



مقاله پژوهشی

اثر غلظت و تعداد دفعات محلول پاشی سیلیس بر خصوصیات کمی و کیفی زعفران

منصوره کرمانی^{۱*} و شهرام امیر مرادی^۲

تاریخ دریافت: ۲۹ آذر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۱۵ آبان ۱۴۰۰

کرمانی، م. و امیر مرادی، ش. ۱۴۰۰. اثر غلظت و تعداد دفعات محلول پاشی سیلیس بر خصوصیات کمی و کیفی زعفران. زراعت و فناوری زعفران، ۹(۴): ۳۲۳-۳۴۱.

چکیده

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان مشهد در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ بر روی یک مزرعه سه ساله زعفران اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل غلظت‌های مختلف سیلیس (صفر، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار) و تعداد دفعات پاشی سیلیس (یک مرتبه، دو مرتبه و سه مرتبه) بود. محلول پاشی سیلیس (با برند تجاری کراپسیل) در تاریخ‌های ۱۵ بهمن ماه، اول اسفند ماه و ۱۵ اسفندماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. نتایج نشان داد که اثر اصلی سیلیس، تعداد دفعات پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثرهای متقابل فاکتورهای آزمایشی حاکی از آن بود که در غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار محلول پاشی سیلیس در دو نوبت پاشی، بیشترین تعداد گل در بوته (۶۹۳ گل)، وزن خشک برگ (۳/۵۶ گرم در گیاه)، وزن تر بنه‌ها (۶۷/۲۵ گرم در گیاه)، طول کلاله (۳/۸ سانتی‌متر)، وزن تر و خشک کلاله (به ترتیب ۱۶۵۶/۵ و ۱۴/۳۹ کیلوگرم در هکتار)، سافرانال (۳۳ درصد) و کروسین (۱۹۲/۷۵ درصد) به دست آمد. بیشترین میزان پیکروکروسین (۶۶/۳۵ درصد) در غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار در دو نوبت پاشی به دست آمد. لذا، کاربرد سیلیس با غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار در دو مرحله پاشی بهترین تیمار بود و توانست تعداد گل در بوته، وزن تر بنه‌ها و وزن خشک کلاله را به ترتیب ۲۶/۵، ۱۰۶ و ۲۱/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد.

کلمات کلیدی: پیکروکروسین، کروسین، کلاله، سافرانال

۱- استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
۲- استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران
* - نویسنده مسئول: (mkermani20@gmail.com)

مقدمه

زعفران با نام علمی (*Crocus sativus* L.) از خانواده زنبقیان (Iridaceae) در حال حاضر گران‌بهاترین محصول کشاورزی و دارویی جهان به‌شمار می‌آید (Grilli-Caiola, 2004). کشت زعفران یکی از قدیمی‌ترین کشت‌ها در ایران می‌باشد اما با این حال این گیاه از فناوری‌های نوین سهم اندکی داشته است و تولید آن بیشتر متکی بر دانش بومی می‌باشد (Koocheki et al., 2009). از طرفی میزان عملکرد زعفران در مقایسه با سایر کشورهای تولید کننده بسیار پایین است (Koocheki et al., 2012). گیاهان زراعی و دارویی از جمله زعفران، جهت رشد و نمو طبیعی نیاز به عناصر غذایی و بهینه دارند. جهت افزایش تولید در واحد سطح تغذیه با کودهای شیمیایی یکی از مراحل مهم داشت می‌باشد. روش و مقدار مصرف کودها جهت افزایش کمیت و کیفیت محصول باعث بهینه مصرف نمودن آن‌ها و بالطبع کاهش خطرات آلوده سازی محیط زیست ناشی از مصرف بی‌رویه کودها می‌شود (Malakouti & Homayi, 2004). یکی از روش‌های رایج مصرف عناصر غذایی، محلول‌پاشی آن‌ها است که مزایای زیادی از جمله جذب سریع از طریق برگ، برطرف نمودن مشکل جذب از ریشه به دلایل شوری و سایر مشکلات خاک، افزایش راندمان مصرف کودها و غیره دارد (Mirzapour & Khoshgoftarmanesh, 2008).

سیلیس دومین عنصر فراوان پوسته زمین است که در محلول خاک به صورت مونوسیلیسیک اسید^۱ وجود دارد و به همین شکل نیز جذب گیاه می‌شود (Khoshgoftarmanesh, 2007). سیلیس عنصری ضروری برای رشد گیاه نیست اما به نقش مثبت این عنصر در رشد گیاهان اشاره شده است (Gong et al., 2005). این عنصر باعث افزایش مقاومت گیاه نسبت به

آفات و بیماری‌ها می‌شود (Cai et al., 2009). گزارش‌ها حاکی از آن است که کاربرد سیلیس باعث افزایش سطح برگ، مقدار کل کلروفیل برگ، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، طول ریشه (Mali & Aery, 2009)، گره‌زایی ریشه، تثبیت نیتروژن، جذب عناصر غذایی (خصوصاً نیتروژن و فسفر) در لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) (Mali & Aery, 2008) پرولین، قندها و پروتئین‌های محلول در سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) (Crusciol et al., 2009) تنظیم کننده‌های رشد مثل اکسین‌ها در برنج (*Oryza sativa*) (Tripathi et al., 2021) و سیتوکینین‌ها در آراییدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) و سورگوم (*Sorghum bicolor*) (Markovich et al., 2017) کل مقدار فنل‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو در گندم (*Triticum aestivum* L.) (Gong et al., 2005) شده که در افزایش زیست توده و عملکرد گیاه حتی در شرایط بدون تنش نقش مؤثری دارند (Crusciol et al., 2009). کاربرد سیلیس به‌عنوان کود یک ایده جدید در کشاورزی است (Artyszak et al., 2016). فهمی و همکاران (Fahimi et al., 2018) در بررسی اثر سیلیس بر زعفران نشان دادند که مصرف مقدار ۱ میلی‌مولار اسید ارتوسیلیسیک باعث افزایش تعداد بنه در متر مربع به میزان ۹ درصد شد.

این محققان نشان دادند که مصرف اسید ارتوسیلیسیک باعث افزایش ۵۶ درصدی در وزن بنه‌ها نسبت به شاهد شد.

با توجه به اینکه در همین پژوهش مقادیر کلروفیل a و b نیز در تیمار مصرف سیلیس نسبت به شاهد افزایش قابل توجهی یافته بود (۶۵ و ۵۸ درصد)، افزایش فتوسنتز و سنتز مواد به‌علت افزایش میزان کلروفیل را عامل افزایش عملکرد محصول دانستند. عاصمه و پوراکبر (Asemeh & Pourakbar, 2017) با بررسی اثر سیلیکات (۰/۵ و ۱ میلی-

خشک اندام هوایی و کربوهیدرات‌ها و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و نیز میزان کلروفیل a و b در گیاه بیشتر از شاهد بود. محققان اثر غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی مولار سیلیسیم را بر روی ویژگی‌های سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش غلظت سیلیسیم میزان وزن تر و خشک ریشه و میزان فلاونوئید و فنل کل افزایش یافت (Zare et al., 2018). با توجه به محدود بودن تعداد پژوهش‌های انجام شده در زمینه استفاده از سیلیس و مشتقات آن در تولید زعفران و همچنین فقدان گزارشی در ارتباط با تأثیر سیلیس بر شاخص‌های عطر، طعم و رنگ زعفران، هدف از اجرای پژوهش حاضر، بررسی غلظت‌های مختلف سیلیس به صورت محلول پاشی برگ‌گی و تعداد دفعات پاشش آن بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه زعفران بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در شهرستان مشهد روستای ماریان، در یک مزرعه سه ساله زعفران (ارتفاع از سطح دریا ۱۱۵۰ متر، ۵۹ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۶ ثانیه شمالی و ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه و ۷۳ ثانیه شرقی) انجام گرفت. اقلیم این منطقه نیمه خشک معتدل و میانگین دمای حداقل و حداکثر منطقه در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به ترتیب ۹/۷۸ و ۲۳/۷۳ بود. همچنین میزان بارندگی در این سال زراعی ۱۸۲/۲ میلی‌متر بوده است (Statistical Center of Iran, 2017; 2018). قبل از انجام آزمایش، نمونه برداری از خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی متر انجام و به آزمایشگاه خاکشناسی انتقال داده شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول یک نشان داده شده است. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل غلظت‌های مختلف سیلیس (صفر،

مولار) و نانوسیلیکات^۱ (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و شوری (۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بر زعفران گزارش کردند که نانوسیلیکات باعث افزایش طول و وزن خشک اندام هوایی، محتوای نسبی آب، کلروفیل b، فلاونوئید و پروتئین محلول در زعفران شد که بیشترین افزایش در تیمار نانوسیلیکات ۰/۵ میلی مولار مشاهده شد.

همچنین نانوسیلیکات باعث کاهش آسیب‌های ناشی از تنش شوری در زعفران گردید که بیشترین کاهش در تیمار ۷۵ میلی‌مولار شوری توأم با ۰/۵ میلی‌مولار نانوسیلیکات مشاهده شد. سایر محققان هم نشان دادند که نانوذرات سیلیکات توانست آسیب‌های پرتو فرابنفش در گیاه زعفران را کاهش داده و فاکتورهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی که تحت تأثیر تابش فرابنفش تغییر یافته بوند را جبران کند (Amini Darbandi & Pour Akbar, 2016). در یک پژوهش تیمارهای محلول پاشی اسید سیلیکون با غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ میلی‌مولار بر روی گیاه دارویی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر اندام هوایی و ریشه و نیز محتوای کلروفیل از کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسید سیلیکون به دست آمد (Torabi et al., 2013). بررسی اثر محلول پاشی سیلیس با غلظت‌های صفر، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار بر روی گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد که در مقایسه با تیمار سیلیکون یک میلی‌مولار و عدم مصرف سیلیکون، افزایش معنی‌دار در حدود ۲۲ درصد داشت (Askarnejad et al., 2019). مهدوی و همکاران (Mahdavi et al., 2018) اثر محلول پاشی سیلیس (صفر و ۱ میلی‌مولار) را بر ویژگی‌های کمی و کیفی نعنای (*Mentha spicata*) بررسی کردند و گزارش نمودند که در غلظت یک میلی‌مولار سیلیسیم وزن

بیرون آورده شد و پس از شستشو توزین شد. برای اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ، عطر و طعم زعفران از کلاله هوا خشک شده در محیط سایه استفاده شد. اما برای به‌دست آوردن پارامتر وزن خشک برگ و کلاله، نمونه‌ها در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ، عطر و طعم زعفران با استفاده از روش استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۵۹ در آزمایشگاه پارس طراوت مشهد انجام شد (INSO, 2006).

در این روش ۵ میلی‌گرم کلاله پودر شده (هوا خشک در محیط سایه) با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰ سی‌سی رسانده شد و این مایع ۲۰ دقیقه در تاریکی توسط همزن مغناطیسی هم زده شد. سپس میزان جذب در طیف‌های ۴۴۰ نانومتر برای کروسین، ۲۵۷ نانومتر برای پیکروکروسین و ۳۳۰ نانومتر برای سافرانال توسط دستگاه اسپکتوفوتومتر خوانده شد. عدد به دست آمده در رابطه ۱ قرار داده شد و صفت مورد نظر محاسبه شد.

$$X = A/M \times 100 \quad (1)$$

در رابطه ۱ مقدار X مقدار صفت کیفی مورد نظر به‌صورت درصد، A میزان جذب قرائت شده از دستگاه در طول موج مربوطه و M وزن خشک کلاله با واحد میلی‌گرم می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل ترسیم شد.

۰/۳، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار) و تعداد دفعات پاشش سیلیس (یک مرتبه، دو مرتبه و سه مرتبه) بود. محلول سیلیس از شرکت نویاتک^۱ با نام تجاری کراپسیل (Cropzil) تهیه شد. محلول پاشی اول با توجه به توصیه شرکت مذکور در ۱۵ بهمن ماه و مرحله دوم در اول اسفندماه و مرحله سوم در ۱۵ اسفند ماه ۱۳۹۶ با فواصل ۱۵ روزه انجام شد. کاشت به صورت ردیفی (دانه تسییحی) انجام شد. فواصل کشت ۵ در ۲۵ سانتیمتر و عمق کاشت ۲۰ سانتیمتر بود. هر کرت آزمایشی شامل ۸ ردیف به طول ۴ متر بود که همه ردیف‌ها محلول پاشی شدند.

عملیات کوددهی عناصر ماکرو شامل ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود NPK ۲۰-۲۰-۲۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولوپتاس در آبان ماه ۱۳۹۶ پس از برداشت گل به‌صورت محلول در آب آبیاری انجام شد. محلول پاشی برگ‌های برخی عناصر میکرو (گوگرد، آهن، مس، روی، منگنز، کبالت، بر، مولیبدن) نیز در دو مرحله (۱۵ بهمن ماه و اول اسفند ماه ۱۳۹۶) توسط کود بیومین ۴۶۴ (شرکت بازرگان کالا) صورت گرفت. برداشت نمونه‌ها در آبان ماه ۱۳۹۷ و پس از حذف ردیف‌های حاشیه‌ای و نیم متر ابتدا و انتهای کرت انجام شد. در هر تکرار، از هر کرت به مساحت ۲ مترمربع نمونه برداری انجام شد. سپس گل‌ها برداشت شده و کلاله‌ها پس از پاکسازی توزین شدند.

برای اندازه‌گیری تعداد گل در متر مربع و طول کلاله از ۵ نمونه تصادفی در هر کرت استفاده شد و سپس میانگین نمونه‌ها گرفته شد. نمونه برگ از هر کرت به مساحت ۲ مترمربع برداشت شد. برای اندازه‌گیری وزن تر بنه‌ها پس از برداشت گل‌ها در سال ۱۳۹۷، در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۸ از مساحت ۲ متر مربع به‌صورت تصادفی ۱۰ بوته انتخاب و بنه‌ها

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه
Table 1- Physical and chemical characteristics of studied field soil

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (ds.m ⁻¹)	شاخص واکنش pH	پتاسیم قابل جذب Available potassium (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (mg.kg ⁻¹)	نیترژن کل Total nitrogen (%)	مواد آلی Organic matter (%)
Sandy لومی شنی loam	1.65	7.6	56.87	125	0.04	0.9

نتایج و بحث

وزن خشک برگ، وزن تر بنه‌ها، طول کلاله، وزن تر کلاله، وزن خشک کلاله و مقادیر پیکروکروسین، سافراناال و کروسین معنی‌دار بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر محلول پاشی سیلیس، تعداد دفعات پاشی و اثر متقابل این دو بر تعداد گل در مترمربع،

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر غلظت‌های مختلف سیلیس و تعداد دفعات پاشش بر برخی صفات کمی و کیفی زعفران
Table 2- Results of variance analysis (Mean square) for effects of different concentrations of silicon and the number of spraying times on some quantitative and qualitative traits of saffron

	درجه آزادی df	تعداد گل Number of flowers	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر بنه Fresh weight of corn	طول کلاله Stigma length	وزن تر کلاله Stigma fresh weight	وزن خشک کلاله Dry weight of stigma	پیکروکروسین Picrocrocin	سافراناال Safranal	کروسین Crocin
Block بلوک	3	31.28 ^{ns}	0.04**	24.29**	0.02 ^{ns}	175.85*	0.075*	44.42**	2.05 ^{ns}	13.95**
Silicon (A) سیلیس	6	26947.35**	1.97**	1501.41**	2.33**	311326.63*	5.49**	1212.25**	33.27**	915.05*
تعداد دفعات پاشش Number of spraying times (B)	2	511.94**	0.74**	181.58**	0.73**	10326.65**	2.15**	199.81**	6.65*	219.62*
(A×B)	12	174.27**	0.10**	33.48**	0.13**	855.53**	0.79**	43.78**	4.86*	52.17**
Error خطای آزمایشی	60	15.00	0.01	3.54	0.01	58.46	0.02	4.54	1.99	3.41
C.V. ضریب تغییرات (%)		0.68	3.14	4.16	3.98	0.54	1.08	4.74	5.02	1.09

*، ** و ^{ns} به ترتیب نمایانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار. *، ** and ^{ns} significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

تعداد گل در متر مربع

تیمار شاهد ۲۶/۵ درصد افزایش نشان داد و پس از آن یک بار و سه بار محلول پاشی با غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار با ۶۷۲ گل در بوته و ۲۲/۶ افزایش نسبت به تیمار شاهد در رتبه دوم قرار داشت. به عبارت دیگر، افزایش تعداد دفعات محلول پاشی تا دو بار، بیشتر از سه بار محلول پاشی توانست در افزایش تعداد گل

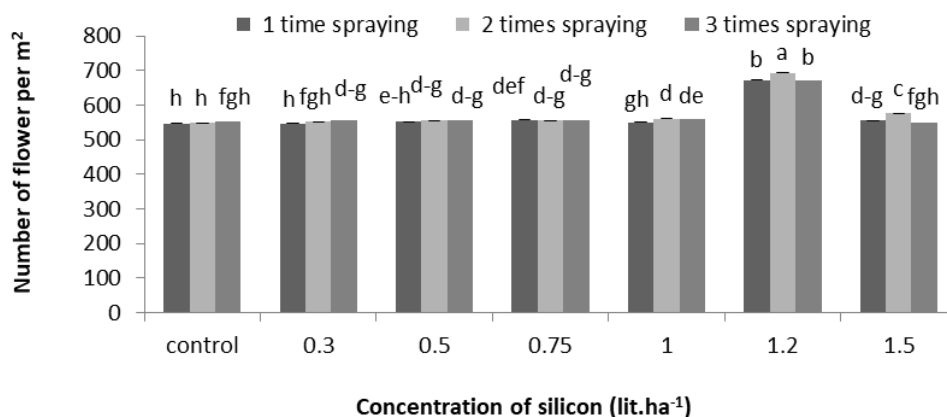
اثر اصلی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی و اثر متقابل آنها بر تعداد گل در متر مربع در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نشان داد که بیشترین تعداد گل در بوته (۶۹۳ گل) در دو بار محلول پاشی سیلیس با غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار به دست آمد که نسبت به

پارامترهای رشدی گیاه باشد (Delavar et al., 2019; Mali & Aery, 2009; Torabi et al., 2013). در همین راستا، تأخیر در گلدهی، بد شکلی گل‌ها و برخی اختلالات رشدی در گیاه آفتابگردان در نتیجه کاربرد غلظت‌های بالای سیلیس مشاهده شده است (Kamenidou & Cavins, 2008). در تأیید نتایج فوق می‌توان به بررسی اثرات سیلیکات پتاسیم (۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی گرم بر لیتر) و نانو سیلیس (۱۲/۵ و ۲۵ میلی گرم بر لیتر) بر روی لیلیوم آسیایی (*Lilium longiflorum*) رقم Brunello اشاره کرد که با افزایش غلظت سیلیسکات پتاسیم تا ۵۰ میلی گرم بر لیتر تعداد گلچه در گیاه افزایش و بعد از آن کاهش یافت (Mirabbasi Najafabadi et al., 2013). ترابی و همکاران (Torabi et al., 2013) نیز با بررسی تیمارهای محلول پاشی اسید سیلیکون با غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ میلی مولار بر روی گیاه دارویی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) نتیجه گرفتند که بیشترین وزن تر اندام هوایی و ریشه و محتوای کلروفیل از کاربرد ۱/۵ میلی مولار اسید سیلیکون به دست آمد و غلظت‌های بالاتر تأثیر منفی بر رشد و صفات آناتومیکی گیاه داشت.

در متر مربع مؤثر باشد (شکل ۱).

به نظر می‌رسد کاربرد سیلیس از طریق افزایش بیوستنز سیتوکینین می‌تواند باعث تحریک توسعه جوانه‌های جانبی و افزایش تعداد جوانه‌های گل در گیاه بشود (Markovich et al., 2017). برخی محققان نیز تأثیر سیلیس بر روی محتوای تنظیم کننده‌های رشد در گل داوودی (*Dendranthema grandiflorum*) را عامل بهبود برخی صفات از جمله تعداد و اندازه گل دانسته‌اند (Sivanesan et al., 2013). بر اساس نظر بیات و همکاران (Bayat et al., 2013) بالاتر بودن محتوای کلروفیل در تیمارهای سیلیس می‌تواند منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید بیشتر گل بشود. به علاوه، مشخص شده که سیلیس باعث تغذیه بهتر و استفاده مؤثرتر گیاه از عناصر ماکرو و میکرو می‌شود (Epstein, 1994) که تمام این امور باعث بهبود صفات زایشی و رویشی گیاه می‌گردد. در همین راستا، محققان گزارش کردند که استفاده از ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم در محلول غذایی رز بریده (*Rosa xhybrida* L.) رقم Hot Lady تعداد گل در بوته را افزایش داده است (Reezi et al., 2009). مطالعه اثر غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سیلیس بر روی گل همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) نیز نشان داد که با افزایش غلظت سیلیس تعداد گل در گیاه افزایش یافت که البته بین غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ اختلاف معنی‌داری از نظر این صفت وجود نداشت (Bayat et al., 2013).

به نظر می‌رسد که افزایش میزان سیلیس دریافتی توسط گیاه تا یک حد پهنه می‌تواند باعث افزایش تعداد گل در گیاه بشود و در مقادیر بالاتر سیلیس می‌تواند دارای اثر کمتر و یا حتی سمی یا ممانعت کننده باشد (Mali & Aery, 2009). بنا بر نظر برخی محققان، کاهش محتوای کلروفیل در غلظت‌های بالای سیلیس می‌تواند یکی از دلایل کاهش در برخی از



شکل ۱- اثر متقابل غلظت محلول پاشی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی بر تعداد گل زعفران در متر مربع (حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است)

Figure 1- Interaction of silicon concentrations for foliar application and the number of spraying times on the number of saffron flowers per m² (Different letters indicate statistically significant differences based on Duncan test ($p \leq 0.05$)).

فتوستتزی باعث افزایش وزن تر و خشک اندام‌ها به خصوص برگ‌ها می‌شود. همچنین محققان یکی از دلایل افزایش زیست توده در گیاهان را تأثیر سیلیس در افزایش رشد و استحکام ریشه دانسته‌اند که خود منجر به افزایش جذب مواد غذایی و در نتیجه افزایش رشد می‌شود (Ma & Yamaji, 2006).

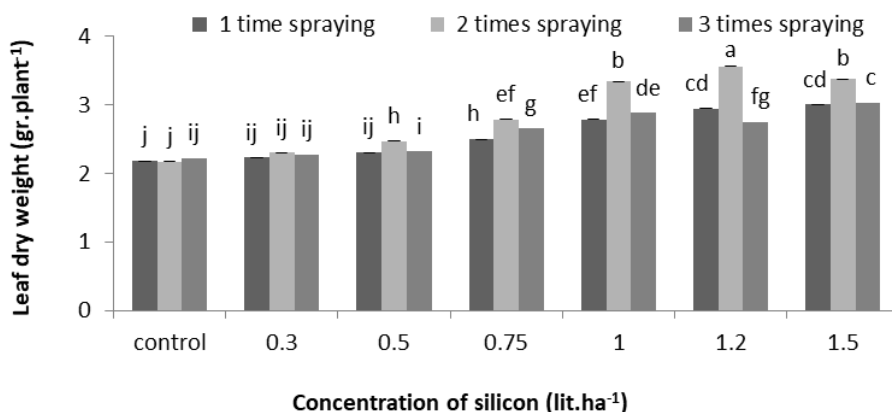
عاصمه و پور اکبر (Asemeh & Pourakbar, 2017) با بررسی اثر نانو ذرات سیلیکات (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و سیلیکات (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بر روی زعفران، گزارش کردند که نانوسیلیکات با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار باعث افزایش معنی دار در تعداد برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاه زعفران شد. محققان اثر غلظت‌های مختلف سیلیس (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) را بر ویژگی‌های گل رز رقم بورلی واتسون بررسی کرده و گزارش کردند که بیشترین وزن خشک برگ (۰/۳ گرم) در تیمار سیلیکات پتاسیم با غلظت ۲۰۰ میلی-گرم بر لیتر و کمترین وزن خشک برگ (۰/۱۸ گرم) در تیمار شاهد بود (Jaleel Zadeh et al., 2018). در یک پژوهش، مقادیر ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار سیلیس بر روی برنج مورد

وزن خشک برگ

اثر اصلی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک برگ در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نشان داد که حداکثر وزن خشک برگ (۳/۵۶ گرم/ گیاه) در تیمار ۱/۲ لیتر بر هکتار سیلیس در دو مرتبه محلول پاشی به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۶۴ درصد افزایش داشت. پس از آن دو بار محلول پاشی با غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار و ۱ لیتر در هکتار در مرتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند و وزن خشک برگ زعفران را به ترتیب به میزان ۵۵/۴ و ۵۴ درصد افزایش دادند (شکل ۲). کاربرد سیلیسیم باعث تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بیفسفات کربوکسیلاز (روبیسکو) در برگ می‌شود. این آنزیم وظیفه تنظیم سوخت و ساز دی اکسید کربن را بر عهده دارد و در نتیجه کارایی تثبیت کربن توسط گیاهان را افزایش می‌دهد (Adatia & Beasford, 1986). از طرفی سیلیسیم با افزایش مقدار کلروفیل و تعداد و سطح برگ‌ها باعث افزایش فتوستتزی می‌شود (Savvas & Ntatsi, 2015). لذا با افزایش میزان تولیدات

کرد که مصرف سیلیس با تحریک رشد گیاه باعث افزایش وزن خشک ساقه و برگ در گیاه برنج شد.

آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که وزن خشک برگ از ۱۳۱/۵ گرم در مترمربع به ۱۵۱/۶ گرم در مترمربع افزایش یافت (Gholami et al., 2015). فلاح (Fallah, 2000) نیز گزارش



شکل ۲- اثر متقابل غلظت محلول پاشی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی بر وزن خشک برگ زعفران (حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی-دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است)

Figure 2- Interaction of silicon concentrations for foliar application and the number of spraying times on the dry weight of saffron (Different letters indicate statistically significant differences based on Duncan test ($p \leq 0.05$)).

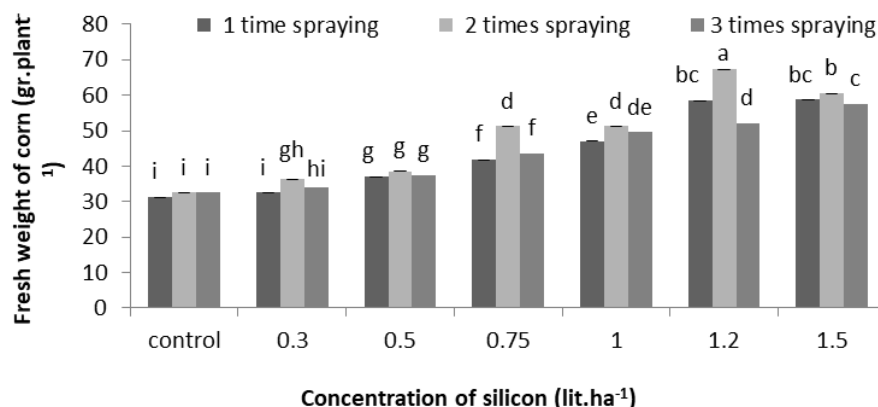
رسوب می‌کند و جلوی باز شدن کامل روزنه‌ها را می‌گیرد و لذا باعث کاهش تعرق روزنه‌ای نیز می‌شود که این عوامل سبب افزایش وزن تر اندام‌ها می‌شود (Liang et al., 2015). همچنین اثر سیلیس بر افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش سنتز آسیمیلات‌ها و ذخیره‌سازی آن در بنه‌ها یکی از عوامل تأثیر گذار در افزایش وزن بنه‌ها در گیاه گلائیول (*Gladiolus grandifloras*) ذکر شده است (Soad et al., 2015). در همین راستا، فهیمی و همکاران (Fahimi et al., 2017) در بررسی اثر سیلیس بر زعفران گزارش کردند که کاربرد یک میلی‌مولار سیلیکات کلسیم باعث افزایش ۵۶ درصدی در وزن بنه زعفران شد. مطالعه اثر سیلیس به صورت محلول پاشی و کاربرد خاکی با غلظت‌های صفر، ۵ و ۷/۵ میلی‌مول بر لیتر بر روی گیاه زیتنی نرگس (*Narcissus tazetta* L.) در یک مرحله و دو مرحله کاربرد نشان داد که دو مرحله کاربرد سیلیس

وزن تر بنه‌ها در مترمربع

اثر اصلی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی و اثر متقابل آنها بر وزن خشک برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). حداکثر وزن تر بنه‌ها در غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار و دو مرحله پاشش مشاهده شد (۶۷/۲۵ گرم/گیاه) که نسبت به تیمار شاهد (۳۲/۵ گرم/گیاه) ۱۰۶ درصد افزایش نشان داد. پس از آن تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار و دو نوبت پاشش (۶۰/۵ گرم/گیاه) با ۸۶ درصد افزایش نسبت به شاهد در رتبه بعدی قرار گرفت که با تیمارهای ۱/۲ لیتر در هکتار و ۱/۵ لیتر در هکتار و یک نوبت پاشش تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۳). بنا بر نظر محققان سیلیسیم از طریق ایجاد یک لایه دوگانه کوتیکول-سیلیکا به صورت سد مانع تعرق کوتیکولی می‌شود و همین عامل باعث حفظ آب گیاه می‌شود. از طرفی سیلیس در اطراف سلول‌های نگهبان روزنه و در دیواره سلولی این سلول‌ها

گلاجل (Gonzalez-Peres et al., 2014)، ژربرا (Kazemi et al., 2012) و داوودی (Sivanesan et al., 2013) گزارش کردند.

به صورت خاکی و سپس یک مرحله کاربرد خاکی و بعد از آن دو مرحله محلول پاشی و سپس یک مرحله محلول پاشی به ترتیب بیشترین وزن تر پیاز نرگس را تولید نمودند (El-Kinany & Nasser, 2019). سایر محققان نیز نتایج مشابهی را بر روی



شکل ۳- اثر متقابل غلظت محلول پاشی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی بر وزن تر بنه های زعفران (حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی-دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است)

Figure 3- Interaction of silicon concentrations for foliar application and the number of spraying times on the fresh weight of saffron corms (Different letters indicate statistically significant differences based on Duncan test ($p \leq 0.05$)).

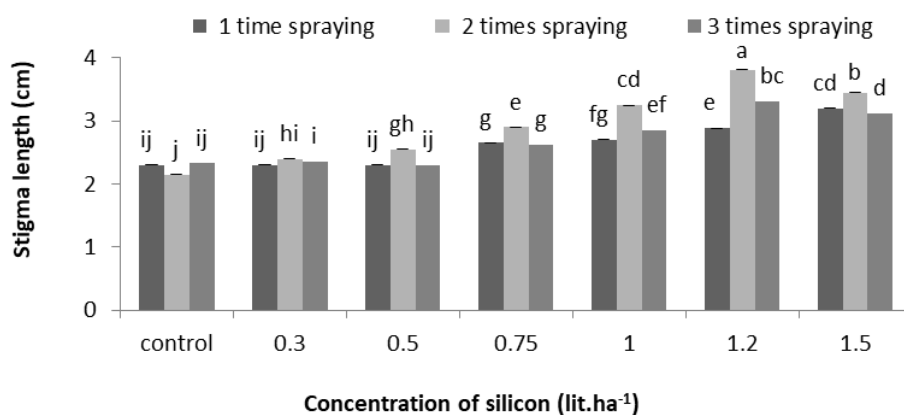
طول کلاله (2010). همچنین سیلیس در تحریک ساخت کلروفیل و حفظ بالانس آب گیاه مؤثر است که همه این عوامل باعث افزایش کارایی فتوسنتز می شود (Silva et al., 2012). معمولاً ساخت اجزای زایشی و به خصوص اندام های گل نظیر پرچم، کلاله، شهد و دانه گرده نیازمند صرف انرژی زیادی است. به عنوان مثال تولید قند موجود در شهد گل به ۳۷ درصد از تولیدات فتوسنتزی در یک روز نیاز دارد (Pacini & Nepi, 2007). همچنین ساخت سایر اجزای گل نیز فرآیند بسیار انرژی بری است و به ترکیباتی نظیر کربوهیدرات های سلولی، اسیدهای آمینه، پروتئین، نشاسته، استرول ها، لیپیدها و ویتامین ها نیاز دارد (Cruden, 2000). لذا محققان افزایش فتوسنتز در اثر تیمار سیلیس را دلیل بهبود صفات گل دانسته اند (Rubinowska et al., 2014). همچنین گزارش شده که سیلیس در متابولیسم

اثر اصلی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی و اثر متقابل آنها بر وزن خشک برگ در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین طول کلاله (۳/۸ سانتی متر) متعلق به تیمار ۱/۲ لیتر در هکتار و دو مرحله پاشش بود و پس از آن تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار در دو مرحله پاشش (۳/۴۵ سانتی متر) در رتبه بعدی قرار داشت که نشان می دهد این تیمار باعث افزایش بیش از یک سانتیمتر در طول کلاله نسبت به تیمار شاهد (۲/۱۵ سانتی متر) شده است (شکل ۴).

علیرغم اینکه سیلیس عنصر ضروری برای گیاه به شمار نمی رود، اما در برخی از واکنش های متابولیک نظیر جلوگیری از تجزیه کلروفیل ها نقش مهمی بازی می کند (Shen et al.,

اشاره کرد که بیان کردند اسید ارتوسیلیسیک با غلظت یک میلی مولار اثر افزایشی معنی داری بر طول کلاله زعفران داشت. در این پژوهش، طول کلاله از ۴/۱۷ سانتی متر (شاهد) به ۶/۳۵ سانتی متر (کاربرد سیلیس) افزایش یافت.

دیواره سلولی شرکت داشته و باعث افزایش رشد دیواره سلولی و در نتیجه افزایش طول سلول ها می شود (Romero-Aranda et al., 2006)، که این امر نیز می تواند از مکانیسم های تأثیرگذار در افزایش طول کلاله باشد. در تأیید نتایج پژوهش حاضر می توان به گزارش فهیمی و همکاران (Fahimi et al., 2018)



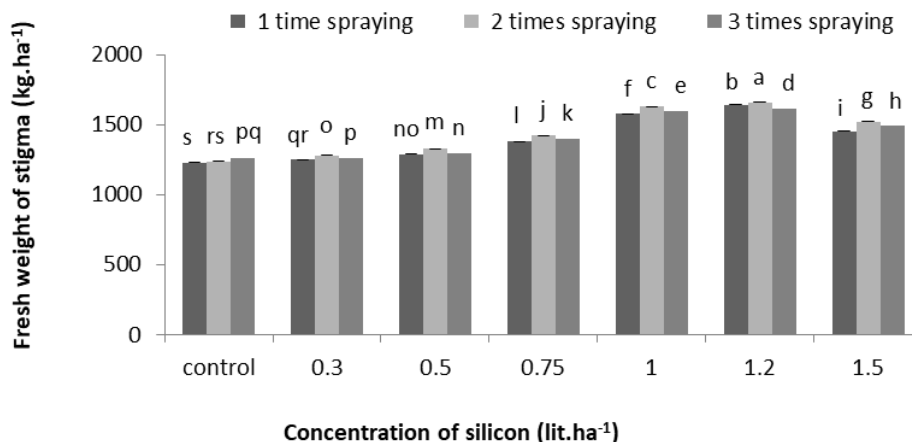
شکل ۴- اثر متقابل غلظت محلول پاشی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی بر طول کلاله زعفران (حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است)

Figure 4- Interaction of silicon concentrations for foliar application and the number of spraying times on the stigma length of saffron (Different letters indicate statistically significant differences based on Duncan test ($p \leq 0.05$)).

تر کلاله زعفران در این پژوهش مربوط به تیمار ۱/۲ لیتر سیلیس و دو بار پاشش (۱۶۵۶/۵ کیلوگرم در هکتار) بود و بعد از آن غلظت ۱/۲ لیتر و یک مرحله پاشش بالاترین وزن تر کلاله (۱۶۴۲/۵ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (شکل ۵). همچنین بیشترین وزن خشک کلاله (۱۴/۳۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۱/۲ لیتر در هکتار سیلیس و دو مرحله پاشش بود و پس از آن تیمار محلول پاشی سیلیس با غلظت یک لیتر در هکتار در دو مرحله پاشش بیشترین وزن خشک (۱۴/۰۵ کیلوگرم در هکتار) را داشت (شکل ۶).

وزن تر و خشک کلاله

اثر اصلی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی و اثر متقابل آنها بر وزن تر و خشک کلاله در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). با افزایش غلظت سیلیس تا ۱/۲ لیتر در هکتار، وزن تر و خشک کلاله زعفران روند افزایشی داشت و در غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار این دو پارامتر نسبت به تیمار ۱/۲ کاهش معنی دار اما نسبت به شاهد افزایش داشت (شکل ۵). این نتایج تأثیر وابسته به غلظت سیلیس (Dose dependent) بر روی زعفران را نشان می دهد. مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین وزن



شکل ۵- اثر متقابل غلظت محلول پاشی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی بر وزن تر کلاله زعفران (حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است)

Figure 5- Interaction of silicon concentrations for foliar application and the number of spraying times on the fresh weight of stigma of saffron (Different letters indicate statistically significant differences based on Duncan test ($p \leq 0.05$)).

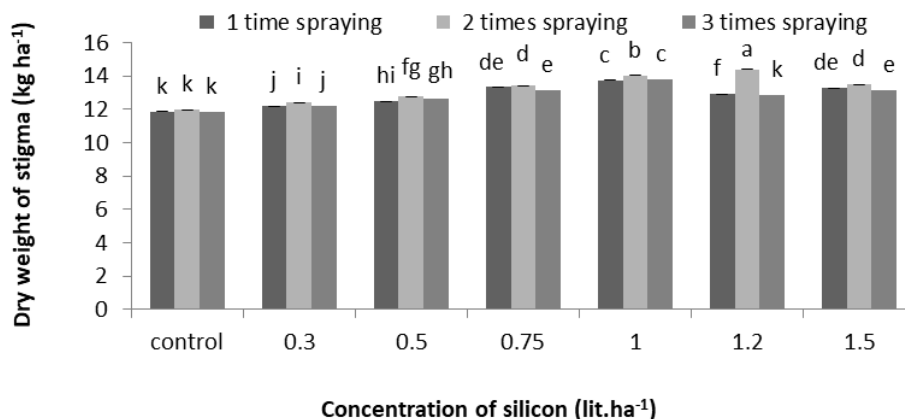
دادند و بیان نمودند که وزن خشک کلاله در تیمار کاربرد سیلیس نسبت به شاهد ۱۷ درصد افزایش یافت (Fahimi et al., 2018). همچنین نتایج کاربرد سیلیس در برخی گیاهان زینتی مانند نرگس (El-Kinany & Nasser, 2019) و گل داوودی (Hajipour et al., 2019) نیز حاکی از اثر افزایشی سیلیس بر وزن تر و خشک گل بود. البته اثر غلظت‌های مختلف سیلیس در گونه‌ها و ارقام مختلف متفاوت است (Rehman et al., 2016). بنا بر نظر برخی محققان، زمانی که غلظت سیلیس از سطح بهینه و معینی بالاتر می‌رود، جذب فعال سیلیس تبدیل به جذب غیر فعال شده و مقادیر زیادی سیلیس وارد گیاه می‌شود. این مقادیر بالای سیلیس در گیاه می‌تواند منجر به تنش اسمزی شده و اثرات مفید سیلیس را خنثی و حتی معکوس کند. بعلاوه، سیلیس محلول در غلظت‌های بالا به سرعت پلیمریزه شده و ماکرومولکول‌های پلی سیکلات را می‌سازد که به شکل کلوئیدی و بسیار پایدار بوده و به راحتی در گیاه جابجا نمی‌شوند (Ma et al., 2006). در همین راستا، رحمان و همکاران (Rehman et al., 2016) اثر غلظت‌های صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ میلی‌مولار سیلیس را بر خردل هندی

آسیمپلات‌های فتوسنتزی مانند کربوهیدرات‌ها عامل نفوذ آب و توسعه سلول‌ها هستند و با افزایش میزان کربوهیدرات‌ها و در نتیجه جذب آب و توسعه سلول‌ها فشار تورژسانس افزایش یافته و لذا وزن تر گلبرگ‌ها افزایش می‌یابد (Ichimura et al., 1999). مشخص شده که تیمار سیلیس باعث افزایش غلظت کل کربوهیدرات‌ها در برگ و بنه زعفران شده که نشان دهنده تنظیم اسمزی بهتر در سلول‌ها می‌باشد (Fahimi et al., 2017). همچنین استفاده از سیلیسیم باعث افزایش حداکثر کارایی فتوسیستم^۲ می‌شود (Jian-peng et al., 2009). احتمال می‌رود که سیلیس از طریق افزایش جذب عناصری مانند آهن که نقش مهمی در ایجاد تبادل بین فتوسیستم ۱ و ۲ دارند، در افزایش کارایی فتوسیستم ایفای نقش نماید (Bayat et al., 2012). لذا می‌توان گفت که سیلیس از طریق افزایش محتوای کلروفیل و افزایش کارایی فتوسنتز و نیز بهبود تنظیم اسمزی و جلوگیری از اتلاف آب سلول‌ها در افزایش وزن تر و خشک گیاه مؤثر است (Romero-Aranda et al., 2006).

در راستای تأیید نتایج مطالعه حاضر، محققان کاربرد یک میلی‌مولار اسید ارتوسیلیسیک را بر زعفران مورد مطالعه قرار

روزنه‌ای و در نتیجه کاهش کارایی مصرف آب، کاهش غلظت کلروفیل، کارایی فتوسنتز و پروتئین کل دانستند که همگی در کاهش تولیدات فتوسنتزی و در نتیجه کاهش رشد گیاه نقش دارند.

Brassica juncea) آزمایش کردند و مشاهده کردند که افزایش غلظت تا ۰/۸ میلی‌مولار باعث افزایش شاخص سطح برگ و وزن تر و خشک گیاه شد، درحالی‌که غلظت ۱/۶ میلی-مولار این پارامترها را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. آنان دلیل اثرات معکوس سیلیس در غلظت‌های بالا را کاهش هدایت



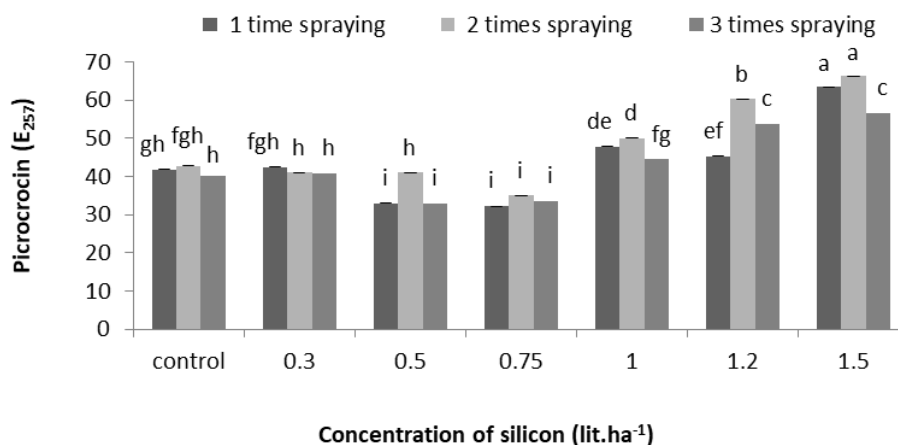
شکل ۶- اثر متقابل غلظت محلول پاشی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی بر وزن خشک کلاله زعفران (حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است)

Figure 6- Interaction of silicon concentrations for foliar application and the number of spraying times on the dry weight of stigma of saffron (Different letters indicate statistically significant differences based on Duncan test ($p \leq 0.05$)).

همین ماده می‌باشد (Atefi, 2006). تاکنون گزارشی مبنی بر تأثیر سیلیس بر میزان پیکروکروسین در زعفران ارائه نشده است. ولی مشخص شده مصرف کود زیستی به دلیل بهبود جذب عناصر توانسته باعث افزایش این ماده در زعفران بشود (Naghdi Abadi et al., 2011). ساخت ترپنوئیدها نیاز به ترکیبات فسفردار مانند ATP و NADPH دارد، لیکن برای تأمین انرژی لازم برای چرخه‌های آن، به نیتروژن وابسته است (Loomis & Corteau, 1972). از آنجائیکه سیلیس نیز با افزایش جذب عناصر غذایی (خصوصاً نیتروژن و فسفر) می‌تواند باعث بهبود رشد گیاه بشود (Mali & Aery, 2009)، لذا افزایش محتوای پیکروکروسین را نیز احتمالاً بتوان با افزایش محتوای عناصر غذایی در گیاه به دلیل کاربرد کود سیلیس مربوط دانست.

پیکروکروسین (عامل طعم)

اثر اصلی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی و اثر متقابل آنها بر محتوای پیکروکروسین در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین میزان پیکروکروسین (حدکثر جذب محلول آبی یک درصد در طول موج ۲۵۷ نانومتر برابر با ۶۶/۳۵ درصد) در غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار در دو مرحله پاشش به‌دست آمد که ۵۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. پس از آن تیمارهای ۱/۵ لیتر در هکتار در یک مرحله محلول پاشی و ۱/۲ لیتر در هکتار در دو مرحله محلول پاشی به ترتیب با ۵۲ و ۴۱ درصد افزایش نسبت به شاهد در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند (شکل ۷). پیکروکروسین گلیکوزیدی با فرمول C16H26O6 است که یک منوترپن آلدئید فاقد رنگ بوده و طعم تلخ زعفران مربوط به



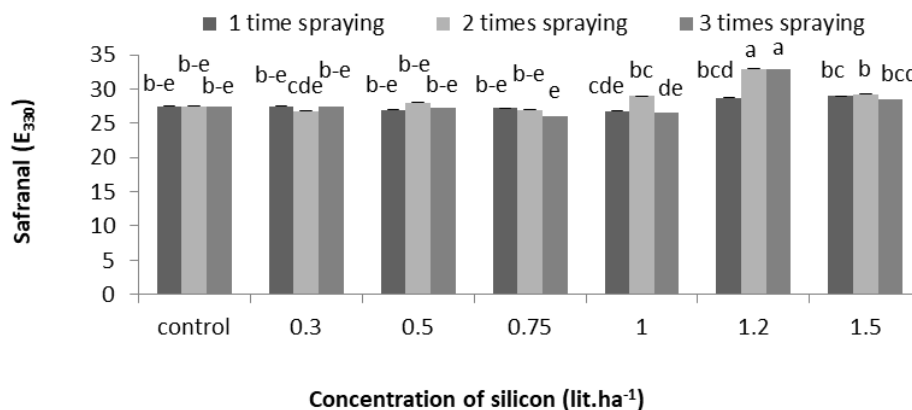
شکل ۷- اثر متقابل غلظت محلول پاشی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی بر میزان پیکروکروسین در زعفران (حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است)

Figure 7- Interaction of silicon concentrations for foliar application and the number of spraying times on the picrocrocinn content of saffron (Different letters indicate statistically significant differences based on Duncan test ($p \leq 0.05$)).

می توان یکی از دلایل بیشتر شدن میزان اسانس را افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه دانست که این افزایش می تواند منجر به تولید بیشتر اسانس شود (Evans, 1996). تاکنون گزارشی مبنی بر تأثیر سیلیس بر میزان سافرانال در زعفران ارائه نشده است. اما برخی گزارشات در رابطه با تأثیر سیلیس بر محتوای اسانس در برخی گیاهان وجود دارد. در یک تحقیق غلظت های صفر، ۱ و ۲ میلی مولار سیلیکات پتاسیم و سه دور آبیاری ۴، ۷ و ۹ روزه بر روی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد افزایش غلظت سیلیکات پتاسیم باعث روند افزایشی در میزان و عملکرد اسانس در شرایط تنش آبی و بدون تنش گردید (Mohammadnia et al., 2018). همچنین تغذیه برگی با ۵ میلی مولار سیلیکون باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) شد (Mosapour Yahyaabadi & Asgharipour, 2016).

سافرانال (عامل عطر)

اثر اصلی سیلیس بر محتوای سافرانال در سطح یک درصد و اثر تعداد دفعات محلول پاشی و اثر متقابل آن ها بر محتوای سافرانال زعفران در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین مقدار عامل عطر زعفران (حدکثر جذب محلول آبی یک درصد در طول موج ۳۳۰ نانومتر برابر با ۳۳ درصد) مربوط به تیمار محلول پاشی سیلیس در غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار در دو و سه مرحله پاشش بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۰ درصد افزایش داشت. سایر تیمارها تفاوت معنی داری با تیمار شاهد نداشتند (شکل ۸). سافرانال با فرمول $C_{10}H_{14}O$ اسانس فرار زعفران و مسئول بو و عطر آن است که در اثر جدا شدن قند از پیکروکروسین تولید می شود. غلظت این ترکیب پس از برداشت محصول و بسته به روش خشک کردن تغییر می نماید (Atefi, 2006). به نظر می رسد با توجه به تأثیر سیلیسیم در افزایش رشد و نمو گیاه،



شکل ۸- اثر متقابل غلظت محلول پاشی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی بر میزان سافرانال در زعفران (حروف مختلف نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است)

Figure 8- Interaction of silicon concentrations for foliar application and the number of spraying times on the safranal content of saffron (Different letters indicate statistically significant differences based on Duncan test ($p \leq 0.05$)).

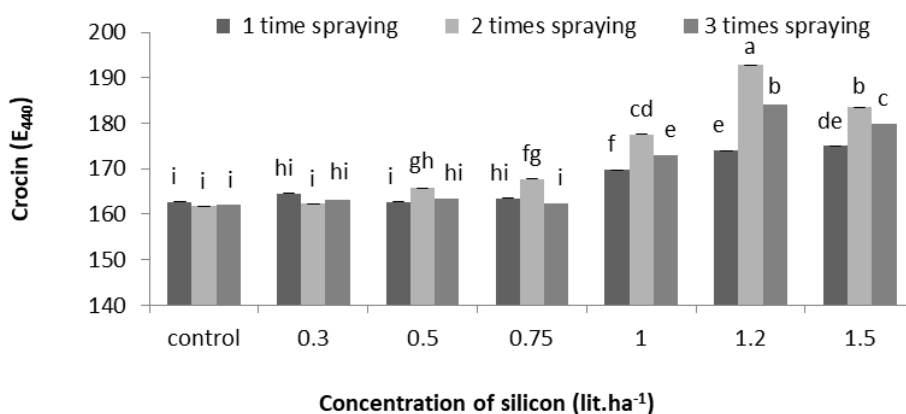
و با از بین بردن رادیکال‌های آزاد درون سلول، یک نقش حفاظتی در زمان تنش ایفا می‌کنند (Biaber et al., 2004). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که سیلیس در گیاهان یک عامل فعال کننده است. در واقع این عنصر ممکن است به‌عنوان علامتی برای فعال کردن پاسخ‌های دفاعی گیاه باشد (Cherf et al., 1994). افزایش کاروتنوئیدها در اثر استفاده از غلظت-های بهینه سیلیس احتمالاً می‌تواند با نقش فعال کنندگی سیلیس برای القای پاسخ‌های دفاعی گیاه در شرایط تنش ارتباط داشته باشد (Shen et al., 2010)، هر چند که پژوهش‌های بیشتری در این زمینه لازم است و تاکنون گزارشی مبنی بر تأثیر سیلیس بر میزان کروسین در زعفران ارائه نشده است. اما برخی گزارشات در رابطه با تأثیر سیلیس بر محتوای رنگدانه‌ای زعفران و برخی گیاهان وجود دارد. فهیمی و همکاران (Fahimi et al., 2017) گزارش کردند که سیلیکات کلسیم با غلظت یک میلی-مولار باعث افزایش محتوای رنگدانه‌ای (کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها) زعفران در شرایط تنش شوری و بدون تنش شوری شد. نتایج مطالعه اثر غلظت‌های صفر، ۰/۲، ۱، ۲، ۴ و ۶ میلی‌مولار سیلیکون بر روی ذرت (*Zea mays*) نیز نشان داد

کروسین (عامل رنگ)

اثر اصلی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی و اثر متقابل آنها بر محتوای کروسین در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). با افزایش غلظت سیلیس تا ۱/۲ لیتر در هکتار، محتوای کروسین کلاله زعفران روند افزایشی داشت و در غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار این پارامتر کاهش پیدا کرد (شکل ۹). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین مقدار کروسین (حدکثر جذب محلول آبی یک درصد در طول موج ۴۴۰ نانومتر برابر با ۱۹۲/۷۵ درصد) در تیمار ۱/۲ لیتر در هکتار در دو مرحله محلول پاشی سیلیس به دست آمد که نسبت به شاهد ۱۸/۴۳ درصد افزایش نشان داد. پس از آن، تیمارهای ۱/۲ لیتر در هکتار در سه مرحله پاشش و تیمار ۱/۵ لیتر در هکتار در دو مرحله پاشش با ۱۳/۴۴ درصد افزایش نسبت به شاهد در رده بعدی قرار گرفتند (شکل ۹). نتایج مطالعه حاضر، تأثیر وابسته به غلظت سیلیس روی محتوای کروسین زعفران را تأیید می‌کند. کروسین با فرمول $C_{44}H_{64}O_{24}$ یکی از چند کاروتنوئید موجود در طبیعت است که عامل رنگ در زعفران می‌باشد (Atefi, 2006). کاروتنوئیدها جزو ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که بخشی از سیستم دفاعی غیر آنزیمی در گیاهان بوده

رنگدانه‌ای گیاه می‌شود. همچنین گزارش این محققان نشان داد که سیلیکون در غلظت ۱ میلی‌مولار دفاع آنتی‌اکسیدانی را فعال تر کرده در حالیکه در غلظت‌های بالاتر، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را نسبت به شاهد کاهش داده است (Delavar et al., 2019). رحمان و همکاران (Rahman et al., 2016) نیز نتایج مشابهی را در ارتباط با سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در گیاه خردل هندی مشاهده کردند.

که سیلیکون با غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار باعث افزایش محتوای رنگدانه‌ای (کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها) گیاه شد. همچنین سیلیکون در غلظت‌های بهینه محتوای عناصر غذایی (بخصوص پتاسیم و آهن و کلسیم) در گیاه ذرت را افزایش داد و در غلظت‌های بالاتر، محتوای عناصر غذایی را کاهش داد. بر اساس نظر این محققان، احتمالاً سیلیس در غلظت‌های بهینه از طریق افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش محتوای



شکل ۹- اثر متقابل غلظت محلول پاشی سیلیس و تعداد دفعات محلول پاشی بر میزان کروسین در زعفران (حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است)

Figure 9- Interaction of silicon concentrations for foliar application and the number of spraying times on the crocin content of saffron (Different letters indicate statistically significant differences based on Duncan test ($p \leq 0.05$)).

(عامل طعم) نیز در غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار در دو نوبت پاشش به‌دست آمد. لذا بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد سیلیس با غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار در دو مرحله پاشش بهترین تیمار برای افزایش شاخص‌های کمی و کیفی زعفران بود.

قدردانی

نویسندگان، از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه پیام نور به دلیل حمایت مالی از این پژوهش، سپاسگزاری می‌نمایند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که سیلیس در غلظت‌های بهینه می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش شاخص‌های کمی و کیفی زعفران بگذارد. در این پژوهش، کاربرد سیلیس با غلظت ۱/۲ لیتر در هکتار در دو نوبت پاشش، توانست باعث استحصال بیشترین تعداد گل در بوته، وزن خشک برگ، وزن تر بنه‌ها، طول کلاله، وزن تر و خشک کلاله، سافرانال (عامل عطر) و کروسین (عامل رنگ) بشود. بیشترین میزان پیکروکروسین

منابع

- Adatia, M.H., and Besford, R.T. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany* 58: 343-351.
- Ahmad, M., Hassen F., and Khurshid, Y. 2011. Dose silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agricultural Water Management* 98 (12): 1808-1812.
- Amini Darbandi, K., and Pour Akbar, L. 2016. Effect of silicate, titanium and silver nanoparticles on some physiological and biochemical factors of saffron under UV-B stress. 19th National and 7th International Congress of Biology, 30 Aug-1 Sep 2016. University of Tabriz, Iran.
- Artyszak, A., Gozdowski, D., and Kucinska, K. 2016. Effect of foliar fertilization with silicon on the chosen physiological features and yield of sugar beet. *Fragmenta Agronomica* 33 (2): 7-14.
- Asemeh, M., and Pourakbar, L. 2017. Effect of silicate nanoparticles on some physiological and biochemical parameters of saffron (*Crocus sativus* L.) under salt stress. M.Sc. Thesis, Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran. (In Persian with English Summary).
- Askarnejad, M., Sodaeei Zadeh, H., Mosleh Arani, A., Yazdani Biouki, R., and Mavandi, P. 2019. Effect of silicon on increasing drought tolerance of *stevia rebaudiana* Bertoni under moisture stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12: 847-863. (In Persian with English Summary).
- Atefi, M. 2006. Saffron, Chemistry, Quality, Control Processing. Beinsonahrein Publication.
- Bayat, H., Nemati, S.H., and Selahvarzi, Y. 2012. Effect of silicon on growth and some physiological characteristics of Persian petunia (*Petunia hybrida*). *Journal of Horticultural Science* 26: 10-16. (In Persian with English Summary).
- Bayat, H., Alirezaie, M., Nemati, H., and Abdollahi saadabad, A. 2013. Effect of silicon on growth and ornamental traits of salt-stressed calendula (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Ornamental Plants* 3 (4): 207- 214.
- Biaber, B., Cureuett, J.T., and Kipnes, R.S. 2004. Biologic defense mechanisms. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 85: 235-244.
- Cai, K., Gao, D., Chen, J., and Luo, S. 2009. Probing the mechanisms of silicon-mediated pathogen resistance. *Plant Signal Behavior* 4 (1): 1-3.
- Cherf, M., Menzies, J.G., Ehret, D.L., Bopgdanoff, C., and Belanger, R.R. 1994. Yield of cucumber infected with *Pythium aphanidermatum* when grown with soluble silicon. *Horticultural Science* 29: 896-897.
- Cruden, R.W. 2000. Pollen grains: why so many? *Plant Systematic and Evolution* 222: 143-165.
- Crusciol, C.A.C., Pulz, A.L., Lemos, L.B., Soratto, R.P., and Lima, G.P.P. 2009. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Science* 49: 949-954.
- Delavar, K., Ghanati, F., Zare-Maivan, H., and Behmanesh, M. 2019. Effects of silicon nutrition on the physiological parameters of maize. *Journal of Plant Process and Function* 7 (27): 45-58. (In Persian with English Summary).
- El-kinany, R.G., and Nasser, A.M.K. 2019. Effect of silicon levels and application methods on growth and quality characteristics of *Narcissus tazetta* L. *Alex Journal of Agricultural Science* 64 (4): 231-243.
- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of National Academy of Sciences, USA*. 91 (1): 11-17.
- Evans, W.C. 1996. *Pharmacognosy. Volatile Oils*

- and Resins. 14th Edition. John Wiley. New York.
- Fahimi, J., Bouzoubaa, Z., Achemchem, F., Saffah, N., and Mamouni, R. 2017. Effect of silicon on improving salinity tolerance of talioune *crocus sativus* L. *Acta Horticulture* 1184: 219-228.
- Fahimi, J., Bouzoubaa, Z., Achemchem, F., Saffah, N., and Mamouni, R. 2018. Effect of silicon application on taliouine *Crocus sativus* L. cultivation under salt stress. *International Journal of Research Granthaalayah* 6 (9): 291-300.
- Fallah, A. 2000. Effects of silicon and nitrogen on growth, lodging and spiklet filing in rice (*Oryza sativa* L.) Ph.D. Dissertation, University of the Philippines Los Banos . Philippine..
- Gholami, Y., Derakhshan Shadmehri, A., Gholami, A., Falah, A., and Gholipor, M. 2015. Effect of different sources and amounts of silicon fertilizer on growth, yield and infestation rate of stem borer in two rice cultivars of Hashemi Tarom and 843 lines. *Journal of Agronomy Sciences* 5 (10): 53-64. (In Persian with English Summary).
- Gong, H.Z., Chen, K., Wans, S., and Zhang, C. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science* 169: 313-321.
- Gonzalez-Peres, E., Ayala-Garay, O.J., and Yanes-Morales, M.J. 2014. Indications that some nutritional elements can improve gladiolus corm and cromel qualities in Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research* 74 (1): 67-72.
- Grilli-Caiola, M. 2004. Saffron Reproductive Biology. Proceedings of the First International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology. Albacete, Spain. 22-25 October 2003. p. 25-37.
- Hajipour, H., Jabbarzadeh, Z., and Rasouli Sadaghiani, M.H. 2019. Effect of foliar application of silica on some growth, biochemical and reproductive characteristics and leaf elements of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* cv. Fellbacher Wein). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 10 (1): 29-46. (In Persian with English Summary).
- Ichimura, K., Kojima K., and Goto, R. 1999. Effects of temperature, 8-hydroxyquinoline sulphate and sucrose on the vase life of cut rose flowers. *Postharvest Biology and Technology* 15 (1): 33-40.
- INSO. 2006. Iranian National Standards Organization. (In Persian)
- Jaleel Zadeh, E., Jabbar zadeh, Z., and Nowrouzi, P. 2018. Effect of spraying of different source and concentrations of silicon on some morphological and physiological characteristics of Rose cv Beverly Watson. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 9 (3): 65-77. (In Persian with English Summary).
- Jian-peng, F., Qing-hua, S., and Xiu-feng, W. 2009. Effects of exogenous silicon on photosynthetic capacity and antioxidant enzyme activities in chloroplast of cucumber seedlings under excess manganese. *Agricultural Science in China* 8 (1): 40-50.
- Kamenidou, S., and Cavins, T.J. 2008. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflower. *Horticulturae Science* 43 (1): 236-239.
- Kazemi, M., Gholami, M., and Hassanvand, F. 2012. Effect of silicon on antioxidative defense system and membrane lipid peroxidation in gerbera cut flower. *Asian Journal Biochemistry* 7 (3): 171-176.
- Khoshgoftarmanesh, A.H. 2007. Principles of Plant Nutrition. Isfahan University of Technology Press. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A.R., Najibnia, S., and Lalehgani, B. 2009. Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7 (1): 175-184. (In Persian with English Summary).

- Koocheki, A.R., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Azimi, R. 2012. The effect of irrigation intervals and intercropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corms for climate change adaptation. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (3): 390-400. (In Persian with English Summary).
- Liang, Y., Nikolic, M., Belanger, R., Gong, H., and Song, A. 2015. Silicon in Agriculture: from Theory to Practice. Springer, Netherlands.
- Loomis, W.D., and Corteau, R. 1972. Essential oil biosynthesis. Journal of Recent Advance in Phytochemistry 6: 147-185.
- Ma, J.F., and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trend in Plant Science 11 (8): 392-397.
- Mahdavi, M., Esmailpour, B., and Fatemi, H. 2018. Effect of silicon nutrition on growth and physiology of spearmint (*Mentha spicata*) under cadmium stress condition. Iranian Journal of Horticultural Sciences 49 (1): 185-198. (In Persian with English Summary).
- Malakouti, M.J., and Homayi, M. 2004. Fertile Soil of Arid Regions, "Problems and Solutions". Second edition. Tarbiat Modarres University Press. Iran. (In Persian).
- Mali, M., and Aery, N.C. 2008. Silicon effects on nodule growth, dry matter production, and mineral nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). Journal of Plant Nutrition and Soil Science 171: 835-840
- Mali, M., and Aery, N.C. 2009. Effects of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. Communications in Soil Science and Plant Analysis 40: 1041-1052.
- Markovich, O., Steiner, E., Kouril, S., Tarkowski, P., Aharoni, A., and Elbaum, R. 2017. Silicon promotes cytokinin biosynthesis and delays senescence in Arabidopsis and Sorghum. Plant Cell and Environment 40: 1189-1196.
- Mirabbasi Najafabadi, N., Nikbakht, A., Etemadi, N., and Sabzalian, M.R. 2013. Effect of different concentrations of potassium silicate, nano-silicon and calcium chloride on concentration of potassium, calcium and magnesium, chlorophyll content and number of florets of Asian lily cv. Brunello. Journal of Science and Technology 4 (2): 41-50. (In Persian with English Summary).
- Mirzapour, M.H., and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2009. Iron fertilization effects on growth, yield and oil seed content of sunflower grown on a saline-sodic calcareous soil. Agricultural Research 8 (4): 61-74. (In Persian with English Summary).
- Mohammadnia, R., Rezaei Nejad, A., and Bahraminejad, S. 2018. Effect of irrigation interval and silicon on some morpho-physiological and biochemical properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Horticultural Sciences 49 (1): 37-45. (In Persian with English Summary).
- Mosapour Yahyaabadi, H., and Asgharipour, M.R. 2016. Effect of silicon foliar application on yield and some physio-chemical properties of fennel under limited irrigation. Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture) 17 (4): 1035-1048. (In Persian with English Summary).
- Naghdi Abadi, H., Omid, H., Golzad, A., Torabi, H., and Fotookian, M.H. 2011. Change in crocin, safranal and picrocrocin content and agronomical characters of saffron (*Crocus sativus* L.) under biological and chemical of phosphorous fertilizers. Journal of Medicinal Plants 10 (40): 58-68. (In Persian with English Summary).
- Pacini, E., and Nepi, M. 2007. Nectar production and presentation. In S.W., Nicolson, M. Nepi, and E. Pacini (eds). Nectaries and Nectar. Springer, Dordrecht. p. 167-214.
- Reezi, S., Babalar, M., and Kalantari, S. 2009. Silicon alleviates salt stress, decreases

- malondialdehyde content and affects petal color of salt-stressed cut rose (*Rosa ×hybrida* L.) "Hot Lady". *African Journal of Biotechnology* 8 (8): 1502-1508.
- Reezi, S., Mohammadi, L., and Barzegar, R. 2018. Increasing nutritional absorption and photosynthetic pigments by silicon spray in new Guinea impatiens (*Impatiens hawkeri*) in soilless conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science* 49 (1): 223-230. (In Persian with English Summary).
- Rehman, B., Yusuf, M., Alam Khan, T., Fariduddin, Q., Hayat, Sh., and Ahmad, A. 2016. Silicon elicited varied physiological and biochemical responses in Indian mustard (*Brassica juncea*): a concentration dependent study. *Occupied Palestine Journal of Plant Science* 63 (3): 1-9.
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O., and Cuartero, J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant grow by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology* 163: 847-855.
- Rubinowska, K., Pogroszewska, E., Laskowska, H., Szot, P., Zdybel, A., Stasiak, D., and Kozak, D. 2014. The subsequent effect of silicon on physiological and biochemical parameters of *Polygonatum multiflorum* L. All. "Variegatum" cut shoots. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 13 (1): 167-178.
- Savvas, D., and Ntatsi, G. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 66-81.
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A.E., and Li, J. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of Plant Physiology* 167 (15): 1248-1252.
- Silva, O.N., Lobato, A.K.S., Martins Filho, A.P., Lemos, R.P., Pinho, J.M., Medeiros, M., Cardos, M.S., and Avila, F.W. 2012. Silicon contributes to increase chlorophyll and this response is modulated by leaf water potential in two tomato cultivars exposed to water deficiency. *Plant Soil Environment* 58: 481-486.
- Sivanesan, I., Son, M.S., Song, J.Y., and Jeong, B.R. 2013. Silicon supply through the sub irrigation system affects growth of three chrysanthemum cultivars. *Horticultural Environment and Biotechnology* 54 (1): 14-19.
- Soad, A., Khenizy, M., and Ibrahim, H.E. 2015. Effect of silicon and or NPK treatment on growth, flowering and corm production in gladiolus. *Egyptian Journal of Horticulture* 42 (2): 839-851.
- Statistical Center of Iran. 2017. Statistical yearbook of Khorasan Razavi province. Chapter One. (In Persian).
- Statistical Center of Iran. 2018. Statistical Yearbook of Khorasan Razavi province. Chapter One. (In Persian).
- Torabi, F., Majd, A., Enteshari, Sh., and Irian, S. 2013. Study of effect of silicon on some anatomical and physiological characteristics of borage (*Borago officinalis* L.) in hydroponic conditions. *Journal of Cell and Tissue* 4 (3): 275-285. (In Persian with English Summary).
- Tripathi, D.K., Rai, P., Guerriero, G., Sharma, S., Corpas, F.J., and Singh, V.P. 2021. Silicon induces adventitious root formation in rice under arsenate stress with involvement of nitric oxide and indole-3-acetic acid. *Journal of Experimental Botany* 72 (12): 4457-4471.
- Zare, F., Khorasaninenezhad, S., and Hemmati, Kh. 2018. The effect of silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of Purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology* 10 (37): 55-68. (In Persian with English Summary).

Effect of Concentration and Frequency of Silica Foliar Application on Quantitative and Qualitative Characteristics of Saffron

Mansor Kermani^{1} and Shahram Amirmoradi²*

Submitted: 19 December 2020

Accepted: 6 November 2021

Kermani, M., and Amirmoradi, Sh. 2022. Effect of Concentration and Frequency of Silica Foliar Application on Quantitative and Qualitative Characteristics of Saffron. *Saffron Agronomy & Technology*, 9(4): 323-341.

Abstract

This research was carried out as a factorial experiment based on randomized block design with four replications on a three-year saffron farm in Mashhad in the 2017/2018 crop-calendar year. The experimental factors were different concentrations of silica (0, 0.3, 0.5, 0.75, 1, 1.2, and 1.5 lit.ha⁻¹) and the number of spraying times (Once, twice, and three times). Silica spraying (with Crapsil brand) was performed on February 6, March 1, and March 6, 2017. The results showed that the main effect of silica, the number of sprays, and their interaction on all studied traits were significant. Mean comparisons of the experimental factors revealed that at the concentration of 1.2 lit/ha silica and two times of spraying, recorded values of measured traits were as the highest number of flowers per plant (693 flowers), dry leaf weight (3.56 g.plant), fresh weight of corm (67.25 g.plant), stigma length (3.8 cm), fresh and dry weight of stigma (1656.5 and 14.39 kg.ha⁻¹ respectively), Safranal (33%) and crocin (192.75%). The highest amount of picrocrocin (66.35%) was obtained at the concentration of 1.5 lit/ha and two times of spraying. Therefore, the application of silica with a concentration of 1.2 lit.ha⁻¹ at two stages of spraying was the best treatment and, compared with the control treatment, was able to increase the number of flowers per plant, fresh weight of corms, and dry weight of stigma 26.5, 106 and 21.2 percent, respectively.

Keywords: Picrocrocin, Silica, Crocin, Stigma, Safranal

1 -Assistant Professor, Department of Agriculture, Payam Noor university, Iran

2-Assistant Professor, Department of Agriculture, Payam Noor university, Iran

(* - Corresponding author Email: mkermani20@gmail.com)

DOI: 10.22048/jsat.2021.269270.1419