

تأثیر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر رشد و نمو همیشه‌بهار در شرایط تنش کم‌آبی

عطیه اورعی، محمود شور*، آسیه مروی، سعید ابراهیمی، فاطمه عمرانی، راحله حسین‌زاده، پوران شریعتی و

فائزه شکوری‌فر

گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷)

چکیده

صنعت اقتصادی گیاهان زینتی به دلیل تغییرات اقلیمی در معرض محدودیت‌های زیست‌محیطی زیادی مانند خشکی است، از این رو کاربرد موادی جهت تخفیف این تنش‌ها امری ضروری به‌شمار می‌آید. در آزمایشی گلدانی، اثر سیلیکات پتاسیم بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل همیشه‌بهار تحت تنش کمبود آب مورد بررسی قرار گرفت. تیمار کم‌آبی در چهار سطح شامل ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و سیلیکات پتاسیم در سه غلظت (صفر، ۱ و ۳ میلی‌مولار) بود. نتایج نشان داد که کم‌آبی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به طور قابل توجهی باعث کاهش محتوای آب نسبی برگ (۱۰/۶ درصد) و صفات رویشی گیاه (ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک) در مقایسه با ۹۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط بدون محلول پاشی شد. افزایش نشت یونی، به‌عنوان شاخص آسیب اکسیداتیو در گیاهان تحت تنش کم‌آبی مشاهده شد. در پاسخ به اکسیداتیو ناشی از تنش کم‌آبی، میزان کلروفیل، کربوهیدرات و غلظت پرولین نسبت به شاهد افزایش یافت. محلول پاشی سیلیکات پتاسیم به میزان ۳ میلی‌مولار سبب افزایش میزان کلروفیل a (۹۲ درصد)، کلروفیل b (۷۴ درصد) و کلروفیل کل (۷۳ درصد) در شرایط تنش ۶۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد شد. تعداد و قطر گل در تیمار ۳ میلی‌مولار نسبت به گیاهان بدون محلول پاشی به ترتیب، ۳۹ و ۱۶ درصد افزایش یافت. با توجه به نتایج، محلول پاشی سیلیکات پتاسیم در غلظت ۳ میلی‌مولار، اثرات منفی تنش کم‌آبی بر صفات رشدی گیاه همیشه‌بهار نظیر سطح برگ و وزن خشک گیاه را کاهش داد و سبب افزایش میزان اسانس در گیاه گردید. بدین ترتیب استفاده از ۳ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم قبل از انتقال گیاهان به شرایط محیطی می‌تواند از آسیب‌های ناشی از کم‌آبی جلوگیری نماید.

کلمات کلیدی: گیاه زینتی، سیلیس، تنش خشکی، اسانس

مقدمه

در شرایط کمبود آب را با اجتناب از تنش یا تحمل استرس پاسخ می‌دهند. این پاسخ‌ها به آن‌ها اجازه می‌دهد که زنده بمانند و حتی رشد خود را در این شرایط حفظ نمایند (Bandurska, 2022).

رشد و نمو گیاهان توسط انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی مانند خشکی محدود شده و این امر منجر به کاهش عملکرد گیاهان زینتی می‌شود (Gunes et al., 2008). گیاهان واکنش‌های فیزیولوژیکی و همچنین استراتژی‌های اکولوژیکی

* نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: shoor@um.ac.ir

Kleiber et al., 2008) (Tagetes patula L.) گل جعفری و (Pei et al., 2020) (Triticum aestivum L.) و گندم (2009) به اثبات رسیده است. علاوه بر این، گزارش شده است که سیلیکون می‌تواند رشد و تولید گیاه مینای چمنی (Bellis perennis L.) را با افزایش فعالیت آنزیمی و فتوسنتز در شرایط تنش‌زا افزایش دهد (Oraee and Tehranifar, 2022). گل‌های زینتی به دلیل داشتن سیستم ریشه کم‌عمق و سطح برگ زیاد، نیاز به آب زیادی دارند و همچنین به کمبود آب نیز حساس هستند (Zollinger et al., 2006). اگر چه مطالعات زیادی در مورد نقش سیلیکات پتاسیم در کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی در چندین گیاه انجام شده است، به نظر می‌رسد تحقیقات جامع کمی در مورد اثر سیلیکات پتاسیم بر گیاه زینتی مانند همیشه‌بهار در شرایط کم‌آبی انجام شده باشد. از این‌رو، هدف از این مطالعه بررسی اثر سیلیس و پتاسیم به صورت هم‌زمان بر رشدونمو گیاه همیشه‌بهار در شرایط تنش آبی است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از اوایل زمستان تا اواخر بهار ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. بذره‌های همیشه‌بهار رقم آلفا (Alpha) که از شرکت تاکی تهیه شدند و در سینی‌های کشت حاوی کوکوپیت، پرلیت و پیت‌ماس کشت شدند و در گلخانه‌ای با دمای حداقل ۱۸ و حداکثر ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان رطوبت ۳۱/۴ درصد قرار داده شدند و در مرحله چهار برگی (دو بوته در هر گلدان) در گلدان‌های پلاستیک (سطح ۴) حاوی ۳/۸ کیلوگرم خاک کشت شدند. مخلوط شامل خاک، کود دامی، ماسه (۳: ۱: ۱، v/v/v) بود و گلدان‌ها دارای بافت لومی شنی بودند. در جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش گزارش شده است. گلدان‌ها، صبح‌ها یک روز در میان آبیاری شدند و هر دو هفته یکبار کوددهی صورت گرفت. پس از چهار ماه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سه سطح آبیاری بدون تنش، ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، استرس

سیلیکون (Si) به‌عنوان دومین عنصر فراوان روی زمین، هنوز به‌عنوان عنصر ضروری برای گیاهان عالی در نظر گرفته نشده است. با این حال، عموماً پذیرفته شده است که Si دارای اثرات مفیدی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزیستی از جمله بیماری‌ها، آفات، خشکسالی و عدم تعادل مواد مغذی است (Coskun et al., 2016; Wang et al., 2017; Ali et al., 2020). سیلیکون به‌طور مثبت بر رشدونمو بسیاری از گیاهان تحت شرایط تنش تأثیر می‌گذارد (Ma and Yamaji, 2008). مکانیسم‌های کلیدی کاهش تنش‌های غیرزیستی با واسطه Si در گیاهان عالی شامل تحریک سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان، کمپلکس‌شدن، رسوب هم‌زمان یون‌های فلزی سمی با سیلیکون، تثبیت یون‌های فلزی سمی محیط رشد، فرآیندهای جذب، در گیاهان است (Liang et al., 2007).

از بین بردن رادیکال‌های آزاد یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های دفاعی در گیاهان برای تحمل شرایط تنش است (Sharma et al., 2012). مکانیسم احتمالی که توسط آن Si باعث افزایش تحمل گیاه به تنش‌های زنده و غیرزیستی می‌شود، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای اسمولیت‌ها است (Liang et al., 2007). سیلیکون توانایی حذف رادیکال‌های اکسیژن آزاد از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را بهبود می‌بخشد (Tripathi et al., 2017). کاربرد Si به شکل سیلیکات پتاسیم باعث بهبود فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در گیاه پیچ امین‌الدوله (Lonicer japonica L.) تحت شرایط شوری (Gengmao et al., 2015) شد. Bukhari و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که استفاده از سیلیکون در گیاهان کلزا (Brassica napus L.) که تحت تنش کمبود آب قرار گرفتند باعث سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی بیشتری شد.

گل همیشه‌بهار (Calendula officinalis) یکی از محبوب‌ترین گیاهان زینتی است که در جهان تولید می‌شود که به دلیل مقاومت به شرایط محیطی بسیار مورد توجه است (Naguib et al., 2005). نقش مثبت سیلیکون در کاهش تنش خشکی در گل آفتابگردان (Helianthus annuus L.) (Gunes

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

رس	شن	ماسه	EC (dS m ⁻¹)	pH	ظرفیت زراعی	مواد آلی	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
						(درصد)	(درصد)	(میلی گرم در کیلوگرم)		
۲۸	۳۳	۴۰	۱/۹	۷/۷۸	۲۲	۲	۰/۸۸	۰/۲	۲۰	۴۳۰

خفیف ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، استرس شدید ۷۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، و سه سطح از تیمارهای صفر، ۱ و ۳ میلی مولار سیلیکات پتاسیم (K₂SiO₃) اجرا شد (تیمار بدون محلول پاشی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد). تیمارهای سیلیکات پتاسیم سه هفته به صورت محلول پاشی برگی انجام شدند. سپس گیاهان به مدت حدود یک ماه تحت سه رژیم آبی قرار گرفتند. به منظور کنترل دقیق میزان رطوبت خاک از روش وزنی استفاده شد. پیش از شروع آزمایش، چندین گلدان به طور کامل آبیاری شدند تا آب از تمامی خلل و فرج آن به طور کامل خارج گردید. سپس پلاستیکی روی گلدان ها کشیده شد. تا تبخیر و تعرق حذف گردد. بعد از ۲۴ ساعت، هر دو ساعت یک بار گلدان ها وزن شدند تا زمانی که وزن گلدان ها در دو ساعت متوالی یکسان شد، سپس با استفاده از استوانه فلزی مخصوص نمونه گیری خاک نمونه ای تهیه شد و به آزمایشگاه منتقل گردید و وزن تر اندازه گیری و وزن خشک آن نیز پس از قرارگیری در آن ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت محاسبه گردید. میزان رطوبت وزنی برای وضعیت زراعی براساس معادله ۱ محاسبه شد:

$$FC = (A - B) / B \times 100$$

وزن خاک مرطوب پس از خروج آب A: در این معادله وزن خاک خشک شده در دمای ۱۰۵ درجه به مدت B: ثقلی و ۴۸ ساعت است. از آنجا که در هر یک از گلدان ها، مقدار خاک از نظر کمی و کیفی یکسان بود و همچنین به دلیل اینکه درصد رطوبت وزنی خاک استفاده شده ۲۲ درصد بود. رطوبت خاک روزانه توسط روش وزنی کنترل می شد (Campbell and Mulla, 1990) و هر روز بعد از وزن گلدان، میزان آب مورد نیاز در هر تیمار در دسترس گیاه قرار گرفت.

پس از اعمال تنش کم آبی صفات فیزیولوژیکی و رشدی گیاه اندازه گیری شد.

نشت الکترولیت و محتوای نسبی آب: نشت الکترولیت همان طور که توسط Lutts و همکاران (۱۹۹۶) توضیح داده شد، با استفاده از شش دیسک برگ جوان (با قطر ۱۰ میلی متر) برای هر تیمار تعیین شد. نمونه ها سه بار با آب دیونیزه شسته شدند، در یک لوله در بسته حاوی ۱۰ میلی لیتر آب دیونیزه قرار داده شدند و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. پس از آن، هدایت الکتریکی محلول اولیه تعیین شد. سپس نمونه ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و آخرین رسانایی الکتریکی پس از تعادل در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به دست آمد، سپس نشت الکترولیت محاسبه شد. به منظور تعیین محتوای نسبی آب برگ، از هر واحد آزمایشی تعدادی برگ کاملاً توسعه یافته جدا شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد. از هر برگ پنج دیسک به قطر یک سانتی متر تهیه و وزن تازه آن اندازه گیری شد. سپس دیسک ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر غوطه ور شدند و آب مقطر تخلیه شده و رطوبت اضافی با استفاده از کاغذ صافی حذف شد. وزن دیسک ها (وزن اشباع شد) اندازه گیری و داخل آن با دمای ۶۵ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شد. سپس محتوای نسبی برحسب درصد گزارش شد (Dhopte and Livera-Munoz, 1989).

اندازه گیری رنگدانه های برگی: برای استخراج و اندازه گیری رنگدانه های گیاهی، یک گرم برگ با ۵ میلی لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده و به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۸۰۰۰ سانتریفیوژ شد. سرعت جذب نور توسط عصاره در طول موج های ۶۴۵، ۶۶۳، نانومتر با اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. غلظت رنگدانه های گیاهی بر حسب میلی گرم در گرم وزن تر محاسبه شد (Arnon, 1949).

روش تقطیر با آب مقطر و توسط دستگاه کلونجر به مدت ۴ ساعت انجام شد.

اندازه‌گیری صفات رویشی: تعداد گل، قطر گل و ارتفاع گیاه در انتهای آزمایش اندازه‌گیری شد. سطح برگ توسط برگ‌سنج (Delta-T SCAN, Image Analysis System) تعیین شد. در پایان آزمایش، گیاهان برداشت و ریشه و برگ جدا شدند و سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون توکی در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر سیلیکات پتاسیم و تنش کم آبی بر نشت الکترولیت و محتوای نسبی معنی‌دار بود (جدول ۲). میزان نشت الکترولیت در گیاهان شاهد در شرایط تنش کم آبی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به میزان ۱۳/۴ درصد افزایش یافت. میزان نشت الکترولیت در گیاهان تیمار شده با ۳ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش ۹۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به شاهد به ترتیب، ۱۵/۴ و ۹/۲۷ درصد افزایش یافت. از طرفی محلول‌پاشی در شرایط تنش کم آبی شدید ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تأثیر معنی‌داری بر نشت الکترولیت نداشت. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد با افزایش تنش کم آبی، در تمام تیمارها میزان محتوای نسبی آب برگ کاهش یافته است. به‌طور کلی محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان همیشه‌بهار شد و بیشترین محتوای نسبی آب مختص گیاهان محلول‌پاشی‌شده با ۱ و ۳ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم در شرایط ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۱a). در گیاهان شاهد با افزایش تنش از ۹۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی میزان این شاخص ۸۶/۷ درصد افزایش یافت. اما در شرایط تنش کم آبی ۷۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی پاشش ۳ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم نسبت به

سنجش فلاونوئید گل: میزان فلاونوئید گل با روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلراید اندازه‌گیری شد (Toor and Savage, 2005) ۰/۱ گرم از نمونه‌های گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر متانول عصاره‌گیری شد. به ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، آب مقطر اضافه شد تا حجم ۵ میلی‌لیتر بدست آمد. سپس به محلول حاصل ۰/۶ میلی‌لیتر AICI ۱۰ درصد اضافه شد. ۲ میلی‌لیتر NaOH یک مولار و ۲ میلی‌لیتر آب مقطر به محلول رویی اضافه شد. شدت جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد کوئرتستین بدست آمد.

اندازه‌گیری کربوهیدرات و پرولین: میزان کربوهیدرات

به روش پیشنهادی McCready و همکاران (۱۹۵۰) اندازه‌گیری شد. عصاره‌گیری از برگ‌ها توسط ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌ها در ۲۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد انجام شد. پس از سانتریفیوژ در ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه، محلول رویی جدا شده و توسط آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. پس از این مرحله، به یک میلی‌لیتر از روشناوری محلول مذکور ۱۰ میلی‌لیتر محلول آنترون ۰/۱۵ درصد افزوده شد و در نهایت نمونه‌ها در دمای ۹۵ درجه سلسیوس حرارت داده‌شده، بلافاصله به حمام یخ منتقل شدند. آنگاه میزان جذب نور نمونه‌ها، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده و غلظت قند کل نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز براساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

محتوای پرولین براساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) برآورد شد. پرولین آزاد از ۰/۱ گرم نمونه برگ تازه در ۳ درصد (وزن/حجم) اسید سولفوسالیسیلیک آبی استخراج شد و توسط معرف ناین‌هیدرین تخمین زده شد. جذب کسر توسط تولوئن از فاز مایع در ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. غلظت پرولین با استفاده از یک منحنی استاندارد تعیین و به صورت میکرومول گرم وزن تر بیان شد.

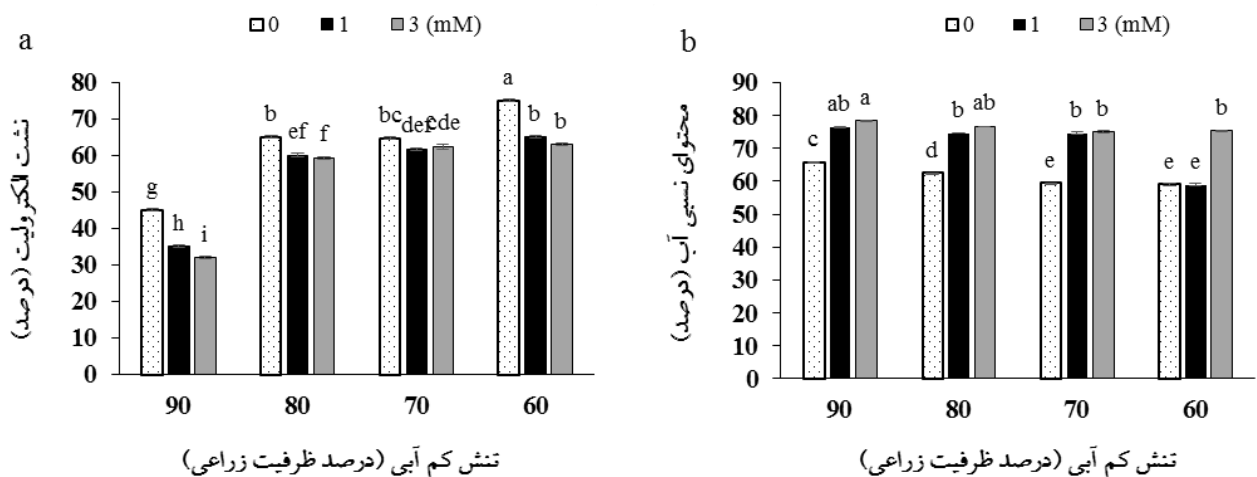
اندازه‌گیری درصد اسانس: برای اسانس‌گیری از هر تیمار

۳۰ گرم برگ، ساقه و گل خشک‌شده ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر (۱:۱۰) درون بالون مخصوص دستگاه ریخته و اسانس‌گیری به

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر سیلیکات پتاسیم و تنش کم آبی بر برخی ویژگی های بیوشیمیایی گیاه همیشه بهار

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					محتوای نسبی آب	نشست الکترولیت	درجه آزادی	منابع تغییرات
		کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	فلانوئید	پرویلین				
سیلیکات پتاسیم	۲	۱۵/۷**	۰/۹۷۹**	۸/۸۱**	۴۴/۴**	۰/۳۸۰**	۱۳۴۴**	۲۳۷**	۲	سیلیکات پتاسیم
کم آبیاری	۳	۴/۳۶**	۰/۲۷۲**	۲/۴۵**	۰/۴۵۷**	۰/۳۰۲**	۳۹۵**	۱۶۶۳**	۳	کم آبیاری
سیلیکات پتاسیم × کم آبی	۶	۰/۹۹۰**	۰/۰۶۲**	۰/۵۵۷**	۰/۰۶۶۷*	۰/۰۹۹**	۳۱۰**	۲۰/۷**	۶	سیلیکات پتاسیم × کم آبی
خطا	۲۴	۰/۳۸۱	۰/۰۲۳	۰/۲۱۴	۰/۱۰۷	۰/۰۷۸	۱۲	۰/۶۹	۲۴	خطا
ضریب تغییرات (%)		۱۰/۴	۷/۲۵	۲/۵۷	۴/۶۵	۳/۷۲	۱۱/۰۱	۸/۵۷		ضریب تغییرات (%)

*, ** به ترتیب نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.



شکل ۱- اثر سیلیکات پتاسیم بر نشست الکترولیت (a) و محتوای نسبی آب (b) گیاه همیشه بهار تحت تنش کم آبی. ستون های دارای حروف مشترک بر طبق آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

است. سیلیکون و پتاسیم نقش مهمی در ظرفیت دفاعی گیاه تحت تنش محیطی ایفا می کند. سیلیکون از طریق سیلیکات پتاسیم یک عنصر غیرمتحرک است که در داخل گیاه به ژل پلیمری تبدیل می شود و پس از رسوب در داخل سلول نشست یون را کاهش می دهد (Liang et al., 2007). نتایج این مطالعه همسان با یافته های Zhu و همکاران (۲۰۰۴) بود، آن ها بیان کردند که افزایش پایداری غشای سلولی در اثر کاربرد سیلیکون به دلیل سخت شدن و استحکام دیواره است. کاهش تلفات آب در گیاهان تیمار شده با سیلیکات پتاسیم ممکن است به دلیل تعرق کمتر از گیاهان باشد. تجمع سیلیکات در سلول های اپیدرمی از دست دادن آب از طریق کوتیکول را کاهش می دهند

شاهد به ترتیب سبب افزایش ۲۶/۴ درصدی و ۲۷/۷ درصدی محتوای آب نسبی در گیاهان شد (شکل ۱b).

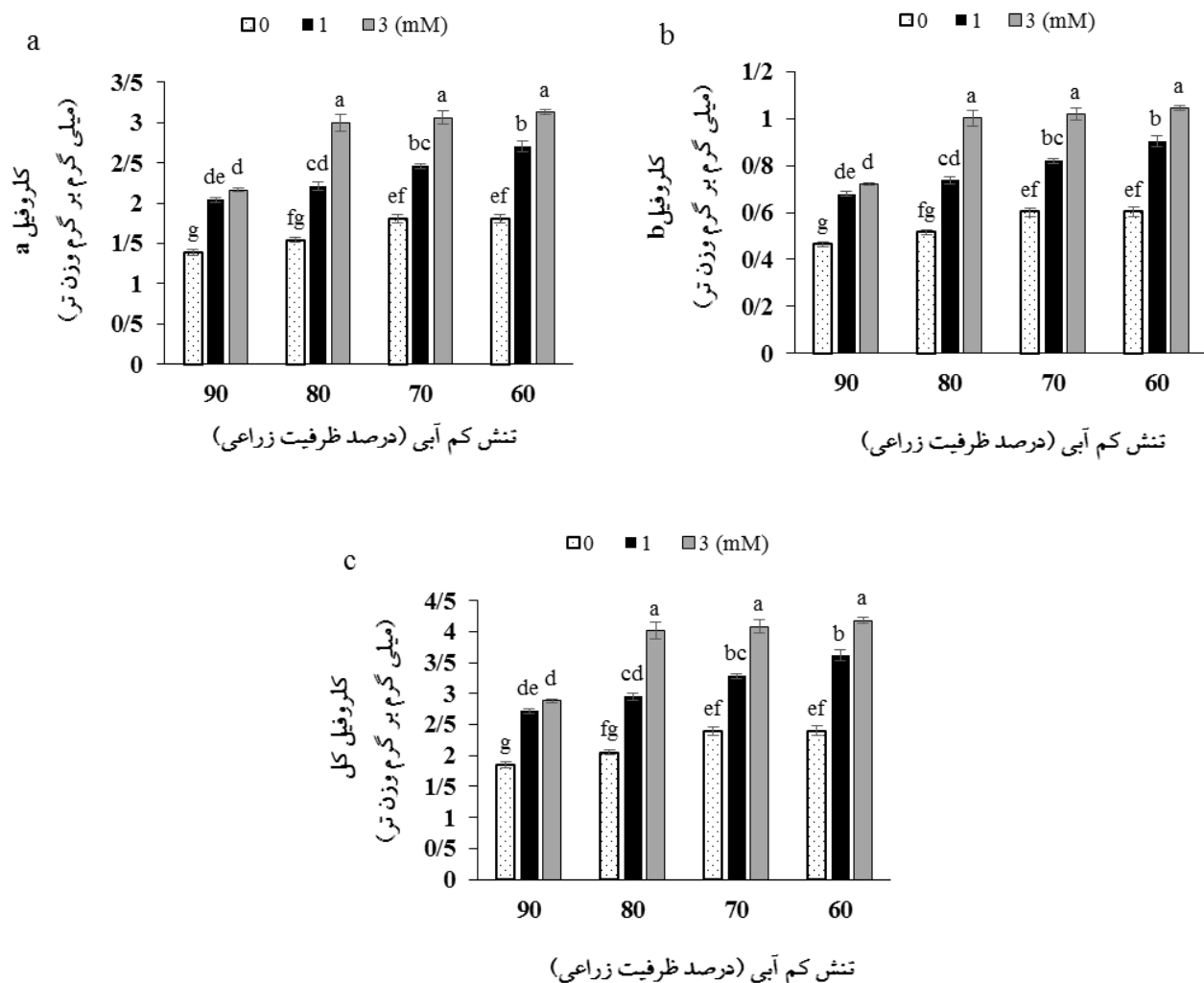
نشست الکترولیت در شرایط تنش شدید به طور قابل توجهی افزایش یافت (شکل ۱a). آسیب غشا از طریق نشست الکترولیت ارزیابی شد زیرا غشای سلولی یکی از اولین اهداف تنش ها هستند و به طور کلی پذیرفته شده است که حفظ یکپارچگی و پایداری آنها در شرایط تنش آبی جز اصلی تحمل به خشکی در گیاهان است (Bajji et al., 2002). کاربرد سیلیکات پتاسیم سبب کاهش نشست الکترولیت شد، کاهش نشست الکترولیت توسط سیلیکات پتاسیم در بسیاری از مطالعات قبلی مانند Zhu و همکاران (۲۰۰۴) و Kaya و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده

تنش کم آبی ۸۰، ۷۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی قرار نگرفت (شکل ۲c).

تغییر میزان کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی با توجه به نوع گیاه، مرحله رشدی، طول دوره رشد و شدت تنش متفاوت است (Li et al., 2018). افزایش معنی داری در کلروفیل برگ همراه با افزایش تنش خشکی مشاهده شد. با این حال، گیاهانی در معرض سیلیکات پتاسیم قرار گرفتند، این شاخص نیز افزایش یافت. Pirzad و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تنش های خشکی ملایم میزان کلروفیل گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) را افزایش داد و با ادامه تنش های شدید خشکی این مقادیر به حداقل میزان خود رسید. در بررسی اثر تنش خشکی بر گیاه همیشه بهار توسط صاحب حسن و همکاران (۱۳۹۹)، نتایج نشان داد که افزایش تنش خشکی از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی میزان عدد اسپد را افزایش داده است اما از نظر آماری تفاوت معنی داری ایجاد نموده است. در بررسی Soroori و همکاران (۲۰۲۱) نتایج نشان داد که افزایش تنش خشکی بر گیاه همیشه بهار از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی میزان کلروفیل را افزایش داد ولی باز هم از نظر آماری تفاوتی مشاهده نشد. از طرفی در گیاهان مورد بررسی بین تنش های ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بیشترین میزان کلروفیل مربوط به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود اما با افزایش تنش میزان این شاخص کاهش یافت. هر چند که محققین مکانیسم تفاوت در میزان کلروفیل در گیاه همیشه بهار را توضیح نداده اند، اما به نظر می رسد افزایش غلظت کلروفیل کل گیاه با افزایش شدت تنش خشکی می تواند دلالت بر افزایش ظرفیت گیاه جهت به دام انداختن نور و نوعی خود تنظیمی گیاه در برابر تنش خشکی باشد، چرا که با کاهش محتوای کلروفیل گیاه و افزایش جذب نور توسط اجزای فتوسنتزی منجر به تولید گونه هایی از اکسیژن فعال شده که خود منجر به تجزیه رنگیزه های دخیل در جذب نور می شوند (Herbingr et al., 2002). از طرفی افزایش کلروفیل به دلیل کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی است که میزان رنگدانه های فتوسنتزی را در واحد سطح افزایش داده است، در

(Hattori et al., 2005). از جهت دیگر کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ شد (شکل ۱b). به نظر می رسد سیلیکات پتاسیم در تولید اسمولیت های سازگار مانند پرولین و کربوهیدرات مؤثر باشد و از این طریق با افزایش اسمولیت های سازگار و در نتیجه کاهش پتانسیل آب، جذب آب در گیاه را تحت تنش بالا برده و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ افزایش می یابد (Mali and Aery, 2008). در مطالعه ای که در درخت پسته (*Pistacia vera* L.) تحت تنش خشکی انجام شد، نتایج نشان داد کاربرد سیلیکات پتاسیم سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ پسته شد (Habibi and Hajiboland, 2013) که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. همچنین پتاسیم در گیاهان عمدتاً به عنوان تنظیم کننده اسمزی مهم است و ۳۰ تا ۵۰ درصد پتانسیل اسمزی بافت برگ توسط پتاسیم تنظیم می شود (Haddad and Kmangar, 2015).

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر سیلیکات پتاسیم و تنش کم آبی بر کلروفیل a، b و کل معنی دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج به دست آمده در بررسی میزان کلروفیل در تمام تیمارهای محلول پاشی روند افزایشی مشاهده شده است. بیشترین میزان کلروفیل a (۳-۳/۱۳ میلی گرم در لیتر) در تیمار ۳ میلی مولار سیلیکات پتاسیم و تحت تنش کم آبی ۸۰، ۷۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به ثبت رسید. در شاهد با افزایش تنش کم آبی از ۹۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی میزان این شاخص ۵۵/۴ درصد افزایش یافت (شکل ۲a). کلروفیل b نیز روندی مشابه را به ثبت رسانید به نحوی که با افزایش تنش کم آبی و غلظت سیلیکات پتاسیم بر محتوای کلروفیل b افزوده شد و بیشترین کلروفیل b در تیمار تنش کم آبی ۸۰، ۷۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان آن در تیمار شاهد تحت ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۲b). در تنش ۸۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی میزان محتوای کلروفیل کل در گیاهان محلول پاشی شده با ۳ میلی مولار به ترتیب ۵۱ و ۹۴ درصد افزایش یافت. میزان شاخص کلروفیل در گیاهان محلول پاشی شده با سیلیکات پتاسیم ۳ میلی مولار تحت تأثیر

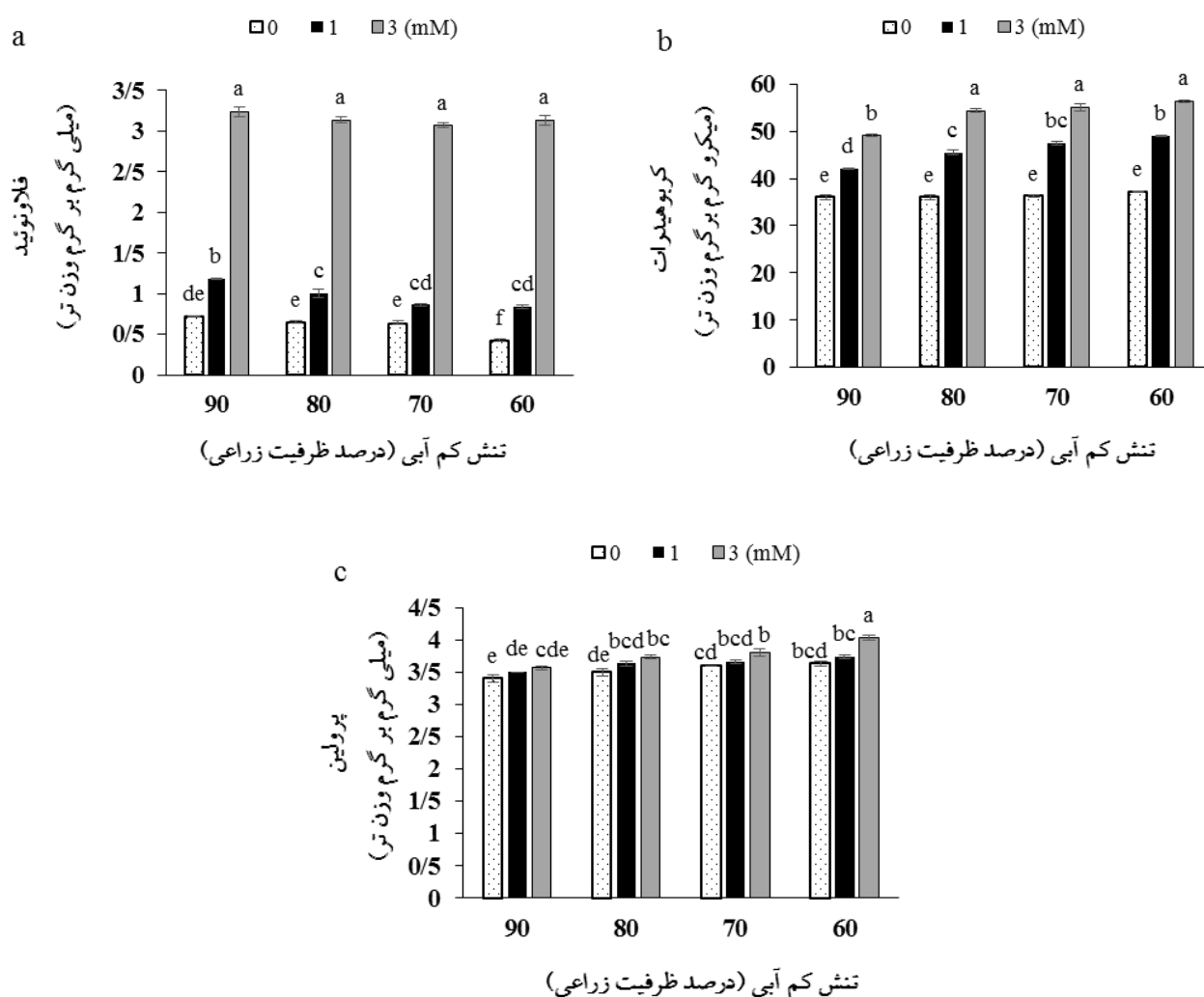


شکل ۲- اثر سیلیکات پتاسیم بر کلروفیل a (a)، کلروفیل b (b) و کلروفیل کل (c) گیاه همیشه بهار تحت تنش کم آبی. ستون‌های دارای حروف مشترک بر طبق آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

(۲۰۱۸) مطابقت داشت، آن‌ها نشان دادند که در گیاهان بدون تنش نیز کاربرد سیلیکون بر گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum L.*) اثر معنی داری بر میزان کلروفیل، کاروتنوئید و فتوستتسز نداشت، آن‌ها تنها به این امر اشاره نمودند که در شرایط بدون تنش بیان ژن‌هایی نظیر *PetE*، *PetF*، *PsbP*، *PsbQ*، *PsbW* که ژن‌هایی برای تنظیمات فتوستتسز هستند تغییر نمی‌کند، اما بیان این ژن‌ها تحت تنش خشکی با کاربرد سیلیکون افزایش می‌یابد زیرا سیلیکون نقش مهمی در چرخه انتقال الکترون ایفا می‌کند.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر سیلیکات پتاسیم و تنش کم آبی بر فلاونوئید گل، پرولین و کربوهیدرات برگ

شرایط آبیاری کامل گیاه توانایی جذب منیزیم و کلسیم را از دست می‌دهد که بر کاهش رنگدانه اثر می‌گذارد (Oraee et al., 2018). افزودن سیلیکات پتاسیم نیز در بیوستتسز کلروفیل‌های جدید و حفاظت از کلروفیل موجود در برابر استرس اکسیداتیو ناشی از تنش‌ها است (Al-Huqail et al., 2019). از طرفی مطالعاتی اثر مثبت سیلیس بر روی کلروفیل را گزارش می‌کنند و افزایش فتوستتسز به دلیل تأثیر پتاسیم بر تجمع رنگدانه‌های فتوستتسز در اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم در تحقیق Oraee و Tehranifar (۲۰۲۲) گزارش شده است. در تحقیق حاضر، سیلیکون بر میزان کلروفیل در شرایط بدون تنش تأثیری نداشت که این نتیجه، با نتایج Zhang و همکاران



شکل ۳- اثر سیلیکات پتاسیم بر فلاونوئید (a)، کربوهیدرات (b) و پروتئین (c) گیاه همیشه‌بهار تحت تنش کم‌آبی. ستون‌های دارای حروف مشترک بر طبق آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان فلاونوئید گل در گیاهان تیمار شده با سیلیکات پتاسیم ۳ میلی‌مولار تحت تمامی شرایط آبیاری به ثبت رسید، اما با افزایش تنش کم‌آبی در گیاهان شاهد و گیاهان محلول‌پاشی‌شده با ۱ میلی‌مولار، روندی نزولی مشاهده شد به‌نحویکه به ترتیب به میزان ۴۰/۷ و ۲۹/۴ درصد کاهش یافت. کمترین میزان این شاخص در گیاهان شاهد تحت تنش کم‌آبی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۳a). در بررسی اثر تنش کم‌آبی و سیلیکات پتاسیم بر گیاهان همیشه‌بهار، نتایج نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی و همچنین کاربرد محلول‌پاشی این شاخص روندی صعودی داشته است. بیشترین میزان کربوهیدرات در گیاهان تیمار شده با سیلیکات پتاسیم ۳ میلی‌مولار تحت تنش کم‌آبی ۸۰ و ۷۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی کاربرد ۳ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم سبب افزایش ۳۶/۷ درصدی میزان کربوهیدرات شد. در گیاهان شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر این شاخص با افزایش تنش کم‌آبی مشاهده نشد اما در گیاهان محلول‌پاشی‌شده با ۱ میلی‌مولار با افزایش تنش کم‌آبی از ۹۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۶/۴ درصد بر میزان کربوهیدرات افزوده شد (شکل ۳b). با افزایش میزان تنش کم‌آبی از ۹۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی گیاهان محلول‌پاشی‌شده با ۱ و ۳ میلی‌مولار میزان پروتئین به ترتیب، ۶/۵۷ و ۱۳/۷ درصد افزایش یافت. کمترین

میزان فلاونوئید گل در گیاهان تیمار شده با سیلیکات پتاسیم ۳ میلی‌مولار تحت تمامی شرایط آبیاری به ثبت رسید، اما با افزایش تنش کم‌آبی در گیاهان شاهد و گیاهان محلول‌پاشی‌شده با ۱ میلی‌مولار، روندی نزولی مشاهده شد به‌نحویکه به ترتیب به میزان ۴۰/۷ و ۲۹/۴ درصد کاهش یافت. کمترین میزان این شاخص در گیاهان شاهد تحت تنش کم‌آبی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۳a). در بررسی اثر تنش کم‌آبی و سیلیکات پتاسیم بر گیاهان همیشه‌بهار، نتایج نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی و همچنین کاربرد محلول‌پاشی این شاخص روندی صعودی داشته است. بیشترین میزان کربوهیدرات در گیاهان تیمار شده با

پایداری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Ozden *et al.*, 2009). مکانیسم حفاظتی پرولین هنوز به طور کامل شناسایی نشده است، اما نقش مهمی در کاهش خسارات خشکسالی و همچنین در پایداری ماکرومولکول‌ها و حذف رادیکال‌های آزاد دارد. ممکن است رادیکال‌های هیدروکسیل موجود در گیاه و اسیدیته سلولی را با کاهش عملکرد محافظتی اسمزی حذف کند. سیلیکون و پتاسیم با افزایش پتانسیل اسمزی تولید پرولین و کربوهیدرات را افزایش می‌دهند (Haddad and Kamangar, 2015)، شاید به دلیل تجمع رادیکال‌های آزاد تولید شده توسط گیاه تصور می‌شود که پرولین و کربوهیدرات نقش‌های تطبیقی در میانجی‌گری تنظیم اسمزی و محافظت از ساختارهای زیر سلولی در گیاهان تحت تنش دارند (Ma and Yamaji, 2006). اثرات متقابل سیلیکات پتاسیم و تنش کم‌آبی بر ارتفاع گیاه همیشه بهار معنی‌دار نبود (جدول ۳). در گیاهان محلول پاشی شده با ۳ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم ارتفاع گیاهان نسبت به گیاهان بدون محلول پاشی ۲۳/۶ درصد افزایش یافت (جدول ۴). در تنش کم‌آبی نیز با افزایش تنش از ارتفاع گیاه کاسته شد و بیشترین ارتفاع (۲۱/۳ سانتی‌متر) در گیاهان شاهد تحت ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۵). تنش کم‌آبی سبب کاهش سطح برگ گیاهان همیشه بهار شد اما کاربرد سیلیکات پتاسیم در هر دو غلظت سبب کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی شدند، بنحویکه سطح برگ در گیاهان تیمار شده با ۳ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم در تنش کم‌آبی ۸۰، ۷۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۱۲/۳، ۹/۲۵ و ۱۱/۵ درصد افزایش یافت. تفاوت معنی‌داری بین سطح برگ گیاهان تیمار شده با ۱ و ۳ میلی‌مولار در تنش کم‌آبی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده نشد (شکل ۴a). براساس نتایج جدول تجزیه واریانس تعداد گل و قطر تحت تأثیر اثرات مستقل سیلیکات پتاسیم و تنش کم‌آبی قرار گرفت (جدول ۳). میزان قطر و تعداد گل با افزایش غلظت سیلیکات پتاسیم تا ۳ میلی‌مولار به میزان ۳۸/۷ و ۱۶/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴). با افزایش تنش کم‌آبی از قطر و تعداد گل کاسته شد. بیشترین میزان قطر گل (۵/۲۵ سانتی‌متر) در تیمار ۹۰

میزان پرولین در گیاهان شاهد تحت ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۳c).

تنش و سیلیکات پتاسیم سبب افزایش متابولیت‌های ثانویه مانند فلاونوئیدها گردید. ترکیبات فنیل، از جمله فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک که از طریق فنیل پروپانویید تشکیل می‌شوند مسیر نمونه‌های شناخته شده‌ای از فیتوکمیکال‌ها هستند که نه تنها به عنوان فیتوآلکسین یا فیتوآنتیبیوتیک علیه استرس‌ها عمل می‌کنند، بلکه نقش مهمی به عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی در مکانیسم‌های دفاعی ایفا می‌کنند (Tuladhar *et al.*, 2021). افزایش میزان ترکیبات ثانویه در گیاهان تغذیه شده با سیلیکات پتاسیم به دلیل تغییر الگوی بیان بسیاری از ژن‌ها، به ویژه ژن‌های کدکننده آنزیم‌های دخیل در مسیر فنیل پروپانویید می‌باشد. افزایش فعالیت فنیل‌آلانین آمونیا لایاز (PAL) نیز به عنوان یک مکانیسم جایگزین در افزایش غلظت این ماده مشاهده شده است (Dar *et al.*, 2022). رابطه نزدیکی بین متابولیسم ABA و فنیل پروپانویید، فلاونوئید و اسید آسکوربیک وجود دارد (Yaghubi *et al.*, 2016; Perin *et al.*, 2018)، که ممکن است یکی از دلایل اصلی بهبود تحمل گیاهان است به استرس باشد.

افزودن سیلیکات پتاسیم به طور قابل توجهی باعث افزایش محتوای نسبی آب در برگ‌های همیشه بهار تحت تنش خشکی شد که افزایش غلظت پرولین و کربوهیدرات (تنظیم اسمزی) را تأیید کرد. این نتیجه مطابق با Fariduddin و همکاران (۲۰۰۹) بود. آنها گزارش دادند که محتوای پرولین در پاسخ به تنش خشکی برگ‌ها در *Brassica juncea* افزایش یافت. علاوه بر این، Tale-Ahmad و Haddad (۲۰۱۱) گزارش کردند که محتوای پرولین در تیمارهای سیلیس و خشکی نسبت به شاهد به طور قابل توجهی افزایش یافته است. با این حال، تنش خشکی اغلب باعث افزایش محتوای اسمولیت‌ها می‌شود، بنابراین غلظت‌های کربوهیدرات و پرولین به طور قابل توجهی در تیمارهای سیلیکات پتاسیم نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود. سیلیکات پتاسیم با تنظیم اسمزی بین سیتوپلاسم و واکوئل‌ها و سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن باعث یکپارچگی غشا و

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر سیلیکات پتاسیم و تنش کم آبی بر برخی ویژگی‌های رویشی و اسانس گیاه همیشه بهار

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع	سطح برگ	قطر گل	تعداد گل	وزن خشک	وزن خشک / اندام زمینی
سیلیکات پتاسیم	۲	۱۱۲**	۱۲۹۸۰۲**	۷/۲۰**	۱۳/۹**	۵/۲۴**	۲/۳۱**
کم آبیاری	۳	۱۱/۴**	۶۹۴۱۴**	۱/۶۲**	۰/۹۱۴*	۰/۴۵**	۱/۶۶**
سیلیکات پتاسیم × کم آبی	۶	۰/۷۲۹ ^{ns}	۲۲۶۱۹**	۰/۱۳۸ ^{ns}	۰/۴۴۹ ^{ns}	۰/۴۷**	۰/۱۹ ^{ns}
خطا	۲۴	۵/۸۳	۴۱۰۸	۰/۲۹۳۳	۷/۸۴	۰/۰۷	۰/۲۰
ضریب تغییرات (%)		۹/۴۳	۴/۹۵	۱۸/۲	۸/۶۷	۱۴/۱	۲۴/۲

*, ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۴- اثرات سیلیکات پتاسیم بر ارتفاع، تعداد گل، قطر گل و وزن خشک ریشه همیشه بهار

تیمار	ارتفاع (سانتی‌متر)	تعداد گل	قطر گل (سانتی‌متر)	وزن خشک ریشه (گرم)
۰	۱۸/۲ ^c	۳/۹۳ ^c	۶/۲۹ ^c	۲/۴۶ ^b
سیلیکات پتاسیم (میلی مولار)	۱	۴/۸۵ ^b	۶/۴۹ ^b	۲/۵۴ ^b
۳	۲۲/۵ ^a	۵/۴۵ ^a	۷/۳۲ ^a	۳/۲۵ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ۵- اثرات تنش کم آبی بر ارتفاع، تعداد گل، قطر گل و وزن خشک ریشه همیشه بهار

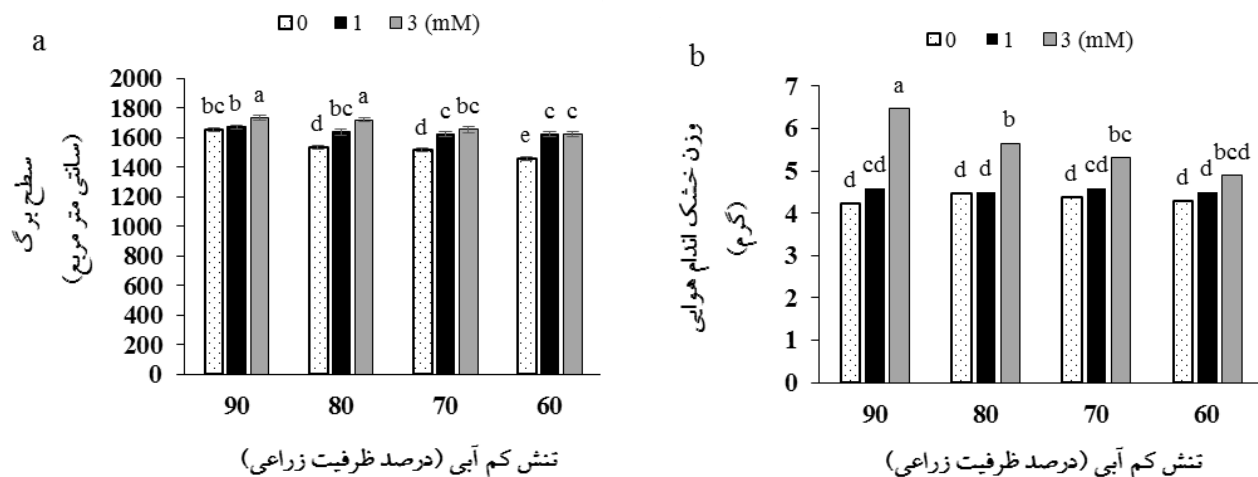
تیمار	ارتفاع (سانتی‌متر)	تعداد گل	قطر گل (سانتی‌متر)	وزن خشک ریشه (گرم)
۹۰	۲۱/۳ ^a	۵/۲۶ ^a	۷/۰۴ ^a	۳/۳۱ ^a
۸۰	۲۰/۶ ^{ab}	۴/۸۰ ^{ab}	۶/۷۱ ^b	۲/۸۱ ^{ab}
تنش کم آبی (درصد ظرفیت زراعی)	۷۰	۲۰/۱ ^{bc}	۴/۵۰ ^b	۲/۵۸ ^b
۶۰	۱۹/۸ ^c	۴/۴۱ ^b	۶/۴۹ ^c	۲/۲۹ ^b

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

ترتیب، ۵۳ و ۲۶ درصد در گیاهان محلول‌پاشی شده با ۳ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم نسبت به شاهد افزایش یافت. کاربرد ۱ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم در گیاهان تحت تیمارهای مختلف آبیاری با گیاهان محلول‌پاشی نشده تفاوت معنی‌داری از لحاظ وزن خشک اندام هوایی ایجاد نکرد (شکل ۴b). اثرات متقابل سیلیکات پتاسیم و تنش کم آبیاری بر وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). اما وزن

درصد ظرفیت زراعی و کمترین در تنش کم آبی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به ثبت رسید. قطر گل نیز در تنش‌های کم آبی ۷۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵).

وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سیلیکات پتاسیم و تنش کم آبیاری قرار گرفت (جدول ۳). وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۹۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به

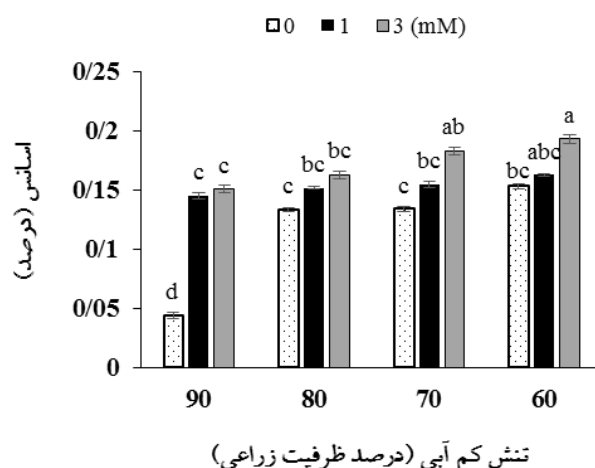


شکل ۴- اثر سیلیکات پتاسیم بر سطح برگ (a)، و وزن خشک اندام هوایی (b) گیاه همیشه بهار تحت تنش کم آبی. ستون‌های دارای حروف مشترک بر طبق آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

کلی، کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه، جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد که پیامد آن کم شدن ذخیره کربن و کاهش ماده خشک است (Hu and Schmidhalter, 2005). از طرفی به نظر می‌رسد که کاهش قطر گل در شرایط تنش خشکی به علت کاهش سطح برگ و انتقال مواد آسمیلاتی به سمت گل‌ها است. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش، فراهمی دی‌اکسید کربن را برای سیستم فتوسنتزی محدود ساخته و در نتیجه رشد گیاه کاهش می‌یابد. به دنبال کاهش رشد در گیاه در اثر تنش خشکی، قدرت گلدهی گیاه کاهش یافته و اثرات آن در تعداد گل و قطر گل نیز دیده می‌شود (Babaei et al., 2021). بسیاری از مطالعات بهبود رشد گیاه را با کاربرد سیلیس در شرایط خشکی در بسیاری از گونه‌ها از جمله چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) (Abou-Felisberto et al., 2021)، و دیفن باخیا (*Dieffenbachia picta*) (El-Hady and Hegazy, 2021) گزارش نمودند. Eneji و همکاران (۲۰۰۸) همچنین بهبودهایی را در رشد چهار گونه چمن (چمن رودز (*Chloris gayana*)، چمن تیموتی (*Phleum pratense*)، سودانگرس (*Sorghum sudanense*) و فستوکای بلند (*Festuca arundinacea*) به دنبال کاربرد سیلیس در شرایط کمبود آب مشاهده کردند. Farooq و همکاران (۲۰۰۹)

خشک ریشه در گیاهان محلول پاشی شده با ۳ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم نسبت به شاهد ۳۲/۱ درصد افزایش یافت (جدول ۴)، همچنین تنش کم‌آبیاری وزن خشک ریشه را ۴۴/۵ درصد کاهش داد (جدول ۵).

با توجه به نتایج شکل ۴، کاربرد سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش خشکی بر صفات رویشی گیاه تأثیرگذار بود. به این ترتیب بیشترین سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی در شرایط محلول پاشی با سیلیکات پتاسیم ۳ میلی‌مولار در آبیاری کامل نسبت به تیمار شاهد حاصل شد. کاهش مشاهده شده در رشد اندام هوایی و ریشه گیاه در شرایط تنش کم‌آبی را می‌توان در نتیجه کاهش استقرار ریشه و کاهش جذب عناصر کانی دانست. در شرایط کمبود آب، افزایش میزان آبسزیک اسید از طریق کاهش، تقسیم سلولی در مریستم برگ و کاهش فعالیت‌های حل‌کنندگی دیواره یاخته‌ای که لازمه طویل شدن برگ است از توسعه سطح برگ جلوگیری می‌کند. علاوه بر این افزایش مقاومت لایه میان برگی (مزوفیلی) و روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی باعث کاهش ورود دی‌اکسید کربن به درون گیاه و کاهش فتوسنتز گیاه می‌شود و در نتیجه وزن خشک اندام‌های گیاه در اثر پایین آمدن سطح مواد نورساختی کاهش می‌یابد (قورچینانی و همکاران، ۲۰۱۱). تأثیر تنش خشکی بر کاهش ماده خشک گیاهان را می‌توان این گونه بیان داشت که به‌طور



شکل ۵- اثر سیلیکات پتاسیم بر اسانس گیاه همیشه بهار تحت تنش کم آبی. ستون‌های دارای حروف مشترک بر طبق آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

معنی داری بین اسانس گیاهان شاهد تحت تنش‌های ۹۰، ۸۰ و ۷۰ درصد و همچنین گیاهان تیمار شده با ۱ میلی مولار سیلیکات پتاسیم تحت همین تنش‌ها مشاهده نشد، اما با افزایش تنش از ۹۰ به ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب اسانس گیاهان ۱ و ۳ میلی مولار به ترتیب ۱۲/۵ و ۲۷/۸ درصد افزایش یافت (شکل ۵).

میزان اسانس در گیاهان تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع گونه، ژنتیک گیاه، تنش‌های محیطی عمر برگ، تغذیه، و زمان برداشت قرار می‌گیرد (رضایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۷۹). نتایج آزمایش نشان داد که اسانس در گیاه همیشه بهار تحت تنش افزایش یافته است. در بررسی میزان اسانس، Farahani و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که گل محمدی تحت تنش خشکی بیشترین میزان اسانس را در ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه به ثبت رسانیده است. زیرا در شرایط تنش کمبود آب متابولیت‌های ثانویه که از اکسیداسیون درونی سلول‌ها جلوگیری می‌نمایند، افزایش می‌یابند. همچنین گزارش شده است که در شرایط تنش شدید خشکی، بیشترین میزان اسانس نسبت به تنش‌های ملایم در گیاه ریحان تولید شد (حسنی و امیدبیگی، ۱۳۸۱). که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. به نظر می‌رسد سیلیکات پتاسیم با افزایش رشدونمو گیاه و بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌تواند باعث بیشتر شدن میزان اسانس،

بیان کرد که محدودیت‌های روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای عامل اصلی کاهش فتوسنتز هستند. کاربرد سیلیکات پتاسیم به‌طور قابل توجهی سرعت فتوسنتز را افزایش داد، افزایش پتانسیل آب برگ، سرعت رشد نسبی، رنگ سبز برگ، و بهره‌وری مصرف آب کنتاکی بلوگراس تحت استرس خشکسالی به کاربرد سیلیس نسبت داده می‌شود. پیش از این، Gong و همکاران (۲۰۰۳) گزارش دادند که افزودن ۷/۱۴ میلی مول سیلیکات سدیم به ازای هر ۸ کیلوگرم خاک (۲/۷ درصد) در شرایط خشکسالی محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ را افزایش داد. Hattori و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که نرخ رشد سورگوم استفاده شده با سیلیکات پتاسیم در شرایط خشکسالی در مقایسه با شاهد بیشتر بود. تجمع سیلیکون موجود در برگ باعث افزایش رشد تیغه برگ می‌شود که این امر به نوبه خود نفوذ نور را تسهیل می‌کند، و فتوسنتز را ترویج می‌کند. راندمان مصرف آب بالاتر در سیلیکات پتاسیم به فتوسنتز و سرعت رشد بالاتر و سرعت تعرق کمتر نسبت داده شود (Saud et al., 2014).

با افزایش تنش کم آبی بر میزان اسانس گیاه همیشه بهار افزوده شد، بنحویکه که بیشترین میزان اسانس در گیاهان تیمار شده با ۳ میلی مولار سیلیکات پتاسیم تحت تنش کم آبی ۷۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به ثبت رسید. تفاوت

شود که این افزایش می‌تواند منجر به تولید بیشتر غده‌های ترشح‌کننده اسانس در گیاه شود. کاربرد سیلیسیوم در شرایط تنش خشکی نیز باعث بهبود رشد گیاه ریحان شد، به علاوه با افزایش میزان اسانس باعث افزایش عملکرد اسانس در شرایط تنش شدید ۶۰ درصد ظرفیت زراعی گردید (عسکر نژاد و همکاران، ۱۳۹۸).

نتیجه‌گیری

اثرات مثبت سیلیکات پتاسیم بر رشد و نمو گیاه همیشه بهار تحت تنش کم‌آبی به دلیل بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین تنظیمات اسمزی بود. گیاه همیشه بهار با کاهش سطح برگ در شرایط تنش کم‌آبی و افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی در واحد سطح و همچنین با افزایش میزان کربوهیدرات و

منابع

- حسنی، عباس، و امیدبگی، رضا (۱۳۸۱). اثرات تنش آبی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه ریحان. *دانش کشاورزی*، ۱۲، ۴۷-۵۹.
- رضایی نژاد، عبدالحسین، امیدبگی، رضا، و خادمی، کریم (۱۳۷۹). بررسی تأثیر کود ازته و زمان برداشت در میزان اسانس و تیمول آویشن (*Thymus vulgaris L.*). *پژوهش کشاورزی*، ۲(۲)، ۱۳-۲۰.
- صاحب حسن، مهدی، سلاح‌ورزی، یحیی، نباتی، جعفر، و عزیزی، مجید (۱۳۹۹). اثر قارچ مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد (PGPR) بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک همیشه بهار دارویی (*Calendula officinalis Linn*) تحت تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زیستی*، ۱۳(۲)، ۴۲۵-۴۴۰. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.2136.1533>
- عسکر نژاد، مرضیه، سودائی‌زاده، حمید، مصلح‌آرانی، اصغر، و یزدانی بیوکی، رستم (۱۳۹۸). اثر سیلیسیوم بر برخی ویژگی‌های ریحان بنفش در تنش خشکی. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۲۰(۱)، ۲۱-۳۰. DOR: 20.1001.1.16807154.1398.20.1.3.0
- قورچیان، مهدی، اکبری، غلام‌عباس، علیخانی، حسینعلی، اله‌دادی، ایرج، و زارعی، مهدی (۱۳۹۰). اثر قارچ میکوریز آریسکولار و باکتری *Pseudomonas fluorescence* بر ویژگی‌های بلال، میزان کلروفیل و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش رطوبتی. *دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)*، ۲۱(۱)، ۹۷-۱۱۴. SID. <https://sid.ir/paper/458533/fa>.
- Abou-Sreera, A. I. B., Roby, M. H., Mahdy, H. A., Abdou, N. M., El-Tahan, A. M., El-Saadony, M. T., El-Tarabily K. A., & El-Saadony, F. M. (2022). Improvement of selected morphological, physiological, and biochemical parameters of roselle (*Hibiscus sabdariffa L.*) grown under different salinity levels using potassium silicate and *Aloe saponaria* extract. *Plants*, 11(4), 497. <https://doi.org/10.3390/plants11040497>.
- Al-Huqail, A. A., Alqarawi, A. A., Hashem, A., Malik, J. A., & AbdAllah, E. F. (2019). Silicon supplementation modulates antioxidant system and osmolyte accumulation to balance salt stress in *Acacia gerrardii* Benth. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1856-1864. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.049>.
- Ali, N., Rethore, E., Yvin, J. C., & Hosseini, S. A. (2020). The regulatory role of silicon in mitigating plant nutritional stresses. *Plants*, 9(12), 1779. <https://doi.org/10.3390/plants9121779>.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>.

- Babaei, K., Moghaddam, M., Farhadi, N., & Pirbalouti, A. G. (2021). Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 284 (2021), 110116. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110116>.
- Bajji, M., Kinet, J. M., & Lutts, S. (2002). The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*, 36, 61-70. <https://doi.org/10.1023/A:1014732714549>.
- Bandurska, H. (2022). Drought stress responses: Coping strategy and resistance. *Plants*, 11(7), 922. <https://doi.org/10.3390/plants11070922>.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>.
- Bukhari, M. A., Sharif, M. S., Ahmad, Z., Barutçular, C., Afzal, M., Hossain, A., & Sabagh, A. E. (2021). Silicon mitigates the adverse effect of drought in canola (*Brassica napus* L.) through promoting the physiological and antioxidants activity. *Silicon*, 13, 3817-3826. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00685-x>.
- Campbell, G. S., & Mulla, D. J. (1990). Measurement of soil water content and potential. In: Irrigation of Agricultural Crops (eds. Stewart, B. A. and Nielsen, D. R.) Pp. 127-142. American Society of Agronomy, Madison, USA.
- Coskun, D., Britto, D. T., Huynh, W. Q., & Kronzucker, H. J. (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 7,1-7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01072>.
- Dar, F. A., Tahir, I., Hakeem, K. R., & Rehman, R. U. (2022). Silicon application enhances the photosynthetic pigments and phenolic/ flavonoid content by modulating the phenylpropanoid pathway in common buckwheat under aluminium stress. *Silicon*, 14, 323-334. <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01501-w>.
- Dhopte, A. M., & Livera-Munoz, M. (1989). Useful techniques for plant scientists. *Useful Techniques for Plant Scientists*, 329.
- El-Hady, A., & Hegazy, A. A. (2021). Effect of potassium and salicylic acid foliar application on *Dieffenbachia picta* plants with different irrigation water rates. *Journal of Plant Production*, 12(1), 97-103. DOI: <https://doi.org/10.21608/jpp.2021.152024>
- Eneji, A. E., Inanaga, S., Muranaka S. L. I. J., Li, J., Hattori, T., An, P., & Tsuji, W. (2008). Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 31(2), 355-365. <https://doi.org/10.1080/01904160801894913>.
- Farahani, H., Sajedi, N. A., Madani, H., Changizi, M., & Naeni, M. R. (2020). Physiological and biochemical responses of Damask rose (*Rosa damascena* Miller) to potassium silicate application under water deficit stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(3), 1560-1572. <https://doi.org/10.15835/nbha48311808>.
- Fariduddin, Q., Khanam, S., Hasan, S. A., Ali, B., Hayat, S., & Ahmad, A. (2009). Effect of 28-homobrassinolide on the drought stress-induced changes in photosynthesis and antioxidant system of *Brassica juncea* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 889-897. <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0183>.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12.
- Felisberto, G., de Mello Prado, R., de Oliveira, R. L. L., & de Carvalho Felisberto, P. A. (2021). Are nanosilica, potassium silicate and new soluble sources of silicon effective for silicon foliar application to soybean and rice plants?. *Silicon*, 13, 3217-3228. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00668-y>.
- Gengmao, Z., Shihui, L., Xing, S., Yizhou, W., & Zipan, C. (2015). The role of silicon in physiology of the medicinal plant (*Lonicera japonica* L.) under salt stress. *Scientific Reports*, 5(1), 12696. <https://doi.org/10.1038/srep12696>.
- Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., & Zhang, C. (2003). Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal of Plant Nutrition*, 26, 1055-1063. <https://doi.org/10.1081/PLN-120020075>.
- Gunes, A., Pilbeam, J., Inal, A., & Coban, S. (2008). Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 1885-1903. <https://doi.org/10.1080/00103620802134651>.
- Habibi, G., & Hajiboland, R. (2013). Alleviation of drought stress by silicon supplementation in pistachio (*Pistacia vera* L.) plants. *Folia Horticulturae*, 25(1), 21-29. <https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0003>.
- Haddad, R., & Kamangar, A. (2015). The ameliorative effect of silicon and potassium on drought stressed grape (*Vitis vinifera* L.) leaves. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 4 (2), 48-58.
- Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxova, M., & Lux, A. (2005). Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum*, 123 (4), 459-466. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>.
- Herbingr, K., Tausz, M., Wonisch, A., Soja, G., & Sorger, A. (2002). Complex interactive effects of drought and ozone stress on the antioxidant defense system of two wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40 (6-8), 691-696. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(02\)01410-9](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(02)01410-9).

- Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 541-549. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420516>.
- Kaya, C., Tuna, L., & Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1469-1480. <https://doi.org/10.1080/01904160600837238>.
- Kleiber, T., Borowiak, K., Kosiada, T., Bres, W., & Lawniczak, B. (2020). Application of selenium and silicon to alleviate short-term drought stress in French marigold (*Tagetes patula* L.) as a model plant species. *Open Chemistry*, 18(1), 1468-1480. <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0183>.
- Li, Y., He, N., Hou, J., Xu, L., Liu, C., Zhang, J., & Wu, X. (2018). Factors influencing leaf chlorophyll content in natural forests at the biome scale. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 64. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00064>.
- Liang, Y. C., Sun, W. C., Zhu, Y. G., & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A re-view. *Environmental Pollution*, 147(2), 422-428. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.06.008>.
- Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78(3), 389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>.
- Mali, M., & Aery, N. C. (2008). Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, 31(11), 1867-1876. <https://doi.org/10.1080/01904160802402666>.
- McCready, R. M., Guggolz, J., Silveira, V., & Owens, H. S. (1950). Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytical Chemistry*, 22(9), 1156-1158. <https://doi.org/10.1021/ac60045a016>.
- Naguib, N. Y., Khalil, M. Y., & El Sherbeny, S. E. (2005). A comparative study on the productivity and chemical constituents of various sources and species of *Calendula* plants as affected by two foliar fertilizers. *Journal of Applied Sciences Research*, 1 (1), 176-189.
- Oraee, A., & Tehranifar, A. (2022). Relationship between silicon through potassium silicate and salinity tolerance in *Bellis perennis* L. *Silicon*, 15(1), 93-107. <https://doi.org/10.1007/s12633-022-01988-x>.
- Oraee, A., Tehranifar, A., Nezami, A., & Shoor, M. (2018). Effects of drought stress on cold hardiness of non-acclimated viola (*Viola × wittrockiana* 'Iona Gold with Blotch') in controlled conditions. *Scientia Horticulturae*, 238, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.027>.
- Ozden, M., Demirel, U., & Kahraman, A. (2009). Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. *Scientia Horticulturae*, 119(2), 163-168. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.031>.
- Pei, Z. F., Ming, D. F., Liu, D., Wan, G. L., Geng, X. X., Gong, H. J., & Zhou, W. J. (2009). Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29, 106-115. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9120-9>.
- Perin, E. C., Da Silva, M. R., Borowski, J. M., Crisel, R. L., Schott, I. B., Carvalho, I. R., Rombaldi, C. V., & Galli, V. (2018). ABA-dependent salt and drought stress improve strawberry fruit quality. *Food Chemistry*, 271, 516-526. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.213>.
- Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M. R., Zehtab-Salmasi, S., & Mohammadi, A. (2009). Effect of water stress on chlorophyll amounts in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *VIII Tarla Bitkileri Kongresi, Hatay, Turkiye*, 315-317.
- Saud, S., Li, X., Chen, Y., Zhang, L., Fahad, S., Hussain, S., Sadiq, A., & Chen, Y. (2014). Silicon application increases drought tolerance of Kentucky bluegrass by improving plant water relations and morphophysiological functions. *The Scientific World Journal*, 2014 (2014). <https://doi.org/10.1155/2014/368694>.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/217037>.
- Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, K., & Ladan Moghadam, A. (2021). Effect of foliar application of proline on morphological and physiological traits of *Calendula officinalis* L. under drought stress. *Journal of Ornamental Plants*, 11(1), 13-30. DOR: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22516433.2020.11.1.2.5>.
- Tale-ahmad, S., & Haddad, R. (2011). Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 47(1), 17-27. <https://doi.org/10.17221/92/2010-CJGPB>.
- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38(5), 487-494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.016>.
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, V. P., Prasad, S. M., Dubey, N. K., & Chauhan, D. K. (2017). Silicon nanoparticles more effectively alleviated UV-B stress than silicon in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.06.026>.

- Tuladhar, P., Sasidharan, S., & Saudagar, P. (2021). Role of phenols and polyphenols in plant defense response to biotic and abiotic stresses. In: *Biocontrol Agents and Secondary Metabolites*. Pp. 419-441. Woodhead Publishing.
- Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Role of silicon on plant-pathogen interactions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 701. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00701>.
- Yaghubi, K., Ghaderi, N., Vafae, Y., & Javadi, T. (2016). Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two strawberry cultivars grown under soilless pot culture. *Scientia Horticulturae*, 213, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.012>.
- Zhang, Y., Yu, S. H. I., Gong, H. J., Zhao, H. L., Li, H. L., Hu, Y. H., & Wang, Y. C. (2018). Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10), 2151-2159. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62038-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62038-6).
- Zhu, J., Wei, G., Li, J., Qian, Q., & Yu, J. (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167(3), 527-533. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.04.020>.
- Zollinger, N., Kjelgren, R., Cerny-Koenig, T., Kopp, K., & Koenig, R. (2006). Drought responses of six ornamental herbaceous perennials. *Scientia Horticulturae*, 109(3), 267-274. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.05.006>.

The effect of potassium silicate foliar application on the growth and development of marigolds in water deficit conditions

Atiyeh Oraee, Mahmoud Shoor*, Asiye Marvi, Saeed Ebrahimi, Fateme Omrani, Rahele Hosseinzade, Pooran Shariati, Faezeh Shakourifar

Department of Horticultural Science and Landscape Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: 28/08/2022, Accepted: 28/12/2022)

Abstract

The ornamental plant industry faces many environmental constraints, such as drought due to climate change. Therefore, the use of materials that mitigate these stresses is essential. A pot experiment was conducted to investigate the effect of potassium silicate on the physiological and biochemical responses of marigolds under water stress. Four water deficit treatments were applied, including 90, 80, 70, and 60% of field capacity and potassium silicate at three concentrations (0, 1, and 3 mM). Results showed that the water deficit at 60% FC significantly reduced leaf relative water content (10.6%) and plant vegetative characteristics (height, leaf area, dry weight) compared to 90% of crop capacity in the no foliar spray condition. Increased ion leakage was observed in plants under water stress as an indicator of oxidative damage. In response to oxidative stress caused by a water deficit, the amount of chlorophyll, carbohydrate, and proline increased compared to the control. Foliar spraying of potassium silicate at a dosage of 3 mM increased the amount of chlorophyll a (92%), chlorophyll b (74%), and total chlorophyll (73%) under 60% FC stress compared to the control. The number and diameter of flowers increased by 39% and 16%, respectively, in the 3 mM treatment compared to the plants without foliar spraying. According to the results, foliar spraying with potassium silicate at a concentration of 3 mM reduced the negative effects of drought stress on the growth characteristics of marigold, such as leaf area and dry weight, and increased the amount of essential oil in the plant. In this way, the use of 3 mM potassium silicate before transplanting plants into environmental conditions can prevent damage caused by a water deficit.

Keywords: Ornamental plant, Silicon, Drought stress, Essential oil

Corresponding author, Email: shoor@um.ac.ir