعث افزایش سفتی دیواره سلولی شده و از تجزیه دیواره سلولی جلوگیری می‌کند (Poovaiah *et al*., 1987). کمبود کلسیم،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد و باعث ایجاد تنش اکسیداتیو و آسیب به غشاها می‌شود. علاوه‌براین، آسیب اکسیداتیو دیواره سلولی را تخریب می‌کند، شکل بافت را دچار اختلال می‌کند و اتلاف آب را افزایش می‌دهد که به نوبه خود منجر به پژمردگی برگ و کاهش عمر مفید محصول برداشت شده می‌شود (Da silva *et al*., 2021). با توجه به آن که اعمال آب آبیاری به همراه نانوحباب اکسیژن سبب بهبود جذب و کارایی عناصر غذایی در گیاهان می‌شود (Zhou *et al*., 2020) احتمال می‌رود اعمال نانوحباب اکسیژن در بستر کشت سبب بهبود جذب عنصر کلسیم شود و به دنبال آن افزایش عمر گلجایی قابل مشاهده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد نانوحباب اکسیژن در بستر، سبب افزایش عمر پس از برداشت گل‌های رز شاخه بریده رقم جوملیا شد. این در حالی است که، محتوای قند محلول کل در با اعمال نانوحباب اکسیژن در رقم جوملیا نیز افزایش یافت. کاربرد نانوحباب اکسیژن علاوه بر افزایش عمر پس از برداشت، سطح برگ و غلظت آنتوسیانین گلبرگ را نیز افزایش داد. برهمکنش نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم تأثیر به‌سزایی بر تعداد روزنه، تعداد روزنه‌های باز و نسبت روزنه‌های باز به بسته در برگ گل‌های شاخه‌بریده رز رقم جوملیا داشت. بیشترین مساحت و عرض روزنه در گل‌های شاخه بریده رقم سامورایی در تیمار نانوحباب اکسیژن و نانوکلات سیلیسیم مشاهده شد. کاربرد نانوکلات سیلیسیم بیشترین محتوای کلروفیل a، b و کل در رقم سامورایی و بیشترین محتوای کارتنوئید در رقم جوملیا را به همراه داشت. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان عنوان کرد اثر تیمارهای مختلف بر مورفولوژی روزنه به ژنوتیپ‌های گیاهی بستگی دارد. استفاده از نانوحباب اکسیژن می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب جهت بهبود افزایش عمر پس از برداشت گل‌های رز شاخه بریده مورد توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات سرکار خانم مهندس نسیم آقامحمدی و جناب آقای مهندس حمید رفیعی که در اجرای مراحل طرح همکاری نمودند، قدردانی می‌شود.

منابع

بیات، حسن، نعمتی، سید حسینی، و سلاح‌ورزی، یحیی (۱۳۹۱). تأثیر سیلیسیم بر رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک اطلسی ایرانی (*Petunia hybrida*). *نشریه علوم باغبانی، ۲۶*، ۱۶-۱۰.

حاتمیان، منصوره، عرب، مصطفی، و روزبان، محمودرضا (۱۳۹۳). مطالعه رفتار روزنه‌ای دو رقم رز در شدت‌های مختلف نور. *مجله به‌زراعی کشاورزی، ۱۷*، ۱۱-۱.

دولتخواهی، علی، شور، محمود، بنایان اول، محمد، تهرانی‌فر، علی، و علیزاده، امین (۱۳۹۷). تأثیر سیلیسیم بر ویژگی‌های کیفی و بیوشیمیایی گل رُز بریدنی در شرایط تنش آبی. *مجله کشت علوم فنون و گلخانه‌ای، ۹*، ۱۱-۱.

مامرشپور، عثمان، و نظری دلجو، محمد جواد (۱۳۹۷). ماندگاری و واکنش فیزیولوژیکی گل شاخه بریده لیلیوم اورینتال به عنصر شبه ضروری سیلیسیم در کشت بدون خاک. *علوم باغبانی ایران، ۵۰*، ۱۴۱-۱۰۵.

نیکبخت، علی، و اشرفی، نبی‌الله (۱۴۰۰). گل‌های شاخه بریده اصول علمی و عملی پرورش. جلد ۱، جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان، اصفهان.

Agarie, S., Hanaoka, N., Ueno, O., Miyazaki, A., Kubota, F., Agata, W., & Kaufman, P. B. (1998). Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. *Plant Production Science*, *1*(2), 96-103. https://doi.org/10.1626/pps.1.96

Agarwal, A., Ng, W. J., & Liu, Y. (2011). Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere*, *84*(9), 1175-1180. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.05.054

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

Ali, E. F. & Hassan, F. A. (2016). Supplemental effects of silicon nutrition on growth, quality and some physiological characters of potted chrysanthemum grown in greenhouse. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, *15*(4), 85-98.

Alavi, S. M., Kamali, M., Selahvarzi, Y., & Ansari, S. (2023). Deficit irrigation strategies (PRD, SDI) and titanium nanoparticles improve water use efficiency and flower quality in greenhouse-grown cut roses. *Scientific Reports*, *13*(1), 18019. https://doi.org/10.1038/s41598-023-45042-1

Asgari, F. & Diyanat, M. (2021). Effects of silicon on some morphological and physiological traits of rose (*Rosa chinensis* var. minima) plants grown under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(4), 536-549. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1845367

Baram, S., Weinstein, M., Evans, J. F., Berezkin, A., Sade, Y., Ben-Hur, M., Bernstein, N., & Mamane, H. (2022). Drip irrigation with nanobubble oxygenated treated wastewater improves soil aeration. *Scientia Horticulturae*, *291*, 110550. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110550

Bhattarai, S. P. & Midmore, D. J. (2009). Oxygation enhances growth, gas exchange and salt tolerance of vegetable soybean and cotton in a saline vertisol. *Journal of Integrative Plant Biology*, *51*(7), pp.675-688. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2009.00837.x

Dahrazma, B., Naghedinia, A., Ghasemian Gorji, H., & Saghravani, S. F. (2019). Morphological and physiological responses of *Cucumis sativus* L. to water with micro-nanobubbles. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *21*(1), 181-192. https://doi.org/jast.modares.ac.ir/article-23-15964-en.html

Daneshmand, B., Gholami, M., Etemadi, N., & Ehtemam, M. H. (2024). The water relation parameters are associated with the genotypic differences in the vase life of cut rose flowers. *Postharvest Biology and Technology*, *211*, 112829. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112829

Da silva, D. L., de Mello Prado, R., Tenesaca, L. F. L., da Silva, J. L. F., & Mattiuz, B. H. (2021). Silicon attenuates calcium deficiency by increasing ascorbic acid content, growth and quality of cabbage leaves. *Scientific Reports*, *11*(1), 1770. https://doi.org/10.1038/s41598-020-80934-6

Datnoff, L. E., Snyder, G. H., & Korndorfer, G. H. (2001). Silicon in Agriculture. Elsevier.

Domec, J. C. (2011). Let's not forget the critical role of surface tension in xylem water relations. *Tree Physiology*, *31*(4), 359 360.doi.org/10.1093/treephys/tpr039

Ebina, K., Shi, K., Hirao, M., Hashimoto, J., Kawato, Y., Kaneshiro, S., Morimoto, T., Koizumi, K., & Yoshikawa, H. (2013). Oxygen and air nanobubble water solution promote the growth of plants, fishes, and mice. *PLoS One*, *8*, 65339. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065339

El-Serafy, R. S. (2019). Silica nanoparticles enhance physio-biochemical characters and postharvest quality of *Rosa hybrid* L. cut flowers. *Journal of Horticultural Research*, *27*, 47-54. https://doi.org/10.2478/johr-2019-0006

Gao, M., Van der Heijden, G. W. A. M., Vos, J., Eveleens, B. A., & Marcelis, L. F. M. (2012). Estimation of leaf area for large scale phenotyping and modeling of rose genotypes. *Scientia Horticulturae*, *138*, 227-234. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.014

Gupta, J. & Dubey, R. K. (2018). Factors affecting post-harvest life of flower crops. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *7*(1), 548-557. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.065

Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, *84*(1), 55-60. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x

Jalilzadeh Khoie, E., Jabbarzadeh, Z., Norouzi, P., Barin, M., & Razavi, M. (2024). Silicon spray affect floricultural traits and leaf elemental nutrient concentrations of Rose 'Beverly Watson'. *Journal of Plant Nutrition*, *47*(1), 145-156. https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2262513

Jost, D., Winter, J., & Gallert, C. (2011). Water and oxygen dependence of *Pseudomonas putida* growing in silica sand capillary fringes. *Vadose Zone Journal*, *10*(2), 532-540. https://doi.org/10.2136/vzj2010.0092

Kazemi, M., Gholami, M., & Hassanvand, F. (2012). Effects of silicon on antioxidative defense system and membrane lipid peroxidation in gerbera cut flower. *Asian Journal of Biochemisty*, *7*, 171-176. https://doi.org/10.3923/ajb.2012.171.176

Kamenidou, S., Cavins, T. J., & Marek, S. (2010). Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. *Scientia Horticulturae*, *123*(3), 390-394. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.008

Koentjoro, Y., Sukendah Purwanto, E., & Purnomo, D. (2020). Stomatal behaviour of soybean under drought stress with silicon application. *Annals of Agri-Bio Researrch*, 103-109.

Konczak, I. & Zhang, W. (2004). Anthocyanins—more than nature's colours. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, *2004*(5), 239.

Kumari, S., Pradhan, P., Yadav, R., & Kumar, S. (2018). Hydroponic techniques: A soilless cultivation in agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*(1S), 1886-1891.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll fluorescence signatures of leaves during the autumnal chlorophyll breakdown.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

Journal of Plant Physiology, *131*(1-2), 101-110. https://doi.org/10.1016/S01761617(87)80271-7.

Li, Y., Xi, K., Liu, X., Han, S., Han, X., Li, G., Yang, L., Ma, D., Fang, Z., Gong, S., & Zhu, Y. (2023). Silica nanoparticles promote wheat growth by mediating hormones and sugar metabolism. *Journal of Nanobiotechnology*, *21*(1), 2. https://doi.org/10.1186/s12951-022-01753-7.

Liu, Y., Zhou, Y., Wang, T., Pan, J., Zhou, B., Muhammad, T., Zhou, C., & Li, Y. (2019). Micro-nano bubble water oxygation: Synergistically improving irrigation water use efficiency, crop yield and quality. *Journal of Cleaner Production*, *222*, 835-843. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.208

Mali, M. & Aery, A. N. C. (2008). Silicon effects on nodule growth, dry-matter production, and mineral nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *171*(6), 835-840. https://doi.org/10.1002/jpln.200700362

Nakazawa, R., Tanaka, A., Hata, N., Minagawa, H., & Harada, E. (2023). Nanobubbles in vase water inhibit transpiration and prolong the vase life of cut chrysanthemum flowers. *Plant-Environment Interactions*, *4*(6), 309-316. https://doi.org/10.1002/pei3.10124

Nazaran, M. H. (2012). Khazra Patent Article: Chelate Compounds. Google Patents.

Poovaiah, B. W., Reddy, A. S. N., & Leopold, A. C. (1987). Calcium messenger system in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *6*(1), 47-103. https://doi.org/10.1080/07352688709382247

Ranjbar, P., Nazarideljou, M. J., & Hoseinzadeh, A. (2020). Effect of Nano-silicon and imidacloprid foliar application on morpho-physiological characteristics of gerbera cut flower and its reaction to whitefly under greenhouse conditions. *Plant Productions*, *43*(2), 295-308. https://doi.org/10.22055/ppd.2019.27344.1662

Reezi, S., Mohammadi, L., & Barzegar, R. (2018). Increasing nutrient elements absorption and photosynthetic pigments by silicon spray in New Guinea impatiens (Impatiens hawkeri) in soilless conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *49*(1).

Rezai, S., Nikbakht, A., Zarei, H., & Sabzalian, M. R. (2023). Physiological, biochemical, and postharvest characteristics of two cut rose cultivars are regulated by various supplemental light sources. *Scientia Horticulturae*, *313*, 111934. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111934

Rein, M. (2005). Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins. Doctoral dissertation, Helsingin yliopisto.

Romero-Aranda, R., Canto-Garay, R., & Martinez, P. F. (1994). Distribution and density of stomata in two cultivars of *Gerbera jamesonii* and its relation to leaf conductance. *Scientia Horticulturae*, *58*(1-2), 167-173. https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90137-6

Savvas, D. & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*, *196*, 66-81. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010

Seddon, J. R., Lohse, D., Ducker, W. A., & Craig, V. S. (2012). A deliberation on nanobubbles at surfaces and in bulk. *ChemPhysChem*, *13*(8), 2179-2187. https://doi.org/10.1002/cphc.201100900

Song, J., Li, Y., Hu, J., Lee, J., & Jeong, B. R. (2021). Pre-and/or postharvest silicon application prolongs the vase life and enhances the quality of cut peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) flowers. *Plants*, *10*(8), 1742. https://doi.org/10.3390/plants10081742

Sun, Y., Xu, J., Miao, X., Lin, X., Liu, W., & Ren, H. (2021). Effects of exogenous silicon on maize seed germination and seedling growth. *Scientific Reports*, *11*(1), 1014. https://doi.org/10.1038/s41598-020-79723-y

Tavakoli, M. & Asadi-Gharneh, H. A. (2020). Assess effect of foliar application of seaweed extract and amino acids on morpho-physiological characteristics of *Gerbera jamesonii* var. Stanza cut flowers. *Journal of Crop Nutrition Science*, *6*(1), 1-11.

Torabi, F., Majd, A., & Enteshari, S. (2015). The effect of silicon on alleviation of salt stress in borage (*Borago officinalis* L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, *61*(5), 788-798. https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1005540

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, *64*(1), 88-93. https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88

Wrolstad, R. E., Durst, R. W., & Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science and Technology*, *16*(9), 423-428. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.019

Wu, Y., Lyu, T., Yue, B., Tonoli, E., Verderio, E. A., Ma, Y., & Pan, G. (2019). Enhancement of tomato plant growth and productivity in organic farming by agri-nanotechnology using nanobubble oxygation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *67*(39), 10823-10831. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04117

Zhou, Y., Bastida, F., Zhou, B., Sun, Y., Gu, T., Li, S., & Li, Y. (2020). Soil fertility and crop production are fostered by micro-nano bubble irrigation with associated changes in soil bacterial community. *Soil Biology and Biochemistry*, *141*, 107663. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107663

Zhou, Y., Zhou, B., Xu, F., Muhammad, T., & Li, Y. (2019). Appropriate dissolved oxygen concentration and application stage of micro-nano bubble water oxygation in greenhouse crop plantation. *Agricultural Water Management*, *223*, 105713. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105713

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]

Enrichment of nutrient solution with oxygen nanobubble and foliar spraying of silicon nano chelate on some physiological characteristics in cut roses (Samurai and Jumilia)

Roghayeh Hossein Hashemi[1], Ali Nikbakht[1]*, Hamed Aalipour, and[2] Mohammad Hossain Ehtemam[3]

[1] Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
[2] Department of Horticulture and Landscape, College of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
(Received: 2024/06/01, Accepted: 2024/07/22)

Abstract

In cut rose flowers, petals senescence not only confines the ornamental value but also imposes a significant economic loss. Therefore, delaying the senescence of cut rose flower petals senescence is very significant to acquire high commercial benefit. In this regard, research was conducted to investigate the effect of the application of the new technology of enrichment with oxygen nanobubbles and silicon nano chelate in the conditions of soilless cultivation on the physiological indicators, the stomatal condition, and the vase life of cut roses. The current research is a factorial split-plot experiment in the form of a randomized complete block design with three factors, including two cut rose cultivars (Samurai and Jumilia), nutrient solution enrichment with oxygen nanobubbles (with oxygen nanobubble concentrations of 0 and 20 mg/liter and for 4 minutes per hour), and foliar spraying of 2% silicon nanochelate (with a concentration of 0 and 2 ml L^{-1} and an interval of 10 days) with three repetitions. Application of silicon nanochelate compared to the control treatment resulted in 13.4%, 15.6%, 25.6%, 18.3% and 28.3% improvement in leaf area, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid content, respectively. Interaction of oxygen nanobubble and silicon nanochelate content of chlorophyll a (14.7%), chlorophyll b (26.1%), total chlorophyll (18%), carotenoids (27.2%), stomatal area (7.41%), and diameter increased stomata (4.48%), stomata length (7.30%), stomata width (6.49%), and the ratio of the number of open to closed stomata (53%) compared to the control. The use of oxygen nanobubbles had a more pronounced effect compared to silicon nanochelate, which can be introduced as an indicator treatment for increasing the post-harvest life and quality of rose-cut flowers.

Keywords: Vase life, Stomatal condition, Hydroponics, Anthocyanin content, Total soluble sugar

Corresponding author, Email: anikbakht@iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.215]