گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۵)، ۱۱(۱): ۱-۲۴
مقاله پژوهشی

# کارایی یک سامانه آبکشتی بسته و تیمار نانوسیلیسیم در مصرف نهاده‌های تولید، کیفیت و تولید گل رز ‘Samurai’

**پروان عقدک[۱]، رحیم برزگر*[۱]، علی نیکبخت*[۲]، حسین شریعتمداری[۳]، صادق موسوی‌فرد[۱]، علیرضا علیپور[۴]**

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد
۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
۳- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
۴- گروه توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
barzegar56@yahoo.com, anikbakht@iut.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۲/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۴

## چکیده

استفاده از سامانه‌های بسته آبکشتی به دلیل افزایش کارایی مصرف آب و کود، در حال گسترش است. در ایران نیز به دلیل کمبود منابع آب، بررسی امکان استفاده از این سامانه‌ها از اولویت‌های پژوهشی است. به منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیم بر عملکرد، کیفیت و کارایی مصرف نهاده‌ها در رز بریدنی رقم ‘Samurai’ آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح غلظت محلول پرکننده (شاهد یا استفاده از محلول استاندارد با غلظت کامل در سامانه باز، سه‌چهارم، یک‌دوم و یک‌چهارم غلظت محلول استاندارد) و دو سطح محلول‌پاشی نانوسیلیسیم (صفر و ۲ میلی‌گرم در لیتر) انجام شد. در تیمارهای بازچرخانی محلول غذایی، هر بار محلول زهکش شده از زیر بسترهای مربوط به هر تیمار جمع‌آوری و به مخزن اصلی برگردانده شد، سپس برای جبران کاهش حجم آب و عناصر غذایی استفاده شده، از محلول‌های غذایی پرکننده با غلظت‌های سه‌چهارم، یک‌دوم و یک‌چهارم محلول استاندارد استفاده شد. چهار ماه پس از شروع بازچرخانی، ۱۲ بار محلول‌پاشی با نانوسیلیسیم به فواصل یک هفته انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار طول غنچه، طول و قطر ساقه، تعداد و سطح برگ و وزن تر ساقه مربوط به ترکیب‌های تیماری شاهد و محلول پرکننده با غلظت سه‌چهارم همراه با محلول‌پاشی نانوسیلیسیم بود. مقدار سبزینه کل در تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی نانوسیلیسیم بیشترین بود. تیمار شاهد همراه با محلول‌پاشی نانوسیلیسیم، بالاترین مقدار کربوهیدرات را داشت و در همه غلظت‌های محلول پرکننده استفاده از نانوسیلیسیم سبب افزایش کربوهیدرات در مقایسه با عدم کاربرد آن شد. بیشترین عمر پس از برداشت و عملکرد نیز در تیمارهای شاهد و سه‌چهارم همراه با کاربرد نانوسیلیسیم به‌دست آمد. نتایج همچنین نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار سه‌چهارم همراه با محلول‌پاشی نانوسیلیسیم بود اما در مورد کارایی مصرف کود بهترین نتایج مربوط به تیمار یک‌چهارم همراه با محلول‌پاشی نانوسیلیسیم بود. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از محلول پرکننده با غلظت سه‌چهارم همراه با محلول‌پاشی نانوسیلیسیم افزون بر حفظ کیفیت گل‌ها از طریق افزایش کارایی مصرف آب و کود می‌تواند جایگزین مناسبی برای کشت‌های باز رایج در گلخانه‌ها باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تولید کنترل شده، صرفه‌جویی در نهاده، کود، گلخانه، گل بریدنی.

**مقدمه**

محدودیت منابع از جمله مشکلاتی است که بخش کشاورزی در سراسر دنیا همواره با آن روبرو می‌باشد. بنابراین استفاده کارا از این منابع می‌تواند مسیر دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار باشد. استفاده کارا به معنای دستیابی به تولید حداکثری با استفاده از سطح ثابت نهاده‌ها یا به بیان دیگر دستیابی به سطح مشخصی از تولید با استفاده حداقلی از نهاده‌ها است (Khodaverdizadeh *et al.*, 2019). در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران توسعه کشاورزی و تولید پایدار به افزایش کارایی مصرف آب بستگی دارد. کارایی مصرف آب شاخصی کمی شده برای بیان مقدار عملکرد به ازای هر واحد آب مصرفی است. این شاخص با افزایش عملکرد و یا کاهش مصرف آب افزایش می‌یابد. در سال‌های اخیر، پرورش محصولات در گلخانه از راهکارهای مؤثر افزایش عملکرد به‌ویژه در کشورهای توسعه یافته است و در کشور ما نیز مورد توجه قرار گرفته است (Ahrar *et al.*, 2009). با این وجود، کمبود آب همچنان با توجه به روند رشد جمعیت و محدود بودن منابع آبی قابل برداشت، بخش کشاورزی را با چالش بزرگی مواجه کرده است. بر اساس آمار ارائه شده، ۹۴٪ کل آب‌های برداشت شده در کشور (۸۷/۵ میلیارد متر مکعب) یعنی ۸۲ میلیارد مترمکعب آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Shaabani & Honar, 2008). بنابراین استفاده از روش‌هایی که با کنترل بهتر و دقیق‌تر عوامل مؤثر در تولید بتواند در مصرف آب صرفه‌جویی کند مانند کشت هیدروپونیک یا کشت بدون خاک، می‌تواند یکی از روش‌های بهبود بهره‌وری از منابع باشد. گرچه برای کشت هیدروپونیک در مقایسه با کشت خاکی مزایای بسیاری بیان شده است اما برای دستیابی به چنین مزایایی باید تنوع بین سیستم‌ها، درجه آگاهی و نیز مهارت به‌کار گرفته شده در سیستم‌ها مورد توجه قرار گیرد (Olympios, 1992). سامانه‌های کشت بدون خاک به دو دسته سامانه‌های باز و بسته تقسیم‌بندی می‌شود. در سامانه‌های کشت بسته با توجه به تفاوت در سرعت جذب آب و عناصر غذایی، همچنین تخلیه سریع بعضی عناصر از محلول غذایی، عدم تعادل عناصر غذایی یا تغییر در نسبت یون‌ها در محلول رخ داده که می‌تواند سبب کاهش کیفیت یا عملکرد شود (Lopez *et al.*, 2003; Savvas, 2002). به عنوان مثال سرعت جذب آمونیوم، پتاسیم و نیترات بالاتر است و کلسیم، منیزیم و سولفات با سرعت کمتری جذب می‌شوند (Burman *et al.*, 1981; Bugbee, 2004; Miller *et al.*, 2020). سرعت بالاتر جذب آب نسبت به عناصر غذایی نیز سبب منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی محلول غذایی شده و می‌تواند اثرات سوء بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (Samarakoon *et al.*, 2006). بنابراین جایگزین کردن آب مصرف شده و جبران عناصر جذب شده در این سامانه‌ها امری ضروری است. در این راستا برخی از پژوهشگران توصیه می‌کنند در طول دوره بازچرخانی محلول غذایی غلظت تک تک عناصر غذایی استفاده شده اندازه‌گیری شده و سپس محلول پرکننده[۱] (حاوی عناصر استفاده شده یا همه عناصر) برای جبران تخلیه صورت گرفته به محلول اولیه افزوده شود (Bugbee, 2004). به عقیده Bugbee (2004) پایش تک‌تک عناصر با وجود سودمندی ضروری نیست و می‌توان از محلول غذایی پرکننده با غلظت‌های کمتر از محلول غذایی اولیه برای جایگزینی عناصر تخلیه شده و اصلاح EC[۲] استفاده کرد. Savvas & Gizas (2002) گزارش کردند که در گیاه ژربرا استفاده از محلول غذایی پرکننده با پتاسیم و آمونیوم بالا اثرات منفی بازچرخانی محلول غذایی بر کیفیت این گل را کاهش داد. همچنین، بر اساس گزارش Richard و همکاران (2001) هنگام استفاده از سامانه بسته مبتنی بر کنترل EC، در

۱- Replenishment solution
۲- Electrical conductivity

کشت گل رز موفق به ۴۲٪ صرفه‌جویی در مصرف آب و ۵۵٪ صرفه‌جویی در مصرف عناصر غذایی شده‌اند، بدون این که کیفیت گل‌ها تأثیر منفی بپذیرد. همچنین نشان داده شده است که در شرایط مدیترانه‌ای، در سامانه آبکشتی بسته با استفاده از آبی با کیفیت متوسط (غلظت کم سدیم و کلر) امکان تولید گل‌های میخک با کیفیت عالی وجود دارد و در این سامانه استفاده بهینه از آب و عناصر غذایی به حداکثر رسید (Marfà, 1999). در تضاد با این نتایج، Miller و همکاران (2020) گزارش کردند که در سامانه بسته کشت کاهو، استفاده مداوم از محلول‌غذایی بازیافتی علیرغم حفظ EC محلول در سطح‌هدف، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد کاهو را به دلیل کاهش در دسترس بودن مواد مغذی و جذب آب توسط گیاه کاهش دهد.

سیلیسیم یکی از عناصر غذایی سودمند است که امروزه توجه زیادی را برای استفاده در محصولات گلخانه‌ای به خود جلب کرده است. بر اساس گزارش Jalilzadeh و همکاران (2018) سیلیسیم در رز بریدنی سبب بهبود وضعیت گیاه شده و اثرات مثبتی نظیر افزایش طول و قطر ساقه گل‌دهنده، تولید ساقه‌های قائم و صاف، افزایش تعداد شاخه‌های جانبی، افزایش مقاومت دیواره سلولی در برابر فشار، افزایش مقاومت برگ، افزایش سطح برگ، سبزینه، نورساخت، قطر گل، وزن تر گل و عمر گلجایی را به همراه داشت که همگی می‌تواند سبب تولید گل‌هایی با کیفیت بسیار زیاد شود.

با توجه به بحران شدید آب و محدودیت تأمین نهاده‌های با کیفیت کشاورزی در کشور و پیش رو بودن مسیر طولانی تا رسیدن به وضعیت کشاورزی پایدار، بهبود کارایی مصرف آب، استفاده بهینه از ذخایر آبی موجود تا حد امکان و استفاده از روش‌های نوین تولید محصول از ضروریات بخش کشاورزی است. اگرچه داده‌های پیشین حاکی از برتری کشت‌های گلخانه‌ای نسبت به کشت در فضای باز از منظر مصرف نهاده‌ها به‌ویژه آب است اما با کم شدن منابع آبی کشور ضروری است حتی در کشت‌های گلخانه‌ای نیز بازنگری در مصرف نهاده‌ها صورت پذیرد و راهکارهایی برای کاهش استفاده از این نهاده‌ها اتخاذ شود. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش، بررسی امکان افزایش کارایی مصرف آب و کود از طریق بازچرخانی محلول غذایی زهکش شده، جایگزینی آب و عناصر برداشت شده توسط محلول غذایی پرکننده درغلظت‌های مختلف و تأثیر آن بر عملکرد، کیفیت و عمر گلجایی رز بریدنی بود. هچنین با توجه به گزارش‌های موجود درباره اثرات سودمند سیلیسیم بر بهبود کیفیت و القای مقاومت به تنش‌های غیرزیستی در برخی گیاهان، هدف دیگر این پژوهش بررسی امکان تلفیق کاربرد محلول‌پاشی نانوسیلیسیم و بازچرخانی محلول غذایی به منظور کاهش اثرات منفی احتمالی ناشی از تنش و عدم تعادل تغذیه‌ای حاصل از بازچرخانی محول غذایی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل رز بریدنی بود.

**مواد و روش‌ها**

آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار (هر تکرار شامل دوازده پایه رز) در گلخانه تخصصی پرورش رز در مجموعه گلخانه‌ای پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان (با مشخصات جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و ۵۱ درجه شرقی) انجام شد. تیمارها شامل غلظت‌های مختلف محلول پرکننده شامل چهار سطح: شاهد (محلول غذایی با غلظت کامل و سامانه باز) و غلظت‌های سه‌چهارم، یک دوم و یک چهارم محلول اولیه و محلول‌پاشی نانوسیلیسیم (دو سطح صفر و دو میلی‌گرم در لیتر) بود. بدین منظور رز[۱] رقم 'Samurai' پیوندی بر پایه نسترن [۲]، در یونولیت‌های کاشت به ابعاد ۱۰۰ × ۴۰

۱- Rosa hybrid L. cv. Samurai

۲- Natal briar

× ۳۰ سانتی‌متر حاوی پرلیت خالص (با اندازه ذرات سه میلی‌متر) کشت شد. یک‌ماه پس از کاشت و با توسعه ریشه‌ها، تربیت کمانی اولیه انجام گرفت. قبل از شروع محلول‌دهی آب محل آزمایش، بررسی شد که نتایج آن در جدول یک نشان داده شده است و مقدار عناصر آن در فرمولاسیون محلول غذایی لحاظ شد. غلظت عناصر در محلول نهایی بر حسب میلی‌گرم در لیتر به شرح جدول دو بود.

**جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش.**

**Table 1- Chemical analysis of the water used in the experiment.**

| meq/l | | | | | | | TDS (mg/l) | pH | EC (dS/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $HCO_3$ | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Mg^{2+}$ | $Ca^{2+}$ | $K^+$ | $Na^+$ | کل مواد جامد محلول | اسیدیته | هدایت الکتریکی |
| بی‌کربنات | کلر | سولفات | منیزیم | کلسیم | پتاسیم | سدیم | | | |
| 3.5 | 1.7 | 1.3 | 0.9 | 3.4 | 0.1 | 1.9 | 415 | 7.2 | 0.65 |

**جدول ۲- غلظت عناصر پرمصرف و کم مصرف در محلول غذایی (میلی‌گرم در لیتر).**

**Table 1- Concentration of macro- and micronutrients in the nutrient solution (mg/l).**

| Cu | Mo | Mn | B | Zn | Fe | S | Mg | Ca | K | P | $NH_4$ | $NO_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مس | مولیبدن | منگنز | بور | روی | آهن | گوگرد | منیزیم | کلسیم | پتاسیم | فسفر | آمونیوم | نیترات |
| 0.08 | 0.08 | 0.4 | 0.3 | 0.33 | 1.8 | 79.5 | 36 | 130 | 190 | 40 | 10 | 120 |

(Mercurio, 2007)

نوع کودها و مقدار مورد استفاده جهت ساخت محلول غذایی با استفاده از نرم‌افزار هیدروبادی (Hydro buddy v 1.4) برآورد شد. pH محلول در طول دوره رشد در محدوده ۵/۸- ۵/۶ و EC محلول غذایی اولیه ۱۸۰۰ µS/cm حفظ شد.

برای تیماردهی، همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود از سامانهی متشکل از مخزن‌های محلول‌غذایی با حجم ۱۸۰ لیتر، پمپ‌های مناسب برای تأمین فشار، فشارسنج برای یکسان‌سازی مقدار محلول عرضه شده و لوله‌های آبیاری پلی‌اتیلن پلاک‌دار برای انتقال محلول غذایی به مجاورت طوقه استفاده گردید.



**شکل ۱- اجزا سامانه کودآبیاری مورد استفاده در پژوهش.**

**Figure 1- The components of the fertigation system used in the research.**

حجم محلول غذایی مورد استفاده بر اساس طول روز و شدت تابش متفاوت بوده و بر اساس ۳۰٪ کسر آبشویی طراحی شد. در زمان شروع تیمارها، ابتدا هر چهار مخزن با محلول‌غذایی به غلظت کامل پر شده و محلول‌رسانی به بوته‌ها با کمک زمان‌سنج بر اساس برنامه زمان‌بندی مناسب انجام شد، به‌طوری که بسته به فصل هر نیم تا یک ساعت دو دقیقه محلول‌رسانی انجام شد و به‌طور متوسط در فصل تابستان و زمستان هر بوته به ترتیب حدوداً ۷۵۰ و ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول دریافت کردند. پس از تخلیه کامل مخازن بسته به نوع تیمار بازچرخانی، محلول زه‌آب مربوط به هر تیمار جمع‌آوری و به مخزن مربوطه برگشت داده می‌شد. سپس برای جبران آب و عناصر غذایی مصرف شده، مابقی مخزن (۷۰٪ باقی‌مانده) بسته به نوع تیمار با محلول پرکننده (به غلظت‌های یک‌چهارم، یک‌دوم و سه‌چهارم غلظت محلول اولیه) پر می‌شدند تا در نهایت مجموع حجم زهکش بازگشت داده شده و محلول پرکننده اضافه شده به هر مخزن به ۱۸۰ لیتر برسد. اسیدیته محلول مخزن‌ها همواره با استفاده از اسید نیتریک در محدوده ۵/۸– ۵/۵ حفظ شد. این چرخه محلول‌رسانی، جمع‌آوری زهکش و بازچرخانی آن در سامانه به مدت دو ماه انجام شده، پس از دو ماه زهکش‌ها دور ریخته و محلول غذایی تازه برای همه مخزن‌ها ساخته می‌شد و این کار تا پایان مدت آزمایش هر دوماه یک‌بار تکرار شد. در مورد تیمار شاهد (سامانه باز) هر بار پس از خالی شدن مخزن، محلول غذایی تازه با غلظت کامل ساخته می‌شد و زهکش بسترها دور ریخته می‌شدند. چهار ماه پس از شروع تیمارهای مربوط به بازچرخانی، محلول‌پاشی با نانو سیلیسیم، ۱۲ بار با فاصله زمانی هفت روز یک‌بار انجام شد. کود نانو سیلیسیم از منبع کودهای نانوی شرکت صدور احرار شرق با نام تجاری خضرا (با اندازه ذرات ۲۳ تا ۲۷ نانومتر و حق اختراع ثبت شده در USPTO ( MH N. Chelate compounds. Google Patents 2012 و با شماره US8288587) تهیه شد. در مدت یک‌سال آزمایش، دامنه دمای روزانه بر اساس شدت نور در روزهای ابری تا آفتابی بین ۲۲ تا ۲۵ درجه سلسیوس و در شب بین ۱۷ تا ۱۸ درجه سلسیوس نگهداری شد. رطوبت نسبی گلخانه نیز بین ۵۰ تا ۶۰٪ تنظیم شد.

**اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیک**

طول شاخه گل‌دهنده، قطر شاخه از زیر نهنج، طول و قطر غنچه به ترتیب توسط خط‌کش و کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. گل‌های در مرحله غنچه نیمه باز برداشت شدند. تعداد گل‌ها و تعداد برگ در شاخه گلدهنده در زمان برداشت شمارش شد. سپس طول شاخه‌های برداشت شده‌ای که به ۵۰ سانتی‌متر رسیده بودن توسط ترازوی دیجیتال توزین شدند. از هر تکرار اولین برگ پنج برگچه‌ای کاملاً توسعه یافته برداشت شده و بلافاصله سطح برگ توسط اسکنر (Canon Lide 700F) اسکن شد. در ادامه سطح برگ توسط نرم‌افزار Imag J برحسب سانتی‌متر مربع محاسبه شد.

**اندازه‌گیری رنگیزه‌های نورساختی**

به منظور اندازه‌گیری رنگیزه‌های نورساختی برگ، به‌طور تصادفی از هر تکرار، از برگ‌های همسن (برگ‌های ۵ برگچه‌ای کاملاً توسعه یافته) نمونه‌برداری انجام شد. سپس مقدار سبزینه (سبزینه a، سبزینه b و سبزینه کل) با استفاده از روش Lichtenthaler (1987) اندازه‌گیری شد.

**محتوی آنتوسیانین**: برای اندازه‌گیری آنتوسیانین از روش Wagner (1979) استفاده شد. بدین منظور مقدار ۰/۱ گرم گلبرگ را در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسیدکلریدریک غلیظ به نسبت حجمی ۱:۹۹) کاملاً ساییده و عصاره به دست آمده در لوله آزمایش ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت.

سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. میزان جذب نور محلول هر نمونه در طول موج ۵۵۰ نانومتر اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV106A, Japan) اندازه‌گیری شد و مقدار آنتوسیانین از رابطه $A=\varepsilon bc$ محاسبه شد که در آن $\varepsilon$= ضریب خاموشی معادل ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر مربع بر مول، b= عرض کووت، c= غلظت محلول مورد نظر است. مقدار آنتوسیانین برحسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه گزارش شد.

**کربوهیدرات کل:** جهت تعیین کربوهیدرات، از روش Hedge and Hofreiter (1962) استفاده شد.

**کارایی مصرف آب و کود:** کارایی مصرف آب با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Burman *et al*, 1981).

$$WUE = \frac{Y_T}{V_T}$$ رابطه ۱

که در آن WUE کارایی مصرف آب، $Y_T$ عملکرد کل ($\frac{kg}{ha}$) و $V_T$ حجم آب آبیاری ($m^3$) است. کارایی مصرف کودها نیز از حاصل کسر عملکرد به مقدار مصرف کود در طول سال به دست آمد. به این منظور حجم دقیق آب مصرفی و همچنین وزن نمک‌های کودی مصرف شده در هر تیمار در کل دوره ثبت شد.

**عمر پس از برداشت گل:** برای انجام آزمایش پس از برداشت، گل‌ها در مرحله تجاری مناسب رقم، یعنی مرحله نیمه باز برداشت شدند. در این مرحله دو کاسبرگ باز و به حالت افقی قرار دارند. برداشت اوایل صبح با قیچی ضدعفونی شده انجام شد. سپس ارتفاع همه ساقه‌ها به ۵۰ سانتی‌متر رسیده و تعداد پنج برگ پنج برگچه‌ای بالغ روی همه شاخه‌ها حفظ شد. سپس گل‌ها برای پیش سرمایش به مدت ۲۴ ساعت در سردخانه با دمای چهار درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از ۲۴ ساعت شاخه‌های گل در ظروف ۵۰۰ میلی‌لیتری حاوی آب مقطر قرار داده شده و در اتاقی با دمای ۲ ± ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی حدود ۵ ± ۴۵٪ و رژیم نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی قرار داده شدند. ظروف یک روز در میان با ظرف جدید و تمیز حاوی آب مقطر جایگزین می‌شدند. نیم سانتی‌متر انتهای شاخه‌ها با هر بار تعویض گلدان حذف شدند. این کار تا پایان عمر گلجایی گل‌ها انجام گرفت. عمر گلجایی گل‌ها از زمان برداشت تا ظهور خمیدگی گردن و یا ریزش گلبرگ‌ها در نظر گرفته شد و به صورت تعداد روز بیان گردید (Rezaei *et al*., 2023).

**تجزیه و تحلیل داده‌ها**

آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix 8 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی صفات نیز با نرم‌افزار statgraphics 19 انجام شد.

## نتایج و بحث

### شاخص‌های مورفولوژیک

نتایج این پژوهش نشان داد، غلظت‌های مختلف محلول پرکننده اثر معنی‌داری بر طول غنچه نداشت در حالی‌که تفاوت قطر غنچه، طول و قطر ساقه تحت تأثیر این تیمار معنی‌دار بود. به‌طوری که کمترین مقدار قطر غنچه و طول ساقه مربوط به تیمار محلول پرکننده با غلظت یک‌چهارم بود و سایر تیمارها از نظر آماری متفاوت نبودند. بیشترین قطر ساقه نیز مربوط به تیمار با غلظت سه‌چهارم بود که با تیمار شاهد (بدون بازچرخانی) اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین قطر ساقه نیز در تیمار محلول پرکننده با غلظت یک‌چهارم مشاهده شد. محلول‌پاشی نانوسیلیسیم اثر معنی‌دار بر قطر غنچه داشت و کاربرد آن سبب کاهش

معنی‌دار قطر غنچه شد. تعداد برگ و سطح برگ نیز تحت تأثیر غلظت محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیم قرار گرفت به‌طوری که بیشترین تعداد برگ (۱۶/۷) در غلظت سه‌چهارم محلول پرکننده مشاهده شد که با شاهد (۱۶/۴۷) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین تعداد برگ (۱۴/۷۱) در غلظت یک‌چهارم مشاهده شد. محلول‌پاشی نانوسیلیسیم نیز سبب افزایش ۱۱/۷ درصدی تعداد برگ شد. بیشترین سطح برگ نیز مربوط به تیمار شاهد بود و کمترین سطح برگ در غلظت یک‌چهارم محلول پرکننده به دست آمد. محلول‌پاشی نانوسیلیسیم نیز سبب افزایش ۳۷/۵٪ سطح برگ در مقایسه با عدم کاربرد نانوسیلیسیم شد (جدول ۳).

نتایج پژوهش نشان داد استفاده از نانوسیلیسیم در غلظت‌های کامل، سه‌چهارم و یک‌دوم سبب افزایش طول غنچه شد؛ اگرچه این افزایش در مقایسه با عدم استفاده از نانوسیلیسیم در همین غلظت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. در مورد قطر غنچه نیز بیشترین مقدار مربوط به تیمارهای شاهد، غلظت سه‌چهارم و یک‌دوم محلول پرکننده، بدون کاربرد نانوسیلیسیم بود و کمترین قطر غنچه در گیاهان تیمار شده با غلظت یک‌چهارم و بدون کاربرد نانوسیلیسیم مشاهده شد (شکل ۲، a و b).

در مورد طول ساقه و تعداد برگ نیز بیشترین مقادیر مربوط به ترکیب تیماری غلظت سه‌چهارم همراه با کاربرد نانوسیلیسیم بود اگرچه با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین مقدار این شاخص‌های مورفولوژیکی در تیمار غلظت یک‌چهارم با و بدون استفاده از نانوسیلیسیم مشاهده شد. کاربرد سیلیسیم در مقایسه با عدم کاربرد آن سبب افزایش شش درصدی تعداد برگ شد. در مورد قطر ساقه بیشترین مقدار مربوط به ترکیب تیماری شاهد همراه با نانوسیلیسیم بود اگرچه که با تیمارهای غلظت سه‌چهارم با و بدون محلول‌پاشی نانوسیلیسیم و غلظت یک دوم با محلول‌پاشی نانوسیلیسیم اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. بیشترین سطح برگ نیز در ترکیب تیماری شاهد همراه با محلول‌پاشی نانوسیلیسیم مشاهده شد که با غلظت سه‌چهارم همراه با نانوسیلیسیم اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳، a، b، c و d).

بر اساس گزارش Savvas & Gizas (2002)، سامانه‌های بسته‌ای که در آن‌ها محلول زهکش پس از جمع‌آوری و اصلاح با محلول پرکننده و آب دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرد کارآمد به نظر می‌رسند. مطالعه انجام شده روی گل رز نشان داد که گیاهان پرورش یافته در چنین سامانه بسته‌ای نسبت به کشت در سامانه باز کاهش رشد نداشتند (Raviv *et al.*, 2001).

افزون بر این Rouphael و همکاران (2016) نیز گزارش کردند که استفاده از سامانه‌های نیمه‌بسته تأثیر معنی‌داری بر طول ساقه، تعداد و سطح برگ آماریلیس نداشت. در این پژوهش تیمارهای شاهد و غلظت‌های سه‌چهارم و یک‌دوم محلول پرکننده از نظر طول ساقه تفاوت معنی‌داری نداشتند اما در تیمار یک‌چهارم طول ساقه به‌طور معنی‌دار کاهش یافت که احتمالا به دلیل دسترسی کم به عناصر غذایی است چرا که یکی از مکانیسم‌های اجتناب از تنش در گیاهان کاهش رشد رویشی می‌باشد (Gorbe Sánchez, 2009). همسو با نتایج این پژوهش، پژوهش‌های دیگر نیز مزایای استفاده از غلظت کاهش یافته محلول‌غذایی برای کشت گلخانه‌ای گیاهان زینتی را گزارش کرده‌اند. به عنوان مثال، Rouphael و همکاران (2008) نشان دادند که غلظت عناصر پرمصرف که معمولاً توسط پرورش‌دهندگان شمعدانی در گلخانه‌های تجاری استفاده می‌شود را می‌توان تا ۵۰٪ در طول چرخه کشت زمستانی کاهش داد، بدون این‌که اثر نامطلوبی بر رشد و شاخص کیفیت داشته باشد. همچنین Zheng و همکاران (2004) در مورد ژربرا نشان دادند که میزان مصرف عناصر غذایی را می‌توان حداقل تا ۵۰٪ کاهش داد، بدون این‌که اثر مخربی بر رشد

و کیفیت گیاه داشته باشد. در مطالعه‌ای که Rouphael و همکاران (2010) بر روی اطلسی انجام دادند نیز تفاوت معنی‌داری از نظر سطح برگ و شاخص کیفیت بین محلول غذایی با غلظت کامل و غلظت یک‌دوم در طول فصل بهار مشاهده نشد.

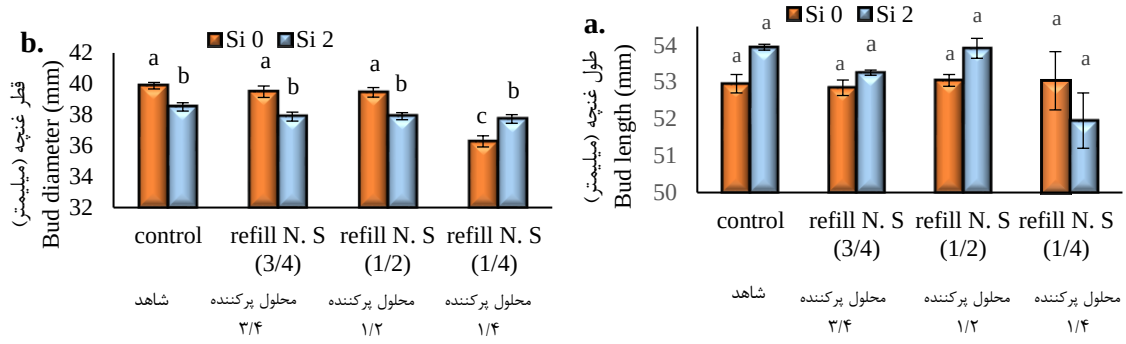
**جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های مورفولوژیکی گل رز بریدنی رقم 'Samurai' تحت تأثیر غلظت‌های مختلف محلول غذایی پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیوم در سامانه کشت بسته.**

**Table 3- Mean comparisons of morphological parameters of cut rose 'Samurai' cultivar as affected by different refill nutrient solution concentrations and Nano-silica foliar application in closed system.**

| سطح برگ ($cm^2$) Leaf area ($cm^2$) | تعداد برگ Leaf Number | قطر ساقه از زیر نهنجStem Diameter (mm) | طول ساقه (cm) Stem Length (cm) | قطر غنچه (mm) Bud Diameter (mm) | طول غنچه (mm) Bud Length (mm) | تیمار Treatment |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **غلظت محلول پرکننده Refill Nutrient Solution concentration** | | | | | | |
| 202.76±5.02$^{a}$ | 16.47±0.40$^{ab}$ | 7.95±0.06$^{a}$ | 93.70±1.01$^{a}$ | 39.19±0.30$^{a}$ | 53.45±0.22$^{a}$ | Full strength |
| 184.77±9.04$^{b}$ | 16.70±0.54$^{a}$ | 8.00±0.05$^{a}$ | 93.06±0.73$^{a}$ | 38.68±0.37$^{a}$ | 53.05±0.13$^{a}$ | $^{3}/_{4}$ |
| 150.73±4.33$^{c}$ | 15.81±0.48$^{b}$ | 7.76±0.06$^{b}$ | 92.30±0.51$^{a}$ | 38.68±0.34$^{a}$ | 53.47±0.22$^{a}$ | $^{1}/_{2}$ |
| 141.66±7.57d | 14.71±0.20$^{c}$ | 7.49±0.06$^{c}$ | 87.69±0.88$^{b}$ | 37.00±0.35$^{b}$ | 52.49±0.54$^{a}$ | $^{1}/_{4}$ |
| **محلول‌پاشی نانوسیلیسیم (میلی‌گرم در لیتر) Nano-silica foliar application (mg/l)** | | | | | | |
| 153.55±6.68$^{b}$ | 15.03±0.26b | 7.76±0.06$^{a}$ | 90.98±0.64$^{a}$ | 38.77±0.40$^{a}$ | 52.97 ±0.19$^{a}$ | 0 |
| 186.41±6.65$^{a}$ | 16.80±0.27a | 7.84±0.07$^{a}$ | 92.39±0.93$^{a}$ | 38.01±0.14$^{b}$ | 53.26 ±0.27$^{a}$ | 2 |
| **منابع تغییرات ANOVA source** | | | | | | |
| ** | ** | ** | ** | ** | ns | غلظت محلول پرکننده Refill Nutrient Solution concentration |
| ** | ** | ns | ns | ** | ns | محلول‌پاشی نانوسیلیسیم Nano-silica foliar application |
| ** | * | * | * | ** | ns | غلظت محلول پرکننده * محلول‌پاشی نانوسیلیسیم Refill Nutrient Solution concentration * Nano-silica foliar application |
| 3.62 | 4.54 | 1.79 | 2.41 | 1.53 | 1.57 | **CV%** |

† در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) تفاوت معنی‌داری از نظر آماری ندارند. * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد ($P = 0.01$) و پنج درصد ($P = 0.05$).

Means ± SE with the same letter within the columns are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test. * and ** are significant at the probability level of ($P = 0.01$) and ($P = 0.05$), respectively.



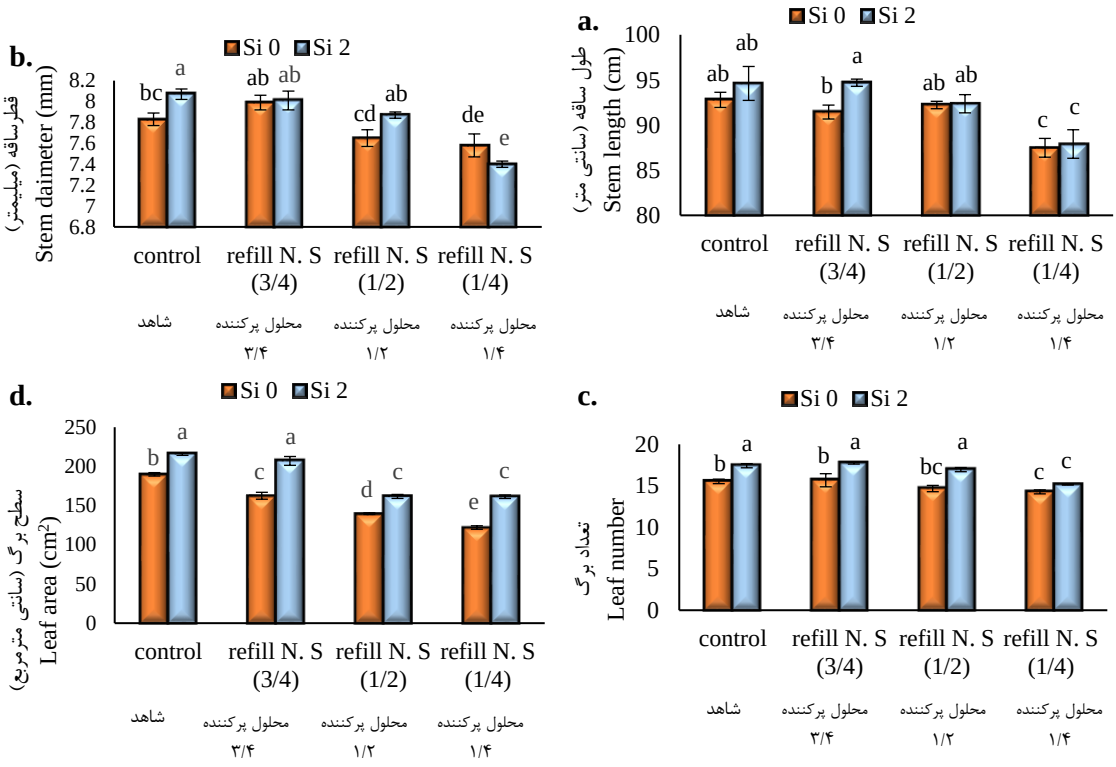

**شکل ۲- برهمکنش غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیوم بر (a) طول و (b) قطر غنچه. حروف یکسان با توجه به آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.**

**Figure 2- Interaction of different concentrations of refill nutrient solution and Nano-silica foliar application on (a) bud length and (b) diameter. The same letters indicate no significant difference according to the least significant difference (LSD) test at 5% level.**

همچنین نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داد استفاده از سامانه بسته در کشت رز هیچ اثر منفی بر کیفیت گل رز نداشت (Raviv *et al.*, 1995; Raviv *et al.*, 1998). نتایج پژوهش Siddiqi و همکاران (1998) نیز نشان داد در سامانه آبکشتی بسته، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم را می‌توان تا یک‌چهارم غلظت مورد استفاده در محلول کامل کاهش داد بدون این‌که بر عملکرد یا کیفیت میوه گوجه‌فرنگی تأثیر منفی بگذارد. در پژوهشی که توسط Savvas و همکاران (2007) انجام گردید نشان داده شد که سیلیسیم سبب افزایش رشد رویشی رُزهای شاخه بریدنی در شرایط تنش شوری شد. گزارش شده است که سیلیسیم افزون بر القای مقاومت به تنش‌های غیرزیستی، تأثیرات مثبتی بر کیفیت و کمیت محصولاتی مانند رُزهای بریدنی در شرایط بدون تنش دارد (De Kreij *et al.*, 1999). بر اساس برخی گزارش‌ها کاربرد نیتروژن و سیلیسیم سبب افزایش مقدار جیبرلیک اسید (GA1) و پیش‌سازهای جیبرلیک اسید ۲۰ (GA20) می‌شود و احتمالاً از این طریق سبب افزایش ارتفاع شاخه می‌گردد (Hwang *et al.*, 2008).

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد غلظت‌های مختلف محلول پرکننده اثر معنی‌دار بر وزن تر شاخه ۵۰ سانتی‌متری و شاخص‌های فیزیولوژیکی رز بریدنی رقم 'Samurai' داشتند به طوری‌که بیشترین وزن تر مربوط به غلظت سه‌چهارم محلول پرکننده بود که اختلاف آماری معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۴). Rouphael و همکاران (2010) نیز گزارش کردند که در اطلسی تفاوت معنی‌داری از نظر زیست توده اندام هوایی و شاخص رشد گیاه بین محلول غذایی با غلظت کامل و غلظت یک‌دوم در طول فصل بهار مشاهده نشد. همچنین Zheng و همکاران (2010) گزارش کردند وزن خشک ساقه و کل گیاه به صورت خطی با افزایش غلظت عناصر غذایی افزایش می‌یابد. با این حال، هیچ تفاوتی در وزن خشک ساقه، ریشه و کل گیاه بین تیمارهای محلول غذایی با غلظت ۷۵ و ۱۰۰٪ مشاهده نشد و گیاهان در هر دو تیمار ۷۵ و ۱۰۰٪ در کل آزمایش سالم و دارای شاخ و برگ سبز تیره بودند. همچنین اندازه‌گیری سبزینه برگ نیز تفاوت معنی‌داری را در بین تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪

در مرحله پایانی آزمایش نشان نداد. در این پژوهش نیز مقدار سبزینه a در غلظت‌های سه‌چهارم و شاهد (غلظت کامل) بیشینه بود و با غلظت یک‌دوم اختلاف معنی‌داری نداشت اما کمترین مقدار سبزینه a در غلظت یک‌چهارم و ۱۲٪ کمتر از شاهد بود. بیشترین مقدار سبزینه b، سبزینه کل و آنتوسیانین نیز در تیمار شاهد و سپس غلظت سه‌چهارم مشاهده شد (جدول ۴). استفاده از نانوسیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار مقدار وزن تر و آنتوسیانین گلبرگ‌ها شد اما مقدارسبزینه b کاهش یافته و سبزینه a و سبزینه کل تفاوت معنی‌داری نشان نداد. افزون بر این نتایج نشان داد کاربرد غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیم سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار در مقدار کربوهیدارت برگ شد که به ترتیب تیمار شاهد با ۲۰۳/۵ ($mgg^{-1}$ FW) بیشترین و غلظت یک‌چهارم با ۱۱۶/۲۳ ($mgg^{-1}$ FW) کمترین مقدار کربوهیدارت را داشتند. همچنین کاربرد نانوسیلیسیم سبب افزایش ۳۰ درصدی کربوهیدرات در برگ در مقایسه با عدم کاربرد آن گردید (جدول ۴).




**شکل ۳- برهمکنش غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیوم بر (a) طول ساقه، (b) قطر ساقه، (c) تعداد برگ و (d) سطح برگ. حروف یکسان با توجه به آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.**

**Figure 3- Interaction of different concentrations of refill nutrient solution and Nano-silica foliar application on (a) stem length, (b) stem diameter, (c) number of leaves and (d) leaf area. Means with the same letter are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% level.**

**جدول ۴. مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیولوژیکگل رز بریدنی رقم 'Samurai' تحت تأثیر غلظت‌های مختلف محلول غذایی پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیوم در سامانه کشت بسته.**

**Table 4- Mean comparisons of physiological parameters of cut rose 'Samurai' cultivar as affected by different refill nutrient solution concentrations and Nano-silica foliar application in closed system.**

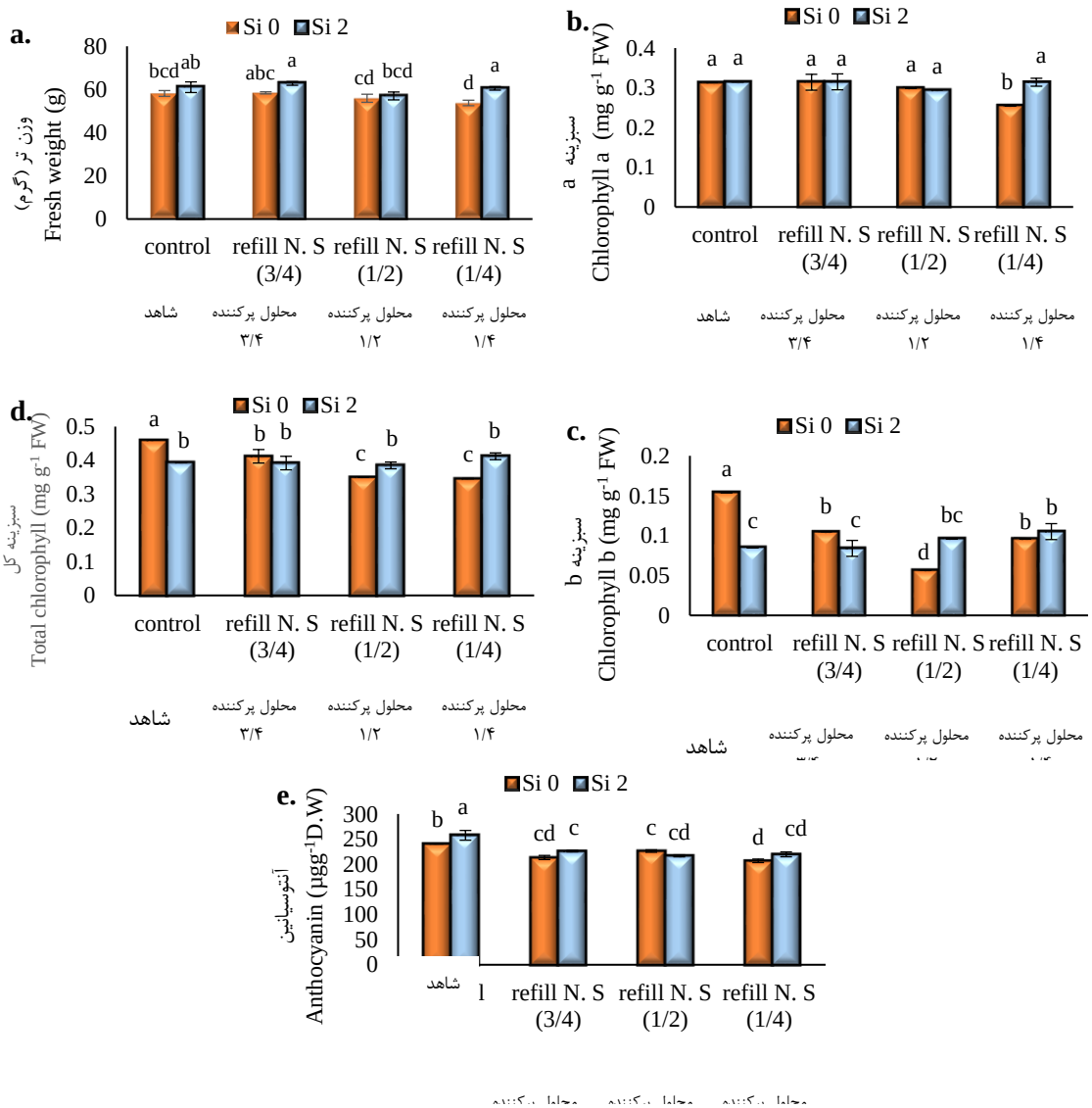
| تیمار Treatment | وزن تر شاخه ۵۰ سانتی متری Fresh weight of a 50 cm branch | سبزینه a Chlorophyll a (mg g$^{-1}$ FW) | سبزینه b Chlorophyll b (mg g$^{-1}$ FW) | سبزینه کل Total Chlorophyll a (mg g$^{-1}$ FW) | آنتوسیانین Anthocyanin (µgg$^{-1}$D.W) | کربوهیدارت Carbohydrates (mg g$^{-1}$ FW) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **غلظت محلول پرکننده** | | | | | | |
| **Refill Nutrient Solution concentration** | | | | | | |
| Full strength | 59.60±1.52$^{ab}$ | 0.314±0.00$^{a}$ | 0.119±0.01$^{a}$ | 0.427±0.01$^{a}$ | 249.08±5.53$^{a}$ | 203.50±4.84$^{a}$ |
| $^{3}/_{4}$ | 60.62±0.94$^{a}$ | 0.314±0.01$^{a}$ | 0.094±0.01$^{b}$ | 0.402±0.01$^{b}$ | 221.57±3.09$^{b}$ | 176.31±2.93$^{b}$ |
| $^{1}/_{2}$ | 56.47±1.23$^{b}$ | 0.297±0.00$^{ab}$ | 0.076±0.01$^{c}$ | 0.368±0.01$^{c}$ | 221.57±2.28$^{b}$ | 146.1±3.33$^{c}$ |
| $^{1}/_{4}$ | 57.13±1.46$^{b}$ | 0.280±0.01$^{b}$ | 0.100±0.00$^{b}$ | 0.379±0.01$^{bc}$ | 213.25±3.66$^{b}$ | 116.23±4.97$^{d}$ |
| **محلول‌پاشی نانوسیلیسیم (میلی‌گرم در لیتر)** | | | | | | |
| **Nano-silica foliar application (mg/l)** | | | | | | |
| 0 | 56.57±0.77$^{b}$ | 0.295±0.01$^{a}$ | 0.103±0.01$^{a}$ | 0.392±0.01$^{a}$ | 221.8±3.58$^{b}$ | 151.14±8.81$^{b}$ |
| 2 | 60.34±0.95$^{a}$ | 0.310±0.01$^{a}$ | 0.092±0.00$^{b}$ | 0.396±0.01$^{a}$ | 230.03±4.87$^{a}$ | 196.94±8.29a |
| **منابع تغییرات** | | | | | | |
| **ANOVA source** | | | | | | |
| غلظت محلول پرکننده Refill Nutrient Solution concentration | * | * | ** | ** | ** | ** |
| محلول‌پاشی نانوسیلیسیم Nano- silica foliar application | ** | ns | ** | ns | * | ** |
| غلظت محلول پرکننده ❋ محلول‌پاشی نانوسیلیسیم Refill Nutrient Solution concentration *Nano-silica foliar application | * | * | ** | ** | * | * |
| **CV%** | 5.33 | 7.85 | 8.73 | 5.83 | 3.92 | 3.53 |

† در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) تفاوت معنی‌داری از نظر آماری ندارند. * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد (P = 0.01) و پنج درصد (P = 0.05).

Means ± SE with the same letter within the columns are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test. * and ** are significant at the probability level of (P = 0.01) and (P = 0.05), respectively.

برهمکنش محلول‌پاشی نانوسیلیسیم و غلظت‌های مختلف محلول پرکننده سبب افزایش وزن تر شاخه نسبت به عدم کاربرد نانوسیلیسیم شد، به‌طوری که غلظت‌های سه‌چهارم و یک‌چهارم هنگام محلول‌پاشی با نانوسیلیسیم به ترتیب ۷/۵ و ۱۲/۶٪ افزایش وزن تر نسبت به عدم کاربرد نانوسیلیسیم نشان دادند و این افزایش در تیمار با غلظت یک‌چهارم معنی‌دار بود. همچنین در گیاهانی که تحت تیمار همزمان محلول‌پاشی نانوسیلیسیم و غلظت‌های یک‌چهارم و یک‌دوم محلول پرکننده قرار گرفتند مقدار سبزینه b به ترتیب ۹ و ۶۸٪ و سبزینه کل به ترتیب ۱۹ و ۹/۷٪ افزایش در مقایسه با عدم کاربرد نانوسیلیسیم نشان داد (شکل

۴- a، b، c و d). در مورد آنتوسیانین نیز کاربرد نانوسیلیسیم در تیمارهای شاهد، سه‌چهارم و یک‌چهارم سبب افزایش آنتوسیانین شد گرچه به جز ترکیب با تیمار شاهد، سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۴- e). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد سیلیسیم از طریق افزایش کارایی نورساخت، کربن‌دی‌اکسید قابل تبادل، سبزینه و مقدار کربوهیدرات سبب افزایش دخایر برگی شده و احتمالاً از این طریق افزایش وزن تر و خشک گیاهان را به همراه دارد (Chen *et al*., 2000; Vasanthi *et al*., 2012). همچنین سیلیسیم با افزایش سطح برگ (تأثیر مستقیم) و رسوب در بافت‌های اپیدرم برگ و به دنبال آن افزایش ضخامت برگ‌ها سبب افزایش وزن تر و خشک گیاه می‌شود (Anser et al., 2012; Ma & Takahashi, 2002). نتایج این پژوهش نیز نشان می‌دهد کاربرد نانوسیلیسیم با افزایش تعداد و سطح برگ، سبب افزایش نورساخت و به دنبال آن افزایش کربوهیدرات‌ها و وزن تر شده است. همان‌طور که در پژوهش‌های پیشین بیان شده، برای نفوذ آب و توسعه سلول‌ها وجود موادی مانند کربوهیدرات‌ها ضروری است (Ichimura *et al*., 1999). با افزایش مقدار کربوهیدرات نفود آب و توسعه سلول‌ها افزایش یافته و به دنبال آن افزایش وزن‌تر مشاهده می‌شود (O'Donoghue *et al*., 2002). بررسی‌های انجام شده روی گل‌های داوودی، صدتومانی و رُز نشان داد که سیلیسیم سبب افزایش وزن تر گل می‌شود، که با نتایج گرفته شده در این بررسی مطابقت دارد (Carvalho-Zanão *et al*., 2012; Zaky, 2013; Zhao *et al*., 2012). نتایج پژوهش‌های پیشین همچنین نشان می‌دهد بالارفتن مقدار کربوهیدرات‌ها رابطه مستقیمی با توسعه رنگیزه‌ها و تولید آنتوسیانین دارد. بنابراین هر عاملی که بتواند بر افزایش سنتز یا جذب کربوهیدرات‌ها اثرگذار باشد می‌تواند سبب افزایش آنتوسیانین در گلبرگ‌ها شود. سیلیسیم از جمله عواملی است که با افزایش مقدار کربوهیدرات‌ها می‌تواند سبب افزایش آنتوسیانین گلبرگ‌ها شود (Saki & Danaee, 2015). در پژوهش حاضر نیز کاربرد نانوسیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار مقدار کربوهیدرات‌ها و به دنبال آن افزایش مقدار آنتوسیانین در مقایسه با تیمار عدم کاربرد نانوسیلیسیم شد.

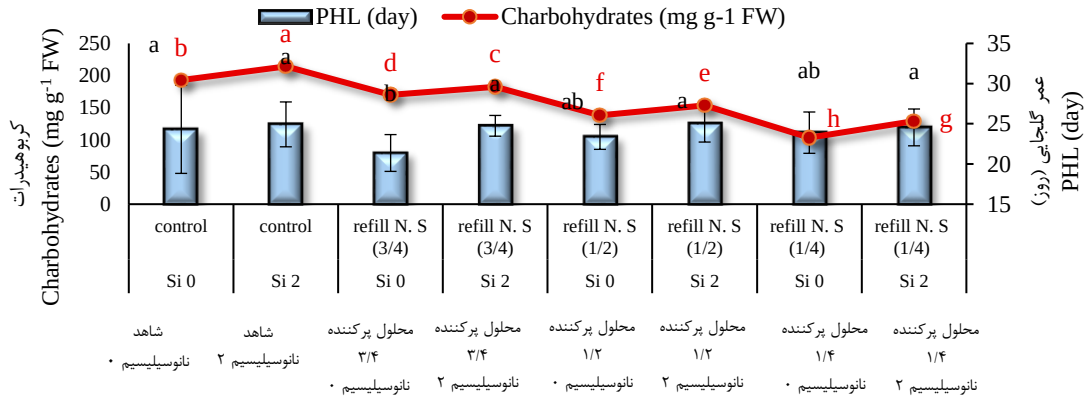



**شکل ۴- برهمکنش غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیوم بر (a) وزن تر شاخه، (b) سبزینه a، (c) سبزینه b، (d) سبزینه کل و (e) آنتوسیانین. حروف یکسان با توجه به آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.**

**Figure 4- Interaction of different concentrations of refill nutrient solution and Nano-silica foliar application on (a) Stem fresh weight, (b) Chlorophyll a, (c) Chlorophyll b, (d) Total Chlorophyll, and (e) Anthocyanin. Means with the same letter are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% level.**

استفاده از نانوسیلیسیم در گیاهان تیمار شده با غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و شاهد سبب افزایش معنی‌دار مقدار کربوهیدرات و عمر گلجایی گل‌ها شد. به‌طوری که در تیمارهای شاهد، سه‌چهارم، یک‌دوم و یک‌چهارم به ترتیب سبب افزایش ۱۱، ۸، ۱۱ و ۲۴/۶ درصدی کربوهیدرات و افزایش ۲/۵، ۱۵/۸، ۷ و ۲/۷ درصدی عمر پس از برداشت شد (شکل ۵). نتایج همچنین نشان داد عمر پس از برداشت در غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت ولی محلول‌پاشی نانوسیلیسیم نسبت به عدم کاربرد آن سبب افزایش معنی‌دار (۶/۷) عمر پس از برداشت گل‌ها شد (جدول ۵). همسو با نتایج این پژوهش El-Serafy (2019) نیز گزارش کرده است که استفاده از نانوسیلیسیم در رز سبب افزایش تدریجی و قابل‌توجه قندهای محلول در مقایسه با عدم کاربرد آن شد. گزارش شده استفاده از سیلیسیم در رز از طریق به تأخیر انداختن

تجزیه سبزینه، سبب افزایش عمر گلجایی می‌گردد (Jalilzadeh *et al.*, 2018). همچنین بیان شده است که جذب آب اثر بسزایی بر عمر پس از برداشت گل‌های بریدنی دارد و سیلیسیم از طریق کاهش نشت یونی و افزایش جذب آب و محتوای نسبی آب سبب افزایش عمر گلجایی لیلیوم شده است (Mamrashpour & Nazarideljou, 2019). افزون بر این گزارش شده سیلیسیم سبب افزایش کارایی نورساخت، کربن‌دی‌اکسید قابل تبادل و مقدار کربوهیدرات می‌شود (Chen *et al.*, 2000; Vasanthi *et al.*, 2012). افزایش سطح کربوهیدرات و متابولیت‌های اولیه و ثانویه در گل رز می‌تواند با افزایش پتانسیل اسمزی، جذب آب را در مرحله پس از برداشت افزایش دهد و در نتیجه عمر پس از برداشت گل‌ها را افزایش دهد (Rezaei *et al.*, 2023). کربوهیدرات‌ها در فرآیندهای مختلف گیاهی، مانند متابولیسم آنتی اکسیدان‌ها، نگهداری و یکپارچگی دیواره سلولی نقش داشته (Fanourakis *et al.*, 2013) و به عنوان منبع اصلی انرژی برای گل‌های بریدنی عمل می‌کنند و کمبود آن‌ها سبب تسریع فرایند پیری در گل‌های بریدنی می‌شود (Singh *et al.*, 2008). افزون بر این، کربوهیدرات‌ها به عنوان سیگنال‌های بیولوژیکی در تنظیم بیان ژن‌ها عمل کرده (Locke, 2010) و به کاهش تولید یا حساسیت به اتیلن، کمک می‌کنند. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که ساکارز می‌تواند تولید اتیلن را مهار کند یا واکنش به اتیلن را در گل میخک کاهش دهد (Pun & Ichimura, 2003). نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد تیمار محلول‌پاشی نانوسیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار مقدار کربوهیدرات‌ها و به دنبال آن افزایش عمر گل‌جایی گل‌ها شد که در شکل ۵ این ارتباط بین سطوح کربوهیدرات محلول و طول عمر پس از برداشت به خوبی نشان داده شده است.




**شکل ۵- برهمکنش غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیوم بر کربوهیدرات برگ و عمر پس از برداشت. حروف یکسان با توجه به آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.**

**Figure 5- Interaction of different concentrations of refill nutrient solution and Nano-silica foliar application on leaf carbohydrates and postharvest longevity (PHL). Means with the same letters are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% level.**

مقایسه عملکرد بوته‌ها نشان داد بین تیمار شاهد و غلظت سه‌چهارم محلول پرکننده از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کمترین عملکرد در غلظت یک‌دوم محلول پرکننده مشاهده شد که با غلظت یک‌چهارم اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی نانوسیلیسیم نیز سبب افزایش ۱۲ درصدی عملکرد در مقایسه با عدم کاربرد این عنصر شد (جدول ۵). مقایسه کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف نشان داد که کمترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار شاهد و بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار سه‌چهارم بود که افزایش ۴۲/۷ درصدی را نشان داد. همچنین کارایی مصرف آب در تیمارهای

یک‌دوم و یک‌چهارم به ترتیب ۱۵ و ۲۱٪ بیشتر از تیمار شاهد بود. محلول‌پاشی نانوسیلیسیم نیز سبب افزایش ۲۰ درصدی کارایی مصرف آب در مقایسه با عدم استفاده از نانوسیلیسیم شد (جدول ۵). نتایج همچنین نشان داد بازچرخانی محلول غذایی سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف کود شد به‌طوری که کارایی مصرف کود در تیمارهای یک‌چهارم، یک‌دوم و سه‌چهارم به ترتیب ۲۳۶، ۱۰۰ و ۸۱/۶٪ نسبت به شاهد افزایش یافت. محلول‌پاشی نانوسیلیسیم نیز در مقایسه با عدم کاربرد آن، کارایی مصرف کود را ۲۶٪ افزایش داد (جدول ۴).

**جدول ۵- مقایسه میانگین عمر پس از برداشت، عملکرد و کارایی مصرف آب و کود گل رز بریدنی رقم 'Samurai' تحت تأثیر غلظت‌های مختلف محلول غذایی پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیوم در سامانه کشت بسته.**

**Table 5- Mean comparisons of postharvest longevity, production, water and fertilizer efficiency of cut rose 'Samurai' cultivar as affected by different refill nutrient solution concentrations and Nano- silica foliar application in a closed system.**

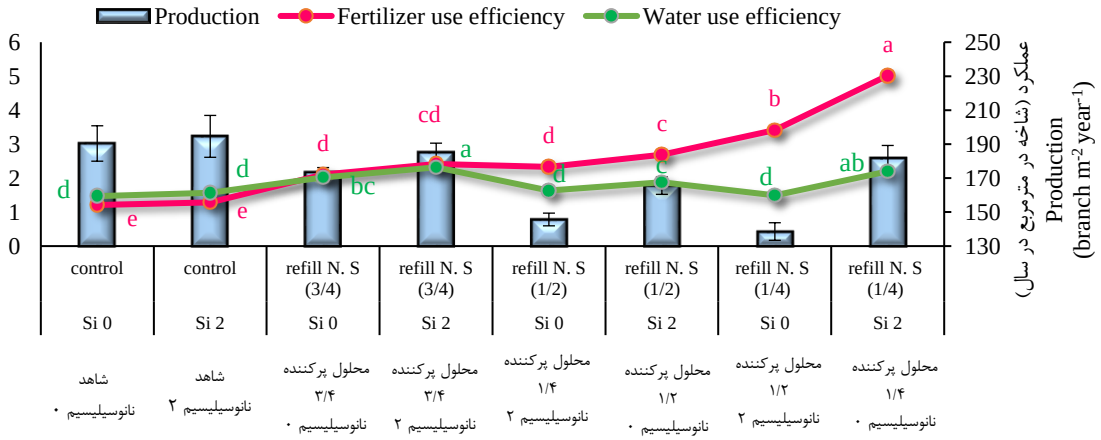
| تیمار<br>Treatment | عمر گلجایی<br>Postharvest longevity (day) | عملکرد<br>Production (branch $m^{-2}year^{-1}$) | کارایی مصرف آب<br>Water use efficiency (kg yield/$m^3$water) | کارایی مصرف کود<br>Fertilizer use efficiency (kg yield /kg fertilizer) |
|---|---|---|---|---|
| **غلظت محلول پرکننده**<br>**Refill Nutrient Solution concentration** | | | | |
| Full strength | 24.62±0.66[a] | 192.50±7.51[a] | 1.52±0.06[c] | 1.25±0.05[d] |
| $^3/_4$ | 23.06±0.77[a] | 179.28±3.60[a] | 2.17±0.06[a] | 2.27±0.06[c] |
| $^1/_2$ | 24.20±0.81[a] | 155.63±4.77[b] | 1.75±0.07[b] | 2.51±0.09[b] |
| $^1/_4$ | 24.22±0.51[a] | 160.17±9.18[b] | 1.84±0.14[b] | 4.21±0.33[a] |
| **محلول‌پاشی نانوسیلیسیم (میلی‌گرم در لیتر)**<br>**Nano-silica foliar application (mg/l)** | | | | |
| 0 | 23.24±0.56[b] | 162.02±6.09[b] | 1.65±0.07[b] | 2.26±0.21[b] |
| 2 | 24.80±0.32[a] | 181.77±4.53[a] | 1.99±0.08a | 2.85±0.35[a] |
| **منابع تغییرات**<br>**ANOVA source** | | | | |
| غلظت محلول پرکننده<br>Refill Nutrient Solution concentration | ns | ** | ** | ** |
| محلول‌پاشی نانوسیلیسیم<br>Nano- silica foliar application | * | ** | ** | ** |
| غلظت محلول پرکننده * محلول‌پاشی نانوسیلیسیم<br>Refill Nutrient Solution concentration * Nano- silica foliar application | ns | * | * | * |
| **CV%** | 7.56 | 8.44 | 7.58 | 8.73 |

† در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) تفاوت معنی‌داری از نظر آماری ندارند. * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد (P = 0.01) و پنج درصد (P = 0.05).

Means ± SE with the same letter within the columns are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test. * and ** are significant at the probability level of (P = 0.01) and (P = 0.05), respectively.

نتایج همچنین نشان داد در گیاهان تیمار شده با غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و شاهد، محلول‌پاشی نانوسیلیسیم سبب افزایش عملکرد شد که این افزایش در غلظت یک‌چهارم معنی‌دار بود. عملکرد در تیمارهای غلظت سه‌چهارم محلول پرکننده با و بدون کاربرد نانوسیلیسیم نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. عملکرد پایه‌های تیمار شده با غلظت یک‌چهارم نیز در زمان محلول‌پاشی با نانوسیلیسیم نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. به نظر می‌رسد تأثیر سیلیسیم بر القای مقاومت به تنش‌های غیرزیستی (De Kreij *et al.*, 1999) بر معنی‌دار شدن اختلافات در تیمار یک‌چهارم مؤثر بوده است و تأثیر مثبت سیلیسیم در تیمارهایی که احتمالاً تحت تنش تغذیه‌ای بیشتری بوده‌اند بارزتر بوده است. کمترین عملکرد مربوط به غلظت یک‌چهارم و عدم مصرف نانوسیلیسیم بود (شکل ۶). کاربرد نانوسیلیسیم در تیمارهای شاهد، سه‌چهارم، یک‌دوم و یک‌چهارم به ترتیب سبب افزایش ۶/۸، ۱۴/۸، ۱۵/۳ و ۴۷/۶۵ درصدی کارایی مصرف آب در مقایسه با عدم کاربرد نانوسیلیسیم در این تیمارها شد. بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به ترکیب تیماری سه‌چهارم همراه با کاربرد نانوسیلیسیم بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با ترکیب تیماری یک‌چهارم همراه با کاربرد نانوسیلیسیم نداشت. در تیمارهای شاهد، سه‌چهارم، یک‌دوم و یک‌چهارم کاربرد نانوسیلیسیم سبب افزایش کارایی مصرف کود در مقایسه با عدم کاربرد نانوسیلیسیم در این تیمارها شد که این افزایش در تیمارهای یک‌دوم و یک‌چهارم معنی‌دار بود. کمترین و بیشترین کارایی مصرف کود به ترتیب مربوط به تیمار شاهد بدون نانوسیلیسیم و یک‌چهارم همراه با محلول‌پاشی نانوسیلیسیم بود (شکل ۶). نتایج پژوهش‌های Raviv و همکاران (1995; 1998) نیز نشان داد استفاده از سامانه بسته در کشت رز هیچ اثر منفی بر عملکرد گل رز نداشت ومصرف آب و کود حدود ۲۵٪ کاهش یافت. بر اساس گزارش‌ها، در روش استاندارد تولید تجاری گل رز از غلظت‌های بالای نیتروژن (۱۵۰-۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) استفاده می‌شود که منجر به آبشویی مقدار قابل‌توجهی از این عنصر می‌شود (Yeo et al., 2016) در حالی‌که Cabrera و همکاران (1993) گزارش داند که غلظت ۱۰۰-۸۰ mg/L نیتروژن در محلول غذایی برای گل رز گلخانه‌ای کافی است و بازیافت محلول‌های غذایی می‌تواند شسته شدن آب و کود را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. در پژوهشی Zheng و همکاران (2010) به بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف محلول غذایی بر رز در سامانه بسته پرداختند و گزارش کردند که تیمار محلول‌غذایی با غلظت ۷۵٪ در مقایسه با محلول‌های غذایی به غلظت ۱۰۰ و ۵۰٪ منجر به تولید بیشترین تعداد شاخه گل در هر گلدان شد. نتایج پژوهش Siddiqi و همکاران (1998) نیز نشان داد که کاهش غلظت عناصر پرمصرف در محلول غذایی تا ۵۰ و ۲۵٪ غلظت محلول کامل (شاهد) تأثیر معنی‌داری بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی نداشت. نتایج پژوهش‌های پیشین در مورد همیشه بهار، اطلسی ایرانی و داوودی نشان داده است که تیمار سیلیسیم سبب افزایش تعداد گل‌ها می‌شود، که همسو با نتایج حاصل از این پژوهش بود (Anser *et al.*, 2012; Bayat *et al.*, 2013; Sivanesan *et al.*, 2013). همچنین گزارش شده است که در سامانه بسته تولید گوجه‌فرنگی با بازیافت خودکار محلول غذایی، نرخ صرفه‌جویی در مصرف آب، فسفر، نیتروژن، پتاسیم و کلسیم به ترتیب ۳۱/۵، ۳۱/۴، ۲۹/۹، ۲۹/۸ و ۲۸/۲٪ بود (Dhakal *et al.*, 2005). همچنین مقایسه کشت گوجه‌فرنگی در دو سیستم باز و بسته نشان داد که اگرچه میزان آب مصرفی در سیستم باز سه برابر سامانه بسته است، ولی عملکرد در این سامانه تنها ۱۵٪ بیشتر از سیستم بسته است (Dasgan & Ekici, 2005). در پژوهشی Thaint Ko

(2013) به مقایسه سامانه باز و بسته بر فلفل پاپریکا[1] پرداخت که نتایج آن نشان داد در سامانه بسته کارایی مصرف آب ۵۰٪ و کارایی مصرف کودها ۶۱ تا ۶۷٪ بیشتر از سامانه باز بود. در پژوهشی کهDe la Rosa-Rodrigez و همکاران (2020) به مقایسه کارایی مصرف آب و کود در دو سامانه باز و بسته کشت گوجه‌فرنگی پرداختند نیز مشاهده شد که راندمان مصرف آب برای سامانه بسته و باز به ترتیب ۵۹/۵۳ و ۴۶/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در مقایسه با سامانه باز، سامانه بسته ۱۳/۵ کیلوگرم میوه بیشتر به ازای هر متر مکعب آب تولید کرد، در حالی‌که به ازای هر کیلوگرم میوه تولید شده، ۱۰/۳۱ کیلوگرم کود کمتر مصرف شد و راندمان مصرف آب و کود در سامانه بسته به ترتیب ۲۲/۶۸ و ۲۲/۶۹٪ بیشتر از سامانه باز بود.

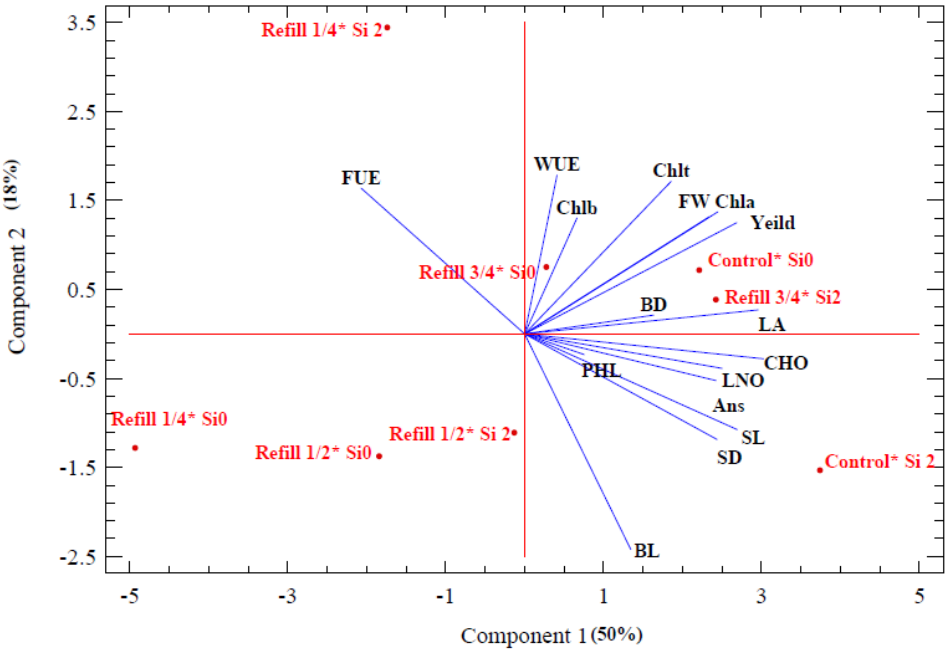



**شکل ۶- برهمکنش غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیوم بر عملکرد، کارایی مصرف آب و کود. حروف یکسان با توجه به آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.**

**Figure 6- Interaction of different concentrations of refill nutrient solution and Nano- silica foliar application on production, water and fertilizer use efficiency. Means with the same letters are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% level.**

به منظور افتراق اثرات غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانوسیلیسیم و صفات اندازه‌گیری شده تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد که در نتیجه دو مؤلفه مستقل شناسایی شد که در مجموع ۶۸٪ از نتایج صفات را در این پژوهش توجیه کردند. مؤلفه یک (PC1) همبستگی مثبت قوی با ویژگی‌های کیفی گل‌ها (طول و قطر غنچه و ساقه، تعداد و سطح برگ)، ویژگی‌های فیزیولوژیک (سبزینه، آنتوسیانین، کربوهیدرات و عمر پس از برداشت)، عملکرد و کارایی مصرف آب نشان داد. مؤلفه دوم (PC2) همبستگی مثبت با کارایی مصرف آب و کود، عملکرد، سبزینه، وزن تر، سطح برگ و قطر غنچه نشان داد. جداسازی متغیرها با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که تیمارهای شاهد و غلظت سه‌چهارم با و بدون کاربرد نانوسیلیسیم بر صفات کمی، کیفی و کاریی مصرف آب بیشترین تأثیر را داشتند در حالی‌که کارایی مصرف کود تحت تأثیر تیمار یک‌چهارم همراه با کاربرد نانوسیلیسیم واقع شد (شکل ۷).

۱- *Capsicum annuum* L.




شکل ۷- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای برخی صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، طول عمر پس از برداشت و کارایی مصرف آب و کود گل رز 'Samurai' بریدنی تحت تیمار غلظت‌های مختلف محلول پرکننده و محلول‌پاشی نانو با سیلیسیوم در محیط کشت بسته. SL: طول ساقه، SD: قطر ساقه، BL: طول غنچه، BD: قطر غنچه، FW: وزن تر ساقه ۵۰ سانتی‌متری، LNO: تعداد برگ، LA: سطح برگ، Chla: سبزینه a، Chlb: سبزینه b، Chlt: سبزینه کل، Ans: آنتوسیانین، CHO:کربوهیدرات، PHL: طول عمر پس از برداشت، Yield: عملکرد، FUE: کارایی مصررف کود، WUE: کارایی مصرف آب.

**Figure 7- Principal component analysis (PCA) for some physiological and morphological traits, postharvest longevity, and water and fertilizer use efficiency of cut 'Samurai' rose under different concentrations of refill nutrient solution and Nano-silica foliar application in a closed system. SL: stem length, SD: stem diameter, BL: bud length, BD: bud diameter, FW: fresh weight of 50 cm stem, LNO: leaf number, LA: leaf area, Chla: chlorophyll a, Chlb: chlorophyll b, Chlt: Total chlorophyll, Ans: anthocyanin, CHO: carbohydrate, PHL: postharvest longevity, yield, FUE: fertilizer use efficiency, WUE: water use efficiency.**

**جدول ۶- ارزیابی تأثیر غلظت محلول پرکننده در دو سطح کاربرد نانوسیلیسیم بر کیفیت*، عملکرد و کارایی مصرف آب و کود** رز بریدنی رقم 'Samurai' با استفاده از مقیاس عددی. روشی که دارای بالاترین امتیاز باشد کیفیت و بازده کلی بالاتری دارد.**

**Table 6- Evaluation of the effect of refill nutrient solution concentration at two levels of nanosilica application on the quality*, yield and water and fertilizer use efficiency** of cut rose 'Samurai' cultivar using a numerical scale. The method with the highest score has a higher overall quality and efficiency.**

| غلظت محلول پرکننده Refill nutrient solution concentration | طول غنچه Bud length | قطر غنچه Bud diameter | طول ساقه Stem length | عملکرد yield | عمر گلجایی Vase life | کارایی مصرف کود Fertilizer use efficiency | کارایی مصرف آب Water use efficiency | مجموع Sum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **نانوسیلیسیم (۰ میلی‌گرم در لیتر) Nano-silica (0 $mgL^{-1}$)** | | | | | | | | |
| Full strength | 7 | 10 | 9 | 9 | 9 | 1 | 1 | **46** |
| $^3/_4$ | 7 | 10 | 9 | 8 | 1 | 4 | 9 | **48** |
| $^1/_2$ | 8 | 10 | 9 | 2 | 6 | 5 | 3 | **43** |
| $^1/_4$ | 8 | 8 | 8 | 1 | 8 | 9 | 1 | **43** |
| **نانوسیلیسیم (۲ میلی‌گرم در لیتر) Nano-silica (2 $mgL^{-1}$)** | | | | | | | | |
| Full strength | 8 | 9 | 10 | 9 | 8 | 1 | 1 | **46** |
| $^3/_4$ | 8 | 9 | 10 | 6 | 5 | 4 | 9 | **51** |
| $^1/_2$ | 8 | 9 | 9 | 1 | 9 | 4 | 4 | **44** |
| $^1/_4$ | 6 | 9 | 8 | 5 | 1 | 9 | 7 | **46** |

* کیفیت گل‌ها (طول و قطر غنچه و طول ساقه) به صورت مقایسه‌ای از ۱ تا ۱۰ بر اساس جدول استاندارد تولید کننده (Jafari, 2019) امتیازدهی شد.

** عملکرد و کارایی مصرف آب و کود با استفاده از مقیاس ۱ تا ۹ امتیازدهی شد. ۱ نشان دهنده پایین‌ترین عملکرد و راندمان، ۶ نشان دهنده عملکرد و راندمان قابل قبول و ۹ بالاترین عملکرد و راندمان را نشان می‌دهد.

* Flower quality (bud length, diameter, and stem length) was scored based on the producer's standard table from 1 to 10 (Jaafari, 2019).

** Production, water, and fertilizer use efficiency were scored on a 1-9 scale, where 1 represented the lowest quality, 6 indicated acceptable quality, and 9 indicated the highest quality.

## نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که استفاده از سامانه بسته در کشت رز بریدنی سبب افزایش کارایی مصرف آب و کود به مقدار قابل‌توجه در مقایسه با سامانه باز که به‌طور رایج در گلخانه‌های کشور استفاده می‌شود، شده و به دلیل کاهش مصرف آب و کود از نظر اقتصادی به‌صرفه‌تر می‌باشد. همچنین همان‌طور که در جدول شش نشان داده شده استفاده از محلول پرکننده با غلظت سه‌چهارم با یا بدون استفاده از نانوسیلیسیم نه تنها تأثیر منفی بر کیفیت و عملکرد محصول تولیدی نداشته بلکه با افزایش کارایی مصرف آب و کود نسبت به سامانه باز می‌تواند به عنوان روش جایگزین روش‌های رایج کشت در گلخانه‌ها توصیه شود.

## منابع

Ahrar, M., Delshad, M., Babalar, M. (2009). Improving water/fertilizer use efficiency of hydroponically cultured greenhouse cucumber by grafting and hydrogel amendment. *Journal of Horticultural Sciences 23*, 69-77. (In Persian).

Anser, A., Basra, S. M. A., Hussain, S., Iqbal, J. (2012). Salt stress alleviation in field crops through nutritional supplementation of silica. *Pakistan Journal of Nutrition*, *11*, 637-655.

Bayat, H., Alirezaie, M., Neamati, H., Abdollahi Saadabad, A. (2013). Effect of silica on growth and ornamental traits of salt-stressed calendula (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Ornamental Plants*, *3*, 207-214.

Bugbee, B. (2004). Nutrient management in recirculating hydroponic culture. *Acta Horticulturae*, *648*, 99-112.

Burman, R. D., Nixon, P. R., Wright, J. L., Pruitt, W. O. (1981). Crop Water Requirements. In: Design and Operation of Farm Irrigation System. M. E. Jensen (ed.). American Society of Agricultural Engineers Monograph No. 3. ASAE, St. Joseph, MI, USA.

Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F., Pardossi, A. (2005). Modeling salinity build-up in recirculation nutrient solution culture. *Journal of Plant Nutrition*, *28*, 431-445.

Cabrera, R. I., Evans, R. Y., Paul, J. L. (1993). Leaching losses of nitrogen from container-grown roses. *Scientia Horticulturae*, *53*, 333-345.

Cardarelli, M., Rouphael, Y., Elvira, R., Salerno, A., Colla, G. (2010). Nutrient solution concentration and growing season affect growth and quality of potted petunia in a recirculating subirrigation and drip-irrigation system. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, *8*, 312-320.

Carvalho-Zanão, M. P., Zanao Junior, L. A., Barbosa, J. G., Groosi, J. A. S., Avila, V. T. (2012). Yield and shelf life of chrysanthemum in response to the silica application. *Horticultura Brasileira*, *30*, 403-408.

Chen, J., Caldwell, R. D., Robinson, C. A., Steinkamp, B. (2000). Differential responses of container-grown ornamental foliage plants to silica application. *HortScience*, *35*, 458.

Dasgan, H. Y., Ekici, B. (2005). Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water use of tomato plants. *Acta Horticulturae*, *697*, 399-408.

De Kreij, C., Voogt, W., Baas, R. (1999). Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG), Naaldwijk, The Netherlands, Brochure 196.

De la Rosa-Rodriguez, R.; Lara-Herrera, A.; Trejo-Tellez, L. I.; Padilla-Bernal, L. E.; Solis-Sanchez, L.O.; Ortiz-Rodriguez, J. M. (2020). Water and fertilizer use efficiency in two hydroponic systems for tomato production. *Horticultura Brasileira*, *38*, 47-52.

Dhakal, U., Salokhe, V., Tantau, H., Max, J. (2005). Development of a greenhouse nutrient recycling system for tomato production in humid tropics (online). *CIGR E Journal*, *7*, http://ecommons.library.cornell.edu/bitstream/1813/10429/1/BC%2005%20008%20Salokhe%20final%206Dec 2005.pdf; consulted: October, 2012.

El-Serafy, R. S. (2019). Silica nanoparticles enhances physio-biochemical characters and postharvest quality of *Rosa hybrida* L. cut flowers. *Journal of Horticultural Research, 27, 47-54.*

Fanourakis, D., Heuvelink, E., Carvalho, S. M. (2013). A comprehensive analysis of the physiological and anatomical components involved in higher water loss rates after leaf development at high humidity. *Journal of Plant Physiology*, *170*, 890–898.

Gorbe Sánchez, E. (2009). Study of nutrient solution management in soilless rose cultivation, through the analysis of physiological parameters and nutrient absorption. PhD Thesis, Universidad Politécnica de Valencia, Spain.

Hwang, S. J., Hamayun, M., Kim, H. Y., Na, C. I., Kim, K. U., Shin, D. H., Kim, S.Y., Lee, I. J. (2008). Effect of nitrogen and silica nutrition on bioactive gibberellin and growth of rice under field conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology, 10,* 281-286.

Ichimura, K., Kojima, K., Goto, R. (1999). Effects of temperature, 8-hydroxyquinoline sulfate and sucrose on the vase life of cut rose flowers. *Postharvest Biology and Technology*, *15*, 33-40.

Jafari, S. (2019). The effect of different regimes of supplementary light-emitting diodes (LED) on physiological and morphological characteristics of cut rose cv. “Dolcevita” and “Allstar”. Msc. thesis, Isfahan University of Technology, Iran. (in Persian).

Jalilzadeh, E., Jabbarzadeh, Z., Norouzi, P. (2018). Effect of foliar application with different sources and concentrations of silica on some morphological and physiological characteristics of rose cv. Beverly Watson. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *9*, 65-77. (In Persian).

Khodaverdizadeh M, Mohammadi, M., Miri, D. (2019). Estimation of technical efficiency of wheat production with emphasis on sustainable agriculture in Urmia County. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*, 233-245. (In Persian).

Locke, E. L. (2010). Extending cut flower vase life by optimizing carbohydrate status: preharvest conditions and preservative solution. PhD thesis, North Carolina State University.

Lopez, J., Santos-Perez, J., Lozano-Trejo, S., Urrestarazu, M. (2003). Mineral nutrition and productivity of hydroponically grown tomatoes in relation to nutrient solution recycling. *Acta Horticulturae, 609*, 219-223.

Ma, J. F., Takahashi, E. (2002). Soil, Fertilizer and Plant Silica Research in Japan. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Mamrashpour, O., Nazarideljou, M. J. (2019). Vase life and physiological reaction of oriental lilium 'Casa Blanca' to silica as a quasi-essential element under soilless cultivation system. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*, 141-150. (In Persian).

Mercurio, G., 2007. Cut Rose Cultivation Around the World. Schreurs Netherlands. 249 p.

Miller, A., Adhikari, R., Nemali, K. (2020). Recycling nutrient solution can reduce growth due to nutrient deficiencies in hydroponic production. *Frontiers in Plant Science, 11, 607-643.* doi: 10.3389/fpls.2020.607643.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani, P., Beheshti, A. R. (2007). *Agroecology*. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran, 459 p. (In Persian).

O'Donoghue, E. M., Somerfield, S. D., Heyes, J. A. (2002). Vase solutions containing sucrose result in changes to cell walls of sandersonia (*Sandersonia aurantica*) flowers. *Postharvest Biology and Technology*, *26*, 285-294.

Olympios, C. M. (1992). Soilless media under protected cultivation, rock wool, peat, perlite and other substrates. *Acta Horticulturae, 323,* 215-234.

Pun, U. K., Ichimura, K. (2003). Role of sugars in senescence and biosynthesis of ethylene in cut flowers. *Japan Agricultural Research Quarterly*, *37*, 219-224.

Raviv, M., Krasnovski, A., Medina, S., Reuveni, R. (1998). Assessment of various control strategies for recirculation of greenhouse effluents under semi-arid conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *73*, 485–491.

Raviv, M., Reuveni, R., Krasnovsky, A., Medina, Sh. (1995). Recirculation of rose drainage water under semi-arid conditions. *Acta Horticulturae*, *401*, 427-434

Rezaei, S., Zarei, H., Nikbakht, A., Sabzalian, M. R. (2023). Supplementary top LED lighting improved physiological parameters and the postharvest life of cut rose flowers. *Journal of Plant Growth Regulation, 43,* 1-13.

Rouphael, Y., Raimondi, G., Caputo, R., De Pascale, S. (2016). Fertigation Strategies for improving water use efficiency and limiting nutrient loss in soilless Hippeastrum production. *HortScience, 51,* 684–689.

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Colla, G. (2008). The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Scientia Horticulturae, 118,* 328-337.

Saki, Z., Danaee, E. (2015). Effect of silicium salts spray on physiological and enzymatic traits in Rosa hybrids cv. grand prix. *Iranian Journal of Plant and Biotechnology*, *10*, 13-20. (In Persian).

Samarakoon, U. C., Weerasighe, P. A., Weerakodi, A. P. (2006). Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth, and yield of leafy lettuce in stationary culture. *Tropical Agricultural Research*, *18*, 13-21.

Savvas, D. (2002). Automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydroponics by means of two alternative models. *Biosystems Engineering*, *83*, 225-236.

Savvas, D., Gizas, G. (2002). Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. *Scientia Horticulturae*, *96*, 267-280.

Savvas, D., Gizas, G., Karras, G., Lydakis-Simantiris, N., Salahas, G., Papadimitriou, M., Tsouka, N. (2007). Interactions between silica and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. *European Journal of Horticultural Science*, *72*, 73-79.

Sayed, Y., Fadl, M. (2021). Agricultural sustainability evaluation of the new reclaimed soils at Dairut area, Assiut, Egypt using GIS modeling. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.002.

Shaabani, M. K., Honar, T. (2008). Determining the optimal cropping patterns of farmlands using irrigation planning model (IPM). *Journal of Water and Soil*, *22*, 95-106. (In Persian).

Siddiqi M. Y., Kronzucker, H. J., Britto, D. T., Glass, A. D. M. (1998). Growth of a tomato crop at reduced nutrient concentrations as a strategy to limit eutrophication. *Journal of Plant Nutrition*, *21*, 1879-1895.

Singh, A., Kumar, J., Kumar, P. (2008). Effect of plant growth regulators and sucrose on postharvest physiology, membrane stability and vase life of cut spikes of Gladiolus. *Journal of Plant Growth Regulation*, *55*, 221.

Sivanesan, I., Moon, S. S., Song, J. Y., Jeong, B. R. (2013). Silica supply through the subirrigation system affects growth of three chrysanthemum cultivars. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *54*, 14-19.

Thaint Ko, M. (2013). Improvement of utilization efficiency and ion balance of recycled nutrient solution in closed soilless culture of paprika (*Capsicum annuum* L.). PhD thesis, Seoul National University, South Korea.

Vasanthi, L. N., Saleena, M., Anthoni Raj, S. (2012). Silica in day-to-day life. *World Applied Sciences Journal*, *17*, 1425-1440.

Yeo, K., Choi, K. Y., Rhee, H. C., Choi, G. L., Lee, Y. (2016). Optimal levels of N, P, and K for the cultivation of single-stemmed roses in a closed hydroponic system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, *57*, 580-588.

Zaky, A. A. (2013). Effect of pre- and post-harvest treatments on flower longevity of cut rose cv. 'grand prix'. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, *91*, 1009-1021.

Zhao, D., Han, C., Tao, J., Wang, J., Hao, Z., Geng, Q., Du, B. (2012). Effects of inflorescence stem structure and cell wall components on the mechanical strength of inflorescence stem in herbaceous peony. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*, 4993-5009.

Zheng, Y., Graham, T., Richard, S., Dixon, M. (2004). Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *HortScience*, *39*,1283-1286.

Zheng, Y., Cayanan, D. F., Dixon, M. (2010). Optimum feeding nutrient solution concentration for greenhouse potted miniature rose production in a recirculating subirrigation system. *HortScience*, *45*, 1378–1383.

Flower and Ornamental Plants (2026), 11(1): 1-24
Research article

# Efficiency of a closed hydroponic system and nano-silica treatment in resource use, quality, and production of ‘Samurai’ roses

**Parvan Aghdak[1], Rahim barzegar[1*], Ali Nikbakht[2*], Hossein Shariatmadari[2], Sadegh Mousavi-fard[1], Alireza Alipour[4]**

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord
2- Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
3- Department of Soil Sciences, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
4- Department of Rural Development, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
✉ barzegar56@yahoo.com, anikbakht@iut.ac.ir
Received: 2024/07/25, Revised: 2025/07/19, Accepted: 2025/05/25

**Abstract**
Closed hydroponic systems are expanding because of increased water and fertilizer use efficiency. Because of Iran's limited water resources, investigating the feasibility of these systems is a research priority. To investigate the effect of different refill nutrient solution concentrations and nano silica foliar applications on the yield, quality, and resource use efficiency of a cut rose ‘Samurai’, a factorial experiment using a completely randomized design with 4 levels of refill nutrient solution concentrations (control or using a full-strength nutrient solution in an open system, three quarters, one second, and one quarter) and two levels of nano silica (zero and 2 mg/L) was carried out. In recirculation treatments, the drained solution was collected from the beds for each treatment and returned to the main tank; then, to compensate for the decrease in water and nutrient volume, nutrient solutions at three-quarter, one-half, and one-fourth concentrations were used to refill. Four months after recirculation began, nano silica was applied via foliar spray at one-week intervals for 12 applications. The highest bud length, stem length and diameter, leaf number and area, and stem fresh weight were associated with the control and three-fourth refill nutrient solution treatments with nano silica. Total chlorophyll was highest in the control without nano silica. The control with nano silica foliar application had the highest carbohydrate content. Across all refill nutrient solution concentrations, nano silica increased carbohydrate levels compared with its absence. The control and three-quarter nano silica treatments also showed the highest postharvest longevity and yield. The three-quarter nano silica foliar treatment showed the highest water use efficiency. The one-quarter nano silica treatment showed the best fertilizer use efficiency. These results show that using a three-quarter concentration of the refill nutrient solution with nano silica foliar application can be a suitable alternative to conventional open cultivation in greenhouses, while maintaining flower quality and increasing water and fertilizer use efficiency.
**Keywords**: Greenhouse, Controlled production, Fertilizer, Resource-saving, Cut flower.