Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 52, No 1, Spring 2021 (171-182)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.289865.1727

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۰ (ص ۱۸۲-۱۷۱)

تأثیر کاربرد سیلیکات پتاسیم بر کارایی مصرف آب، خصوصیات عملکردی و عملکرد اسانس گیاه گل محمدی (*Rosa damascena* Miller) در شرایط تنش کمبود آب

حسین فراهانی[۱]، نورعلی ساجدی[۲*]، حمید مدنی[۲]، مهدی چنگیزی[۳] و محمدرضا نائینی[٤]
۱، ۲ و ۳. دانش آموخته دکتری، دانشیار و استادیار، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
٤. استادیار، بخش علوم باغی و زراعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱٦ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳)

چکیده

گل محمدی گیاهی چندساله و مقاوم به خشکی می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر سیلیکات پتاسیم بر خصوصیات کمی و اسانس گل محمدی در شرایط تنش کمبود آب، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مؤسسه زائر کریمه استان قم در سال ۱۳۹۷ انجام شد. کرت اصلی تنش کمبود آب در چهار سطح (۱۰۰ (بدون تنش)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) و کرت فرعی محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در هفت سطح (شاهد (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۲ و ۰/٤ درصد در بهار و تابستان به تنهایی و به صورت توأم) بودند. نتایج نشان داد تنش کمبود آب درصد اسانس را افزایش داد. آبیاری معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف آب را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۹۰ و ۳/۰۳ برابر افزایش داد. محلول‌پاشی با غلظت‌های متفاوت سیلیکات پتاسیم در شرایط مطلوب رطوبتی و در شرایط تنش، میزان سیلیس برگ را افزایش داد. بیشترین عملکرد اسانس از تیمار محلول‌پاشی ۰/۲ درصد سیلیکات پتاسیم در بهار توأم با تابستان در شرایط آبیاری ۲۵ درصد و همچنین از تیمار محلول‌پاشی ۰/٤ درصد سیلیکات پتاسیم در بهار توأم با تابستان در شرایط آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. نتایج نشان داد با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش کمبود به میزان ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه می‌توان کمیت و کیفیت گل محمدی را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: **خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد گل، محلول‌پاشی، مقدار سیلیس.**

Effect of potassium silicate on water use efficiency, quantitative traits and essential oil yield of damask rose (*Rosa damascena* Miller) under water deficit stress

Hossein Farahani[1], Nourali Sajedi[2*], Hamid Madani[2], Mehdi Changizi[3] and Mohammad Reza Naeini[4]
1, 2. 3. Ph.D. Candidate, Associate Professor and Assistant Professor, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran
4. Assistant Professor, Department of Horticulture and Agronomy Sciences, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
(Received: Oct. 08, 2019- Accepted: Jan. 13, 2020)

ABSTRACT

Damask rose is a perennial and drought- resistant plant. In order to envestigate effect of potassium silicate on quantitative traits and essential oil of damask rose (*Rosa damascena* Miller) under water- deficit stress, an experiment was carried out as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications at the Karimeh Zaer Farm, Qom province, Iran, in 2018. The main plot was water deficit stress at four levels (100 (without stress), 75, 50 and 25% of the plant water requirement) and the sub plot was spraying with potassium silicate at seven levels (without spraying, spraying with a concentration of 0.2 and 0.4% in the spring or summer alone or combination). The results showed that water deficit stress increased the essential oil percentage. Irrigation equivalent to 25, 50 and 75% the plant water requirement increased water use efficiency by 1.3, 1.9 and 3.3 times in comparison with the control, respectively. Foliar application with different rates of potassium silicate increased leaf silica rate under optimum and water deficit stress. The maximum of essential oil yield was recorded from foliar application of 0.2% of potassium silicate in the spraying along with summer under 25% f the plant water requirement and treatment of the foliar application of 0.4% of potassium silicate in the spraying along with summer under 50% the plant water requirement, respectively. Results showed that with foliar application of potassium silicate under water deficit stress equal to 50 and 25% the plant water requirement could increase quality and quantity damask rose.

Keywords: Foliar application, morphology traits. silica content, yield of flower.

* Corresponding author E-mail: n-sajedi@iau-arak.ac.ir

مقدمه

گل محمدی (*Rose damascene* Mill) از مهم‌ترین انواع گل‌های رز در دنیا و از مشهورترین گیاهان در تاریخ باغبانی ایران و یکی از گیاهان با ارزشی است که اصولاً به منظور تهیه گلاب در اغلب نقاط ایران کشت می‌گردد. این گل به علت داشتن رایحه فوق‌العاده و تنوع ارقام در بسیاری از مناطق دنیا کشت می‌شود (Sabeti, 2016). اسانس حاصل از گل محمدی در صنایع مختلف از قبیل عطرسازی، آرایشی و بهداشتی، غذایی، داروسازی و انواع خوشبوکننده‌های محیط استفاده می‌شود (Kovatcheva *et al*., 2005). برای مثال در سه ژنوتیپ مورد مطالعه در هندوستان شامل Algerian، Bourbon و Kelkar، میزان اسانس به ترتیب ۰/۳۲، ۰/۳۴ و ۰/۵۰ درصد گزارش شده است که بیشترین ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس در سه ژنوتیپ مورد مطالعه، آلفا پی نن (۱/۷درصد)، ترپی نن ۴-ال (۱/۳ درصد) و لینالول (۷/۶ درصد) گزارش شده است (Rao *et al*., 2000). البته با وجود مطالعات گسترده‌ای که در مورد تنش‌های محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی انجام شده است (Amiri Deh Ahmadi *et al*., 2014). اطلاعات در مورد واکنش گیاهان دارویی به تنش کمبود آب بسیار اندک است. تنش خشکی یکی از عوامل غیر زنده است که تولید محصولات کشاورزی را به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محدود کرده است (Amin *et al*., 2015). امروزه مشخص شده است تنش خشکی به عنوان مهمترین تنش غیرزیستی نقش مهمی در کاهش عملکرد گیاهان دارویی دارد (Jafarzadeh *et al*., 2010).

یکی از راه‌کارهای کاهش اثر زیان‌بار تنش خشکی، استفاده از روش‌های صحیح تغذیه معدنی گیاهان است که نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش عملکرد دارد. در همین ارتباط نقش برخی عناصر نظیر سیلیکون مورد توجه برخی متخصصین تغذیه گیاهی قرار گرفته است (Kamenidou *et al*., 2008; Torabi *et al*., 2014). سیلیکون یا سیلیس یکی از معدود عناصری است که باعث القاء مقاومت به انواع تنش‌ها در گیاهان می‌شود (Gengmao *et al*., 2015). سیلیکون از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و بالا رفتن محتوای اسمولیت سلولی، نقش مهمی در ایجاد تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده در گیاهان ایفا می‌کند (Liang *et al*., 2007; Ma & Yamaji, 2006). به نظر می‌رسد سیلیکون در شرایط تنش‌زا در گیاهان باعث افزایش مقاومت غشای سلول در برابر اکسیداسیون و تنظیم پتانسیل اسمزی در داخل سلول می‌شود و از این طریق منجر به حفاظت ساختار گیاه تحت شرایط خشکی می‌گردد (Epstein & Bloum, 2005). سیلیکون علاوه بر کاهش اثر تنش‌های زیستی و غیرزیستی موجب کاهش تبخیر و تعرق و افزایش کارایی فتوسنتزی شده و از نظر مورفولوژیکی نیز موجب افزایش قطر ساقه، سطح برگ و قطر گل می‌گردد (Fauteux *et al*., 2005).

سیلیسیوم باعث بهبود تعادل آب سلولی، افزایش استحکام دیواره در بافت اپیدرمی، بهبود فتوسنتز، تغذیه و افزایش مقاومت گیاه در برابر کم آبی و گرما می‌شود (Kaya *et al*., 2007). همچنین سیلیسیوم در رشد و افزایش ارتفاع گیاهان مختلف نقش مهمی ایفا می‌کند (Amiri *et al*., 2014,). گزارش شده است که کاربرد سیلیکات پتاسیم در محلول غذایی در رقم رز مینیاتوری پینوکیو، کیفیت و عملکرد را افزایش داده و کاربرد آن به صورت محلول‌پاشی و استفاده از آن در محلول‌های غذایی سبب افزایش قطر گل و اثر مثبت بر رشد و کیفیت آن می‌شود (Hwang *et al*., 2005). در آزمایشی که Kaya *et al* (2007) روی گیاه ذرت انجام دادند نشان دادند تحت شرایط تنش کمبود آب، وزن تازه و خشک گیاه و محتوای کلروفیل کاهش یافت و کاربرد سیلیسیوم در این شرایط منجر به افزایش این شاخص‌ها گردید و رشد گیاه و مقدار تولید بیوماس را افزایش داد. جذب سیلیسیوم به‌وسیله گیاه اثرات مفیدی مانند تحمل به اغلب استرس‌های غیر زنده (Liang, 1999) و بهبود کیفیت و عملکرد محصول را به همراه دارد (Kamenicou *et al*., 2010). کمبود سیلیسیوم در گیاه گوجه فرنگی باعث بدشکلی برگ‌ها، توقف رشد و گرده افشانی ضعیف می‌شود (Matichenkov & Calvert, 1999). یا در گیاهانی مثل ژربرا و آفتابگردان زینتی، سیلیسیوم باعث افزایش برخی خصوصیات کیفی گیاه مانند قطرگل، طول و قطر ساقه گل دهنده و سرعت گلدهی می‌شود

(Kamenicou *et al.*, 2010). در مطالعه اثر محلول‌پاشی سیلیسیوم بر صفات مورفولوژیکی گل رز گزارش شده است که اثر سیلیسیوم در غلظت‌های ۲۵ و۵۰ میلی‌گرم در لیتر بر وزن تر گل رز در سطح یک درصد معنی‌دار بود (Saki & Danaee, 2014). با به کاربر بردن محلول دو میلی‌مولار سیلیسیوم در گیاه ریحان در شرایط تنش خشکی، نه تنها رشد گیاه بهبود یافت، بلکه در شرایط تنش شدید میزان اسانس افزایش یافت (Mohammadnia *et al.*, 2018). بنابراین با توجه به اهمیت گل محمدی به عنوان یک گیاه بوته‌ای نسبتاً متحمل به شرایط کمبود آب، هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر کاربرد سیلیکات پتاسیم برکارایی مصرف آب و برخی خصوصیات کمی و کیفی گل محمدی در شرایط تنش کمبود آب بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سیلیکات پتاسیم بر خصوصیات مرفولوژیکی، میزان سیلیس و درصد اسانس گل محمدی در شرایط تنش کمبود آب، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مؤسسه زائر کریمه استان قم با موقعیت جغرافیایی '۳۰ °۵۰ طول شرقی و عرض جغرافیایی '۵۰ °۳۴ شمالی و ارتفاع ۹۴۰ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۷ اجرا گردید. میانگین سالانه بارندگی منطقه ۱۵۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۲۴ درجه سلسیوس می‌باشد. جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش را نشان می‌دهد.

عوامل مورد بررسی شامل تنش کمبود آب در چهار سطح شاهد ۱۰۰ (عدم تنش)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در هفت سطح شامل عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۲ درصد در بهار، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۴ درصد در بهار و تابستان، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۴ درصد توأم در بهار و تابستان، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۲درصد در تابستان و محلول‌پاشی با غلظت ۰/۴درصد در تابستان به عنوان عامل فرعی بودند.

این تحقیق بر روی درختچه‌های باغ گل محمدی ۴ ساله اجرا شد. هر کرت آزمایشی شامل یک ردیف و ۵ بوته با فاصله بین بوته در روی ردیف ۲ متر در نظر گرفته شد. فاصله بین تکرارها یا ردیف ها ۴ متر در نظر گرفته شد. کلیه نمونه‌برداری‌ها از ۵ درختچه‌ها انجام گرفت. روش آبیاری به صورت سیستم قطره‌ای و اعمال تنش کمبود آب با استفاده از تنظیم شیرهای نصب شده در ابتدای هر نوار آبیاری انجام شد.

برآورد نیاز آبی گل محمدی و تبخیر و تعرق در منطقه از طریق گزارش ۵۶ فائو و نرم‌افزار کراپ وات (Barzegari & Malekinezhad, 2016; Bidabadi *et al.*, 2013) محاسبه شد. برای محاسبه تبخیر وتعرق گل محمدی از رابطه (۱) استفاده شد (Sharifi Ashoorabadi *et al.*, 2015).

$$ETc=ETo \times Kc \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه Eto: تبخیر وتعرق گیاه مرجع (یونجه) بر اساس روش استاندارد فائو، Kc: ضریب گیاهی گل محمدی(در هر مرحله رشد)، ETc: تبخیر وتعرق گیاه اصلی (گل محمدی) براساس میلی‌متر بر روز می‌باشد. پس از محاسبه مقادیر ETc با اعمال ضرایب گیاهی در هر دوره رشد وجمع تبخیر و تعرق روزانه دوره فعالیت گیاه (۲۳۰ روز) و بر اساس داده‌های هواشناسی ومشخصات خاک وگیاه وفواصل کاشت با احتساب آب مورد نیاز برای آبشویی و مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری، نیاز آبی گل محمدی به میزان ۴۵۰۰ متر مکعب در هکتار طبق نرم افزار کراپ وات تعیین گردید.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physical and chemical soil properties of the experimental site

Soil depth (cm)	EC (dS m^{-1})	pH	Absorption available P (mg kg^{-1})	Absorption available K (mg kg^{-1})	N (%)	Absorption available Si (mg kg^{-1})	OC (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
0-30	1.2	7.9	17	225	0.07	0.07	0.71	36	46	20

EC: Electrical conductivity, OC: organic carbon

EC: هدایت الکتریکی، OC: کربن آلی

برای محاسبه حجم ناخالص آب مورد نیاز در هر دور آبیاری از روابط زیر استفاده گردید (Alizadeh, 2011).

رابطه ۲) $V=Ig\times Sp\times Sr$

V: حجم ناخالص آبیاری برحسب لیتر، Ig: نیاز ناخالص آبیاری، Sp: فاصله بین ردیف، Sr: فاصله روی ردیف.

رابطه ۳) $Ig=In/Ea$

In: نیاز خالص آبیاری برحسب میلی‌متر

Ea: راندمان آبیاری

رابطه ۴) $In=F\times Td$

F: دور آبیاری

Td: حداکثر تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز)

پس از محاسبه حجم ناخالص آبیاری (۱۲۶/۵ لیتر) برای هر دورآبیاری، برآورد مدت زمان آبیاری کامل درختچه‌ها براساس رابطه (۵) محاسبه شد (Alizadeh, 2011).

رابطه ۵) $t=v/nq$

V: حجم ناخالص آبیاری برحسب لیتر

n: تعداد قطره‌چکان (چهار عدد)

q: دبی قطره چکان‌ها برحسب لیتر در ساعت

با توجه به محاسبات فوق، در هر دوره آبیاری، مدت زمان آبیاری برای تیمار آبیاری کامل (۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه) چهار ساعت، برای تیمار ۷۵٪ نیاز آبی گیاه سه ساعت، برای تیمار ۵۰٪ نیاز آبی گیاه، دو ساعت و برای تیمار ۲۵٪ نیاز آبی گیاه، آبیاری به مدت یک ساعت محاسبه شد. آبیاری از مرحله بعد از برداشت محصول تا برداشت محصول سال بعد در مدت یک سال با کنترل کنتورهای حجمی به صورت تجمعی اعمال و محاسبه گردید. در نهایت میزان حجم آب مورد نیاز تیمار شاهد برابر با۴۵۰۰ مترمکعب، تیمار۷۵٪ نیاز آبی برابر ۳۳۷۵متر مکعب، تیمار۵۰٪ نیاز آبی برابر۲۲۵۰مترمکعب و تیمار۲۵٪ نیاز آبی برابر۱۱۲۵متر مکعب در هکتار ثبت شد.

تیمار محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ یا ۰/۴ درصد طی دو مرحله، در فصل بهار دراول فروردین ماه با فاصله ۱۵ روز پس از کامل شدن برگ‌ها و در فصل تابستان سال قبل در اول تیرماه همزمان با شروع گرما به‌طور کامل بر روی کل قسمت‌های هوایی بوته‌ها انجام گرفت. سیلیکات پتاسیم مورد استفاده محصول شرکت بنیز تجهیز ایران است که شامل ۲۰ درصد SiO_2، ۱۰ درصد K_2O و ۵ درصد اسید آلی می‌باشد.

برای تعیین عملکرد کل گل‌ها به طور روزانه تمامی گل‌های باز شده در طی دوره زمانی اول تا آخر اردیبهشت ماه از تمام ۵ درختچه موجود در هر کرت، در ساعات اولیه صبح به طور کامل برداشت و وزن کل به صورت تجمعی با ترازوی دیجیتالی و با دقت یک صدم گرم روزانه توزین و حاصل جمع آن در طول ۳۱ روز به‌عنوان عملکرد کل بوته‌ها ثبت گردید (Celiekel *et al.*, 2002). همچنین متوسط وزن تر گل‌ها از میانگین روزانه برداشت تعداد۱۷۵۰عددگل در طی یک هفته در اوج گلدهی (اواسط برداشت) توسط ترازوی دیجیتال بدست آمد. برای تعیین وزن خشک گل، پس از حذف جام گل و قراردادن گلبرگ‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق، اقدام به توزین گلبرگ‌های خشک شده گردید (Omidbeigi & Rezaei nejad, 2001). برای سنجش متوسط قطر گل‌ها در اوج گل‌دهی از روش نمونه‌برداری غیرتخریبی از هر بوته ۵۰ عدد گل و در مجموع ۲۵۰ عدد گل به صورت روزانه در ساعات اولیه صبح و در طول یک دوره زمانی یک هفته‌ای (در مجموع۱۷۵۰ گل) با استفاده از کولیس اندازه‌گیری و میانگین آن به عنوان قطر گل بر حسب سانتی‌متر ثبت گردید. طول دوره گلدهی بر حسب تعداد روز از زمان ابتدای گلدهی در هر کرت که شامل ظهور سه عدد گل کامل بود آغاز و تا پایان دوره گلدهی در هر بوته محاسبه شد.

به منظور تعیین میزان سیلیسیوم موجود در برگ گل محمدی، ابتدا برگ‌های بالغ با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و سپس با آب مقطر شسته شدند. سپس این نمونه‌ها در آون با دمای ۵۵ درجه سیلسیوس به مدت ۳ روز خشک شد. به ۰/۱ گرم از بافت خشک و آسیاب شده ۵ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم یک مولار اضافه شد. سپس فالکون‌ها حاوی این محلول به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو قرار گرفت و بعد از سرد شدن در دمای اتاق، دو میلی‌متر آب اکسیژنه به هر نمونه اضافه و مجدداً

به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو قرار داده شدند. بعد از سرد شدن، ۴۳ میلی‌لیتر آب مقطر، ۰/۲۵ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک، آب مقطر (۱:۱) و نیم میلی‌لیتر مولیبدات آمونیم اضافه و به مدت ۳ دقیقه روی شیکر قرار داده شد. در نهایت مقدار جذب نمونه‌ها پس از افزودن ۰/۷ میلی‌لیتر بیوسولفات سدیم به آنها در طول موج ۶۵۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و درصد سیلیسیوم بافت برگ بر اساس منحنی استاندارد سیلیسیوم محاسبه گردید (Snyder Elliot, 1991). استخراج اسانس موجود در گلبرگ‌های گل‌محمدی با روش تقطیر با آب در مدت سه ساعت با دستگاه کلونجر انجام شد. برای این منظور از هر کرت ۶۰۰ گرم گلبرگ تازه مورد استفاده قرار گرفت. درصد اسانس بر اساس مقدار اسانس در۱۰۰ گرم وزن تازه گلبرگ‌ها محاسبه و ثبت شد و عملکرد اسانس از حاصل ضرب عملکرد وزن گل در درصد اسانس به‌دست آمد (Layeghhaghighi *et al.*, 2016). کارایی مصرف آب مشخص کننده میزان ماده تولیدی به ازای میزان آب مصرفی گیاه است که در این آزمایش با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (Burman *et al.*, 1981; Greaves & Wang., 2017).

رابطه ۶)

$$\text{کارایی مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد گل (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{حجم آب آبیاری (مترمکعب)}}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک گلبرگ

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد با وجود این‌که اثر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر وزن خشک گلبرگ معنی‌دار نبود ولی تیمارها در گروه‌های آماری مختلف قرار گرفتند. محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴درصد توأم در بهاره و تابستانه موجب افزایش وزن خشک و تر گلبرگ نسبت به شاهد به میزان ۶/۹ و ۱۲/۹درصد شد (جدول ۲). با وجود این‌که اثر تنش کمبود آب بر وزن تر گلبرگ معنی‌دار نبود ولی تیمارها در گروه‌های مختلف قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج این بررسی نشان داد با اعمال تنش کمبود آب وزن تر گلبرگ‌ها به میزان ۴ درصد کاهش یافت (جدول ۲).

گزارش شده است که در شرایط تنش آبی وزن تر و خشک گل‌های چیده‌شده و شاخه‌های گل‌دار بریدنی کل رز ۳۳ درصد بالاتر و تعداد شاخه‌های برداشت‌شده ۲۸ درصد افزایش یافت. همچنین در آبیاری با دور طولانی، راندمان مصرف آب افزایش می‌یابد (Katsoulas *et al.*, 2006). بررسی اثرات متقابل تیمارها نشان داد در شرایط تنش آبیاری معادل ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۴ درصد توأم در بهاره و تابستانه نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) در همان شرایط آبیاری، وزن خشک گلبرگ را تا ۱۳/۳ درصد افزایش داد. همچنین در شرایط تنش آبیاری معادل۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۴ درصد توأم در بهاره و تابستانه نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) در همان شرایط آبیاری، وزن تر گلبرگ را ۱۸/۳درصد افزایش داد (جدول ۴). نتایج این تحقیق همسو با نتایج آزمایش Saki & Danaie (2014) در تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم بر وزن تر گل رز می‌باشد.

نسبت وزن گلبرگ به گل و وزن گل

نتایج اثرات متقابل تیمارهای تنش کمبود آب و محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری معادل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نشان داد، که محلول‌پاشی باعث افزایش نسبت وزن گلبرگ به کل گل در مقایسه با تیمار شاهد گردید (جدول‌های ۳ و ۴).

مقایسه میانگین وزن گل‌ها نشان داد محلول‌پاشی با مقادیر مختلف سیلیکات پتاسیم در زمان‌های مختلف وزن گل را افزایش داد. با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت۰/۲ و ۰/۴ درصد توأم در بهار و تابستان وزن کل گل به ترتیب به میزان ۷/۱۸ و ۸/۴۹ درصد افزایش یافت (جدول ۲). اثر متقابل تیمارها نشان داد در شرایط مطلوب رطوبتی، محلول‌پاشی با مقادیر مختلف سیلیکات پتاسیم در زمان‌های مختلف تأثیری بر وزن کل گل نداشت ولی در شرایط تنش آبیاری معادل ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، محلول‌پاشی با مقادیر مختلف سیلیکات پتاسیم در زمان‌های مختلف، وزن کل گل در هر سطحی از تنش نسبت به شاهد افزایش یافت

(جدول‌های ۳ و ۴). یکی از عوامل موثر بر تغییرات وزن تازه گل، حفظ محتوای آب در گیاه است. تجمع سیلیسیوم به صورت یک لایه با ضخامت یک تا دو نانومتر در زیر اپیدرم و تشکیل لایه‌ای مضاعف، تشکیل سیلیکا کوتیکول می‌دهد که موجب مهار آب در سلول می‌شود. این ناحیه به عنوان یک سد عمل کرده و مانع تعرق کوتیکولی می‌شود (Liang *et al.*, 2015). سیلیسیوم همچنین در اطراف سلول‌های نگهبان روزنه و در دیواره سلولی این سلول‌ها رسوب می‌کند و مانع باز شدن کامل روزنه‌ها می‌شود و از این طریق تعرق روزنه‌ای را نیز کاهش داده و باعث حفظ آب گیاه و افزایش وزن تر برگ و گل می‌شود (Gao *et al.*, 2005).

قطر گل

نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش کمبود آب، قطر گل کاهش یافت و در تنش کمبود آب با تأمین ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، میزان قطر گل‌ها نسبت به شاهد ۱۶/۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲).

با وجود این‌که اثر متقابل تیمارها بر قطر گل معنی‌دار نشد، ولی تیمارها در گروه‌های مختلف قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد، بیشترین میزان قطر گل از تیمار آبیاری معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه توأم با محلول‌پاشی با غلظت ۰/۲ درصد سیلیکات پتاسیم در بهار توأم با تابستان و کمترین مقدار قطر گل از تیمار آبیاری معادل ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه و محلول‌پاشی باغلظت‌های ۰/۲ یا ۰/۴ درصد در تابستان حاصل شد (جدول‌های ۳ و ۴). نتایج این تحقیق با نتایج Saki & Danaie (2014) که بیان نمودند تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در دو سطح ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر قطر گل رز معنی‌دار شد، مطابقت ندارد.

میزان سیلیس برگ

نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد با محلول‌پاشی مقادیر مختلف سیلیکات پتاسیم در زمان‌های مختلف به تنهایی یا به‌صورت ترکیبی، میزان سیلیس برگ نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد. محلول‌پاشی با غلظت ۰/۲ یا ۰/۴ درصد در بهار، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۲ یا ۰/۴ درصد در تابستان، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۲ درصد توأم در بهار و تابستان و همچنین محلول‌پاشی با غلظت ۰/۴ درصد توأم در بهار و تابستان درصد سیلیس برگ را نسبت به شاهد به ترتیب ۶۰/۸، ۹۱/۲، ۶۵/۶، ۱۱۱/۷، ۱۲۴و ۲۱۵درصد افزایش داد (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تنش کمبود آب و سیلیکات پتاسیم بر برخی صفات کمی و کیفی گل محمدی.

Table 2. Mean comparison effect of water deficit stress and PS on qualitative and quantitative traits of damask rose.

Experimental treatment									
Water deficit (WD)	Petal's dry weight (g)	Petal's fresh weight (g)	Flower fresh weight (g)	Flower diametr (cm)	Amount of silica (mg/kg)	Flowering duration (day)	Essential oil percentage (%)	Watre use efficiency (kg/m^3)	Flower yield (kg/h)
WD1	-	1.27 a	1.63a	5.5 a	15.38 b	31.66 a	0.035b	0.594d	2672.03a
WD2	-	1.24ab	1.61 ab	5.4 a	16.00 ab	31.0 b	0.036b	0.763c	2573.3a
WD3	-	1.22 ab	1.60ab	5.3 a	16.10ab	30.0 c	0.038ab	1.131b	2544.7a
WD4	-	1.22 b	1.54 b	4.72b	17.34 a	29.4 d	0.042a	1.798a	2225.1b
Potassium silicate (PS)									
PS1	0.216b	1.16 b	1.53 b	5.17 a	8.29 f	30.33 c	-	-	-
PS2	0.224 ab	1.21 b	1.58 abc	5.30 a	13.33 e	30.42 c	-	-	-
PS3	0.221 ab	1.24 ab	1.62 ab	5.19 a	15.85 cd	30.5 bc	-	-	-
PS4	0.229 ab	1.26ab	1.64 a	5.33 a	18.58 b	30.92 ab	-	-	-
PS5	0.231 a	1.31a	1.66 a	5.31 a	26.14 a	31.00 a	-	-	-
PS6	0.226 ab	1.24ab	1.54 bc	5.21 a	13.73 de	30.25 c	-	-	-
PS7	0.216 b	1.21b	1.59 abc	5.18 h	17.55 bc	30.25 c	-	-	-

در هر ستون میانگین هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

WD1: آبیاری معادل ۱۰۰ درصدنیاز آبی گیاه، WD2 : آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، WD3: آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، WD4: آبیاری معادل ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، PS1: محلول‌پاشی با آب، PS2: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد در بهار، PS3: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در بهار، PS4: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد در بهار و تابستان، PS5: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در بهار و تابستان، PS6: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد در تابستان، PS7: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در تابستان.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

WD1: Irrigation equal to 100% PWR; WD2, Irrigation equal to75% PWR; WD3: Irrigation equal to 50% PWR; WD4: Irrigation equal to 25% PWR, PS1: Spraying of water; PS2: Spraying of PS with concentration of %0.2 in spring, PS3: Spraying of PS with concentration of %0.4 in spring, PS4: Spraying of PS with concentration of %0.2 in spring along with summer, PS5: Spraying of PS with concentration of %0.4 in spring along with summer, PS6: Spraying of PS with concentration of %0.2 in summer, PS7:Spraying of PS with concentration of %0.4 in summer.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب و سیلیکات پتاسیم بر صفات کمی و کیفی گل محمدی.

Table 3. Mean comparison interaction effect of water deficit stress and PS on on qualitative and quantitative traits of damask rose.

Experimental treatment												
Water deficit (WD)	Potassium silicate (PS)	Petal's dry weight(g)	Petal's fresh weight(g)	Flower fresh weight(g)	Flower diametr (cm)	Ratio of petal to flower weight	Amount of silica (mg/kg)	Flowering duration (day)	Essential oil percentage (%)	Essential oil yield (kg/h	Watre use efficiency (kg/m3)	Flower yield (kg/h)
WD1	PS1	0.225 a	1.25 a-d	1.63 a-d	5.45 ab	0.721 b-f	8.0 ij	31.66 a	0.035c	0.916 a	0.58 d	2606.0 ab
	PS2	224.0 ab	1.246 a-e	1.45 de	5.52 ab	0.782 a-e	12.5 f-i	31.66 a	0.035 c	0.920 a	0.59 d	2651.0 ab
	PS3	225.0ab	1.245 a-d	1.62 a-d	5.40 ab	0.821 a-d	16.3 d-g	31.66 a	0.036 c	0.990 a	0.61 d	2742.3 a
	PS4	234.0ab	1.286 cd	1.58 a-d	5.76 a	1.034 a	17.57 def	31.66 a	0.035 c	0.992 a	0.61 d	2731.1 a
	PS5	236.0 ab	1.131 a-d	1.56 a-d	5.76 ab	1.042 a	23.77 bc	31.66 a	0.036 c	0.983 a	0.58 d	2652.0 ab
	PS6	228.0ab	1.136 a-c	1.44 de	5.33 ab	0.952 ab	11.30 g-i	31.66 a	0.035 c	0.930 a	0.58 d	2650.6 ab
	PS7	218.0ab	1.276 a-c	1.54 b-d	5.37 ab	1.01 a	18.26 de	31.66 a	0.035 c	0.935 a	0.59 d	2671.0 ab
WD2	PS1	0.219 ab	1.156 a-e	1.59 a-d	5.35 a-c	0.551 d-i	7.50 g	31.00 a	0.036 c	0.893 a	0.74 d	2505.0 ab
	PS2	0.222 a	1.22 a-e	1.64 a-c	5.54 ab	0.654 c-h	13.06 e-i	30.66 ab	0.036 c	0.909 a	0.74 d	2525.0 ab
	PS3	0.208 b	1.24 a-e	1.61 a-d	5.44 ab	0.682 b-g	15.10 e-f	30.66 ab	0.037 c	0.938 a	0.75 d	2545.0 ab
	PS4	0.228 ab	1.26 a-d	1.64 a-c	5.49 ab	1.053 a	18.33 dc	31.66 a	0.036 c	0.989 a	0.79 d	ab 2267.4
	PS5	0.232 ab	1.24 a-e	1.68 a-c	5.40 ab	1.013 a	27.06 ab	31.66 a	0.037 c	0.963 a	0.76 d	2584.0 ab
	PS6	0.229 ab	1.24 a-d	1.61 a-d	5.45 ab	0.819 a-d	13.96 e-h	30.66 ab	0.036 c	0.943 a	0.77 d	2607.5 ab
	PS7	0.223 ab	1.21 a-e	1.62 a-d	5.43 ab	0.855 a-c	17.06 d-f	30.66 ab	0.036 c	0.922 a	0.76 d	2580.0 ab

در هر ستون میانگین هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

WD1: آبیاری معادل ۱۰۰ درصدنیاز آبی گیاه، WD2 : آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، WD3: آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، WD4: آبیاری معادل ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، PS1: محلول‌پاشی با آب، PS2: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد در بهار، PS3: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در بهار، PS4: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد در بهار و تابستان، PS5: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در بهار و تابستان، PS6: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد در تابستان، PS7: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در تابستان.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

WD1: Irrigation equal to 100% PWR; WD2, Irrigation equal to75% PWR; WD3: Irrigation equal to 50% PWR; WD4: Irrigation equal to 25% PWR, PS1: Spraying of water; PS2: Spraying of PS with concentration of %0.2 in spring, PS3: Spraying of PS with concentration of %0.4 in spring, PS4: Spraying of PS with concentration of %0.2 in spring along with summer, PS5: Spraying of PS with concentration of %0.4 in spring along with summer, PS6: Spraying of PS with concentration of %0.2 in summer, PS7:Spraying of PS with concentration of %0.4 in summer.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب و سیلیکات پتاسیم بر صفات کمی و کیفی گل محمدی.

Table 4. Mean comparison interaction effect of water deficit stress and PS on on qualitative and quantitative traits of damask rose.

Experimental treatment												
Water deficit (WD)	Potassium silicate (PS)	Petal's dry weight (g)	Petal's fresh weight (g)	Flower fresh weight (g)	Flower diametr (cm)	Ratio of petal to flower weight	Amount of silica (mg/kg)	Flowering duration (day)	Essential oil percentage (%)	Essential oil yield (kg/h)	Watre use efficiency (kg/m^3)	Flower yield (kg/h)
WD3	PS1	ab 0.212	1.15 b-e	1. 54 b-d	5.18 a-f	h-j 0.372	ij 8.30	b-d 29.66	0.038bc	0.932 a	c 1.09	2451.3 ab
	PS2	ab 1.217	1.19 a-e	a-d 1.58	a-d 5.31	g-j 0.399	12.83 e-i	bc 30.00	0. 38bc	0.993 a	c 1.16	2611.6 ab
	PS3	ab 0.219	1.19 a-e	a-d 1.95	a-e 5.21	g-j 0.432	16.39 d-g	bc 30.00	0.039a-c	0.974 a	c 1.11	2499.0 ab
	PS4	ab 0.218	1.22 a-e	1.65 a-c	ab 5.38	f-i 0.468	d-f 17.33	ab 30.66	0.037bc	0.953 a	c 1.15	2593.6 ab
	PS5	ab 0.221	1.36 a	1.67 a-c	ab 5.42	f-i 0.492	a-c 24.73	ab 30.66	0.039a-c	1.014 a	c 1.15	2605.0 ab
	PS6	ab 0.216	a-d 1.32	a-d 1.63	ab 5.43	g-j 0.431	15.26 e-g	b-d 29.66	0.037bc	0.936 a	c 1.11	2512.5 ab
	PS7	ab 0.211	1.22 a-e	1.64 a-c	a-d 5.26	e-i 0.532	d-f 17.86	bcd 29.66	0.038a-c	0.966 a	c 1.13	2540.0 ab
WD4	PS1	ab 0.210	1.04	1.49 c-e	ef 4.72	j 0.184	h-j 9.26	d 29.00	0.042ab	0.894 a	1.86 b	2098.2 b
	PS2	0.233 ab	a-d 1.27	1.65 a-c	4.82 c-f	ij 0.284	e-g 14.9	cd 29.33	0.042ab	0.946 a	1.89 ab	2131.0 ab
	PS3	ab 0.234	1.31 a-d	1.68 a-c	ef 4.70	0.329 ij	d-g 15.63	b-d 29.66	0.043a	0.947 a	1.96 ab	2202.5 ab
	PS4	ab 0.236	1.32 a-c	1.69 ab	4.82 c-f	ij 0.32	cd 21.06	b-d 29.66	0.042ab	1.033 a	2.00 ab	2257.5 ab
	PS5	a 0.238	ab 1.35	a 1.75	ef 4.69	h-j 0.367	a 29.00	bc 29.66	0.043a	0.939 a	2.13 a	2404.0 ab
	PS6	ab 0.232	a-d 1.29	1.49 c-e	f 4.66	g-j 0.417	e-h 14.4	d 29.00	0.042ab	0.945 a	1.99 ab	2239.0 ab
	PS7	ab 0.216	1.28 a-d	a-d 1.59	f 4.65	f-j 0.454	d-f 17.00	d 29.00	0.042ab	0.922 a	2.00 ab	2245.0 ab

در هر ستون میانگین هایی با حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

WD1: آبیاری معادل ۱۰۰ درصدنیاز آبی گیاه، WD2: آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، WD3: آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، WD4: آبیاری معادل ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، PS1: محلول‌پاشی با آب، PS2: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد در بهار، PS3: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در بهار، PS4: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد در بهار و تابستان، PS5: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در بهار و تابستان، PS6: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد در تابستان، PS7: محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در تابستان.

In each column means followed by at least a common letter, are not significantly difference at 5% probability level.

WD1: Irrigation equal to 100% PWR; WD2, Irrigation equal to75% PWR; WD3: Irrigation equal to 50% PWR; WD4: Irrigation equal to 25% PWR, PS1: Spraying of water; PS2: Spraying of PS with concentration of %0.2 in spring, PS3: Spraying of PS with concentration of %0.4 in spring, PS4: Spraying of PS with concentration of %0.2 in spring along with summer, PS5: Spraying of PS with concentration of %0.4 in spring along with summer, PS6: Spraying of PS with concentration of %0.2 in summer, PS7:Spraying of PS with concentration of %0.4 in summer.

نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد در هر دو شرایط مطلوب و تنش رطوبتی، با محلول‌پاشی مقادیر مختلف سیلیکات پتاسیم و زمان‌های مختلف درصد سیلیس برگ افزایش یافت. همچنین بیشترین درصد سیلیس برگ از تیمار محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد توأم در بهاره و تابستان در شرایط آبیاری معادل ۲۵درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (جدول‌های ۳ و ۴).

گزارش شده است که کاربرد سیلیسیوم در برنج منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی و همچنین افزایش غلظت این عنصر در گیاه گردید، آنها گزارش نمودند توزیع و تراکم سیلیسیوم در گیاه برنج توسط فرآیند متابولیکی و میزان تعرق اندام‌های هوایی کنترل می‌شود (Tanaka & Park 1996). در آزمایشی در رابطه با اثر متقابل سیلیسیوم و فسفر بر گیاه برنج گزارش نمودند که کاربرد سیلیسیوم در جذب آن توسط ریشه گیاه و در نتیجه غلظت آن تأثیر معنی‌داری داشت (Shahaikumleh & Kavossi, 2004). در واقع بیشترین غلظت سیلیس در گیاه در محل‌هایی مشاهده می‌شود که بیشترین تبخیر را دارند (Henriet *et al*., 2006).

طول مدت گلدهی

نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد با اعمال تنش کمبود آب، طول مدت گلدهی نسبت به شاهد کاهش یافت. به طوری‌که با اعمال آبیاری معادل ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، طول مدت گلدهی نسبت به شاهد به میزان۲، ۵/۵، ۷/۷درصد کاهش یافت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم نیز نشان داد با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم باغلظت۰/۲ و ۰/۴ درصد توأم در بهاره و تابستان طول مدت گل‌دهی نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۱/۹ و ۲/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۲). در این تحقیق با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش کمبود آب طول مدت گلدهی افزایش یافت. به نظر می‌رسد که سیلیکات پتاسیم از طریق حفظ آب داخل سلول و اندام های گیاه، زمینه بهبود فرایندهای رشد و نموی را فراهم نموده در نتیجه طول مدت گلدهی افزایش یافته است.

درصد و عملکرد اسانس

با توجه به نتایج مقایسه میانگین تیمارها، با اعمال تنش کمبود آب به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، درصد اسانس نسبت به تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب به میزان۲۰، ۱۶ و ۱۱ درصد افزایش یافت (جدول۲). با وجود این‌که اثر متقابل تیمارها بر درصد اسانس معنی‌دار نبود ولی تیمارها در گروهای مختلف قرار گرفتند. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد بیشترین درصد اسانس گل از تیمار محلول‌پاشی ۰/۴ درصد سیلیکات پتاسیم در بهار و همچنین در بهار توأم با تابستان در شرایط آبیاری معادل ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (جدول ۵). در این تحقیق، اثر تنش کمبود آب و سیلیکات پتاسیم و اثر متقابل آنها بر عملکرد اسانس معنی‌دار نشد (جدول ۲). با این وجود در هر سطح از تنش کمبود آب، محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم موجب شد تا عملکرد اسانس نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان دهد (جدول‌های ۳ و ۴).

رشد گیاه و میزان اسانس در گیاهان معطر تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ژنتیک گیاه، عمر برگ، تغذیه، تنش‌های محیطی و زمان برداشت قرار می‌گیرد (Omidbeigi & Rezaei Nejad, 2001). نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر این است که تنش متوسط و شدید، بازده تولید اسانس گل محمدی را افزایش داد. زیرا در شرایط تنش کمبود آب متابولیت‌های ثانویه که از اکسیداسیون درونی سلول‌ها جلوگیری می‌نمایند، افزایش می‌یابند. گزارش شده است که تولید گل محمدی در شیوه استفاده از آبیاری قطره‌ای سطحی بالاترین بازده اسانس را در شرایط تنش ۷۰ درصد تبخیر و تعرق داشته و کمترین بازده اسانس از تیمار آبیاری پس از ۴۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل شد (Moghbalimhni Darroudi *et al*., 2014). گزارش شده است که در شرایط تنش شدید خشکی، بیشترین میزان اسانس نسبت به تنش‌های ملایم در گیاه ریحان تولید شد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Omidbeigi & Hassani, 2001). در این تحقیق افزایش عملکرد اسانس با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم می‌تواند به دلیل اثر مثبت سیلیکات پتاسیم در افزایش عملکرد گل باشد که

از این طریق باعث افزایش عملکرد اسانس می‌گردد. گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، کاربرد سیلیسیوم در گیاه ریحان باعث افزایش درصد اسانس شد (Moghaddam *et al*., 2015). به نظر می‌رسد سیلیسیوم در رشد و نمو گیاه می‌تواند باعث بیشتر شدن میزان اسانس، بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه شود که این افزایش می‌تواند منجر به تولید بیشتر غده‌های ترشح کننده اسانس در گیاه شود. کاربرد سیلیسیوم در شرایط تنش خشکی نیز باعث بهبود رشد گیاه ریحان شد، به‌علاوه با افزایش میزان اسانس باعث افزایش عملکرد اسانس در شرایط تنش شدید (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) گردید (Mohammadnia *et al*., 2017).

کارایی مصرف آب

نتایج مقایسه میانگین تیمارها نیز نشان داد با اعمال تنش کمبود آب کارایی مصرف آب افزایش یافت. آبیاری معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف آب را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان۱/۳، ۱/۹ و ۳/۳ برابر افزایش داد (جدول ۲). با توجه به نتایج در شرایط آبیاری معادل ۲۵درصد نیاز آبی گیاه، محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم توانست کارایی مصرف آب را افزایش دهد. اعمال تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۰/۴ درصد در بهار توأم با تابستان، کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۴/۵درصد افزایش یافت که این میزان افزایش در کارایی مصرف آب حائز اهمیت می‌باشد (جدول ۴). نتایج حاصل شده در خصوص کارایی مصرف آب بیانگر این است که گل محمدی در شرایط مطلوب رطوبتی و تأمین آب کافی، آب بیشتری را نسبت به شرایط تنش خشکی برای تولید گل مصرف می‌کند، بنابراین کارایی مصرف آب به علت افزایش میزان آب مصرفی کاهش می‌یابد. در آزمایشی Moghbalimhni Darrudi *et al*. (2014) گزارش نمودند که با افزایش شدت تنش در آبیاری قطره‌ای سطحی، کارایی مصرف آب در گل محمدی از ۱/۴۸ به ۲/۱۴ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار افزایش یافت و پس از جذب آب توسط ریشه سهم زیادی از آن به بخش‌های هوایی منتقل می‌شود و در بخش سطحی دیواره سلول‌های برگ و ساقه جایگزین می‌شود و شدت تعرق را کاهش می‌دهد (Ma & Yamaji, 2006). نتایج این تحقیق در خصوص افزایش کارایی مصرف آب با اعمال تنش خشکی با نتایج دیگر محققان همسو می‌باشد (Ragab *et al*., 2015) با توجه به نتایج این تحقیق در شرایط تنش شدید محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم کارایی مصرف آب را افزایش داد. به نظر می‌رسد علت افزایش کارایی مصرف آب با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم، تجمع سیلیسوم در برگ و تنظیم حرکات روزنه‌ای می‌باشد. نتایج این تحقیق مطابق با نتایج مطالعات دیگر می‌باشد که گزارش شده در گیاه فلفل با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش کمبود آب، کارایی مصرف آب افزایش یافت (Kamal, 2013). گزارش شده است که سیلیکون یا از طریق کنترل تعرق باعث کاهش تلفات آب می‌شود (Savant *et al*., 1996) و یا از طریق رسوب کریستال‌های سیلیکات در زیر سلول‌های اپیدرمی برگ و ساقه (Trenholm *et al*., 2004) تلفات آب از طریق کوتیکول را کاهش می‌دهد.

عملکرد گل

با توجه به نتایج هرچند آبیاری معادل ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه با آبیاری معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بر عملکرد گل تفاوت معنی‌داری نداشت اما با آبیاری معادل ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، عملکرد گل نسبت به تیمار شاهد به میزان ۲۰ درصد کاهش یافت (جدول ۳). با وجود این‌که اثر متقابل تیمارها بر عملکرد کل گل معنی‌دار نبود (جدول ۲)، نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد در شرایط مطلوب رطوبتی و در شرایط تنش کمبود آب، محلول‌پاشی با مقادیر مختلف سیلیکات پتاسیم در زمان‌ها مختلف میانگین عملکرد گل را افزایش داد (جدول‌های ۳ و ۴). گزارش شده است که افزایش رشد و عملکرد گیاه در حضور سیلیسیوم از طریق بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه صورت می‌گیرد (Samuels *et al*., 1993). نتایج این تحقیق در خصوص اثر مثبت سیلیکات پتاسیم بر عملکرد گل و میزان اسانس، با نتایج Dehghanipour *et al*. (2009) بر عملکرد و کیفیت گیاه توت فرنگی همسو می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی، نتایج این تحقیق نشان داد با اعمال تنش کم آبیاری و تأمین ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گل محمدی، کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان۱/۳، ۱/۹ و ۳/۳ برابر افزایش یافت. در شرایط مطلوب رطوبتی، محلول‌پاشی با مقادیر مختلف سیلیکات پتاسیم در زمان‌های مختلف تأثیری بر وزن کل گل نداشت ولی در شرایط تنش کمبود آب معادل ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، محلول‌پاشی با مقادیر مختلف سیلیکات پتاسیم در زمان‌های مختلف، وزن کل گل را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین بیشترین درصد سیلیس برگ و کارایی مصرف آب از تیمار محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد در بهار توأم با تابستان در شرایط آبیاری معادل ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. بیشترین درصد اسانس از محلول‌پاشی ۰/۴ درصد سیلیکات پتاسیم در بهار و توأم در بهار با تابستان در شرایط آبیاری معادل ۲۵درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد. بنابراین با محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش کمبود آب می‌توان کمیت و کیفیت گل محمدی را افزایش داد.

REFERENCES

1. Abd Elwahed, A. H. M. (2018). Response of tomato plant to follar application of potassium silicate under different irrigation water levels. *Journal of Biological chemistry and Environmental Sciences*, 13(1), 59-78.
2. Ahmad, P. & Prasad, M. N. V. (2012). *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*. New York, Springer.
3. Alizadeh, A. (2011). *Irrigation system design surface irrigation system design*. Imamraza Press, 452 P. (in Farsi).
4. Amin, M., Ahmad, R., Ali, A., Aslam, M. & Lee, D.J. (2015). Silicon fertilization improves the maize (*Zea mays* L.) performance under limited moisture supply. *Cereals Research Communications*, 44, 172-185.
5. Amiri Deh Ahmadi, S. R., Parsa, M., Bannayan, M., Nassiri Mahallati, M. & Deihimfard, R. (2014).Yield gap analysis of chickpea under semi-arid conditions: a simulation study. *Journal of Plant Production*, 8, 531-548. (in Farsi)
6. Amiri, A., Bagheri, A., Khaje, M., Najafabadi Pour, F. & Yadollahi, P. (2014). Eeffect of silicone foliar application on yield and antioxidant enzymes activity of safflower under limited irrigation conditions. *Journal of Crop Production Research*, 5(4), 363-372. (in Farsi)
7. Barzegari, F. & Malekinezhad, H. (2016). Estimating Irrigation Requirements under Climate Change (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 39(4), 85-95. (in Farsi).
8. Bidabadi, M., Behbahani, M. R. & Farshi, A. A. (2013). *CROPWAT. Learning of Software (for Windows). Crop water Requirements & Irrigation Scheduling*. University Jahad Press, 136 P. (in Farsi).
9. 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.
10. Celiekel, F. G. & Reid, M. S. (2002). Post harvest handling of stock (*Matthiola incana*). *Horticultural Science*, 37(1), 144-147.
11. Dehghanipour, S., Ghobadi, S. Baghinasab, B. & Ghisari, M. (2011). Effect of potassium silicate and nano silica on the yield and quality of strawberry fruit. *7th Iranian Horticultural Science Congress.* 5 Sep, Isfahan Univercity of Tecnology, Isfahan. Iran, Pp. 5-8. (in Farsi).
12. Elliot, C. L. & Snyder, G. H. (1991). Autoclave-induced digestion for the calorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, 1118-1119.
13. Epstein, E. & Bloom, A. J. (2005). *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. 2nd Edition, Sinauer Associates, Inc., Sunderland. DOI: 10.4236/health.2010.27109.
14. Fauteux, F., Remus-Borel, W., Menzies, J. & Belanger, R. R. (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 249 (1), 1-6.
15. Gao, X., Zou, C., Wang, L. & Zhang, F. (2005). Silicon improves water use efficiency in maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, 27(8), 1457-1470.
16. Gengmao, Z, Shihui, L., Xing, S., Yizhou, W. & Zipan, Ch. (2015). The role of silicon in physiology of the medicinal plant (*Lonicera japonica L.*) under salt stress. *Scientific Reports*, 5, 12696.
17. Greaves, G. & Wang, Y. M. (2017). Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. *Plant Production Science*, 1349-1008:1-13.

18. Hassani, A. & Omidbaigi, R. (2002). Effects of water stress on some morphological, Physiological and metabolic properties of basil. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 12 (3), 44-61. (In Farsi)
19. Henriet, C., Draye, X., Oppitz, I., Swennen, R. & Delvaux. B. (2006). Effects, distribution and uptake of silicon.in banana (*Musa spp*. L) under controlled condition. *Plant and Soil.* 287(1-2), 359-374.
20. Hwang, S. J., Park, H. M. & Jeong, B. R. (2005). Effects of potassium silicate on the growth of miniature rose Pinocchio grown on rockwool and its cut flower quality. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 74(3), 242-247.
21. Jafarzadeh, L., Omidi, H. & Jafari, N. (2010). Effects of water stress on growth, essential oil conent and prolin content of marigold (*Calendula officialis* L.). *16th Conference and the 4th International Conference of Biology Iran*, 14-16 Sep, Ferdousi Mashhad University, Mashhad, Iran, pp. 1261-1262. (in Farsi).
22. Jian-peng, F., Qing-hua, S. & Xiu-feng, W. (2009). Effects of exogenous silicon on photosynthetic capacity and antioxidiant enzyme activities in choloroplast of cucumber seedings under excess manganese. *Agricultural Sciences in China*, 8, 40-50.
23. Kamenidou, S. & Cavins, T. J. (2008). Silicon Supplements affect horticultural traits of greenhouse-roduced ornamental sunflowers. *Horticultural Science*, 46, 236-239.
24. Kamal, A.M. (2013): Influence of irrigation levels, antitranspirants and potassium silicate on growth, 20. fruit yield and quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under drip irrigation. *Journal of Plant Production Mansoura University*, 4, 1581-1597.
25. Kamenidou, S., Cavins, T.J. & Marek, S. (2010). Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient coccentrations of greenhouse produced gerbera. *Scientia Horticulture*, 123, 390-394.
26. Katsoulas, N., Kittas, C., Dimokas, G. & Lykas, Ch. (2006). Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. *Biosystems Engineering*, 93, 237-244.
27. Kaya, C., Tuna, L. & Higgs, D. (2007). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown, under water-stress condition. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1469-1480.
28. Kovatcheva, N., Nedkov, N. & Zheljazkov, V.D. (2005). Study on the oil-bearing rose collection at the Research Institute for RosesThe ASA-CSSASSSA International Annal Meetings, 6-10 Nov, Salt Lake City. UT, p168.
29. Layeghhaghighi, M., Hassanpour Asil, M. & Abbaszadeh, B. (2016). Effect of nano chelatediron on essential oil percentage and essential oil compounds of *Rosa damascene* Mill. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(1), 138-147. (In Farsi)
30. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. & Christie, P. (2007). Mechanisms of Silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher Plants- a review. *Environmental Pollution*, 147, 422-428.
31. Liang, Y.C. (1999). Effects of silicone on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barely under salt stress. *Plan and Soil*, 29, 217-224.
32. Liang, Y., Nikolic, M., Belanger, R., Gong, H. & Song, A. (2015). *Silicon in agriculture: from theory to practive*. Springer, 235 p.
33. Ma, J. F. & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Plant Science*, 11, 392-397.
34. Matichenkov V. & Calvert D. (1999). Silicon fertilizers for citrus in florida. *Florida State Horicultural Society*. 112,5-8.
35. Moghaddam, M., Alirezaei Noghondar, M., Selahvarzi, Y. & Goldani, M. (2015). The effect of drought stress on some morphological and physicochemical characterristics of three cultivars of basil (*Ociman basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science* .46(3), 509-521. (In Farsi).
36. Moghbalimhni Darroudi, A., Delbari, M. & Kohi N. (2014). Influence of surface and sub-surface drop irrigation on damask rose (*Rosa damascena* Miller) yield under different irrigation regimes. *Journal of Iran Water and Soil Research*. 45(3), 405-412. (In Farsi).
37. Mohamadnia, R., Rezaei Nejad, A. & Bahrami Nejad S. (2018). Effect of irrigation interval and silicon on some morpho-physiological and biochemical properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(1), 37-45. (In Farsi).
38. Omidbaigi, R. & Rezaei Negad, A. (2001). The flounce of nitrogen –fertilizer and harvest time on productivity of thymus vulgaris L. *International Journal of Horticultural Science*, 6, 43-46. (In Farsi).
39. Rao, B. R. R., Sastry, K. P., Saleem, S. M., Roa, E. V. S. P., Samasundar, K.V. & Ramesh, S. (2000). Volatile flower oils of three genotypes of rose-scented generation (*Pelargonium sp.*). *Flavoure and Fragrance Journal*, 15, 105 -107.
40. Sabeti, A. (2016). *Agronomy of damask rose.* Publication of training and promoting agriculture, 119 pp. (in Farsi).
41. Saki, Z. & Danaee, E. (2014). Effect of silicium salts spray on morphological traits in *Rosa hybrida* cv. Grand prix. *Cellular and Molecular Plant Biology Journal*, 9(3-4), 1-10.

42. Samuels, A. L., Glass, A. D. M., Ehret D. L. & Menzies J.G. (1993) .The effects of silicon supplementaion on cucumber fruit: Changes in surface characteristics. *Annual of Botany*, 72,433-440.
43. Savant, N. K., Snyder, G. H. & Datnoff, L. E. (1996). Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy*. 58, 151-199.
44. Shahai kumleh, A. & Kavossi, M. (2004). Evaluation of interaction of silica phosphorous on the growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(3), 581-586. (in Farsi).
45. Sharifi Ashoorabadi, E., Rouhipour, H., Assareh, M. H., Tabei Aghdaei, S. R., Lebaschy, M. H. & Naderi, B. (2015). Determination of water requirement of *Rosa damascene* Mill. using lysimeter. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(6), 923-931. (in Farsi).
46. Tanaka, A. & Park, Y.D. (1966). Significance of the absorption distribution of silicon in the growth of the rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition*, 12(5), 23-27.
47. Torabi, F., Majd, A., Enteshari, S.H. & Ayrean, S. (2014). Effect of Silicon on some anatomical and Physiological paramerers in hydroponic condition medicinal borage, *Journal Tissue Cells*, 4(3), 275-285. (in Farsi).
48. Trenholm, L. E., Datnoff, L. E. & Nagara, R. T. (2004). Influence of silicon on drought and shade tolerance of St. Augustine grass. *Horticulture Technology*, 14,487- 490.