تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۸
۸۴۷-۸۶۳
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1559.1349

مقاله پژوهشی

اثر سیلیکون بر افزایش تحمل به خشکی گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) تحت تنش رطوبتی

مرضیه عسکرنژاد[۱]، حمید سودایی‌زاده[۲]، اصغر مصلح آرانی[۲]، رستم یزدانی بیوکی[۳*]، پریزاد ماوندی[۴]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
۳. استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد
۴. دانشجوی دکتری گیاهان دارویی، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۲۱

چکیده

استویا با نام علمی *Stevia rebaudidna* گیاهی است که در سال‌های اخیر به علت تولید گلیکوزیدهای شیرین که فاقد کالری هستند، اهمیت زیادی یافته است. در بین تنش‌های غیرزنده، خشکی مهم‌ترین مشکل زراعی است که باعث کاهش عملکرد در محصولاتی می‌شود که به‌صورت دائم یا دوره‌ای در معرض آن قرار می‌گیرند. سیلیکون اثرهای مفیدی بر رشد، عملکرد و بهبود تحمل برخی گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی دارد. هدف از این تحقیق تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیکون بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه استویا در شرایط تنش رطوبتی در گلخانه بود. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای موردبررسی شامل چهار سطح تنش رطوبتی (۱۰۰ (شاهد)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد گلدانی) و سیلیکون با سه سطح (۰، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که ارتفاع، وزن تر اندام هوایی، قطر و حجم تاج پوشش، حجم ریشه، سطح ریشه، وزن تر و خشک ریشه و کلروفیل b با اعمال تنش رطوبتی کاهش معنی‌داری در سطح یک درصد داشت؛ اما کاربرد هر دو غلظت سیلیکون میزان خسارت حاصل از تنش رطوبتی بر گیاه استویا را در مقایسه با عدم استفاده از این ماده به‌طور معنی‌داری کاهش داد. به‌طوری‌که در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون به ترتیب سبب افزایش ۸، ۲۲ و ۳۳ درصدی در قند محلول، پرولین و کلروفیل b نسبت به عدم کاربرد سیلیکون شد (p<۰/۰۵). همچنین کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون به ترتیب موجب افزایش ۲۲، ۵، ۳۵ درصد ارتفاع، وزن تر، وزن خشک ریشه نسبت به عدم کاربرد این ماده در حالت بدون تنش رطوبتی (تیمار شاهد) در سطح احتمال ۵ درصد شد. به‌طورکلی نتایج این تحقیق بیانگر نقش مثبت سیلیکون در کاهش اثرات ناشی از تنش رطوبتی بر گیاه استویا بود.

***واژه‌های کلیدی*: پرولین، خصوصیات فیزیولوژیکی، خصوصیات مورفولوژیکی، کلروفیل**

مقدمه

خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده عملکرد محصولات، تقریباً روی کلیه فرآیندهای رشد گیاه تأثیرگذار است که با تغییرات فیزیولوژیکی سبب کاهش رشد و عملکرد محصولات زراعی می‌شوند (Sidique et al., 1999). با توجه به اثر منفی تنش خشکی بر رشد و عملکرد محصولات زراعی در اکثر نقاط کشور، ضروری است که روش‌های مختلف کاهش اثرات زیان‌آور این تنش بر رشد گونه‌های مختلف زراعی موردبررسی قرار گیرد.

سیلیکون ازجمله ترکیباتی است که باعث کاهش زیان‌های ناشی از خشکی می‌شود. به‌طوری‌که اثرات این عنصر در شرایط تنش بیشتر به چشم می‌خورد، زیرا سیلیکون توانایی آن را دارد که گیاهان را در برابراثرات مضر تنش‌های

* نگارنده پاسخگو: رستم یزدانی بیوکی. پست الکترونیک: r.yazdani@areeo.ac.ir

زیستی و غیر زیستی چندگانه محفوظ نگه دارد (Ma and Yamaji, 2006). تحقیقات نشان داده است که سیلیکون تنش‌های غیر زیستی شامل تنش‌های شیمیایی (نمک، سمیت فلزات و عدم تعادل غذایی) و تنش‌های فیزیکی (بارگیری، خشکی، دمای بالا، یخزدگی و اشعه ماوراءبنفش) را کاهش می‌دهد (Ahmed and Khurshid., 2011; Gagoonani et al., 2011; Kim et al., 2011; Ma and Yamaji, 2006). با توجه به اینکه خشکی عامل محدودکننده رشد گیاهان در اکثر مناطق کشور است لذا ضروری است که عکس‌العمل گیاهان مختلف به تنش خشکی بررسی‌شده و گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی جهت وارد شدن در الگوی کشت مناطق خشک معرفی گردد. در ایران ۸۰۰۰ گونه گیاهی وجود دارد که عکس‌العمل تعداد زیادی از آن‌ها به تنش‌های محیطی بررسی نشده است. ازآنجایی‌که اکثر گونه‌های دارویی مقاومت نسبی به شرایط کم‌آبی داشته و کشت این گیاهان راهکاری مناسب جهت بهره‌برداری و افزایش عملکرد در مناطق خشک است، لذا بررسی عکس‌العمل آن‌ها نسبت به تنش خشکی از اولویت‌های پژوهشی بخش کشاورزی کشور محسوب می‌گردد (Omidbaigi, 1997; Emad, 2007).

استویا با نام علمی *Stevia rebaudidna* گیاهی بوته‌ای، پایا و چندساله است که به خانواده آفتابگردان تعلق دارد و حساس به سرما است و دارای برگ‌های کوچکی است که به‌صورت متناوب روی ساقه قرار دارند. گل‌های این گیاه کوچک، سفید و در قسمت میانی بنفش کمرنگ‌اند و به‌صورت خوشه‌ای روی ساقه ظاهر می‌شوند (Ali et al., 2010). ویژگی جالب‌توجه این گیاه شیرین بودن شدید برگ‌ها و عصاره آبی آن است (Geuns, 2003). بهترین شرایط محیطی استویا، هوای مرطوب همراه با دمای ۱۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس است. در کشت‌های گلخانه‌ای می‌توان با تنظیم دما در تمام طول سال محصول تولید نمود. علاوه بر شرایط ذکرشده، گیاه استویا در روزهای کمتر از ۱۳ ساعت به گل رفته و گل‌دهی سبب کاهش چشمگیر در میزان محصول برگ و کم شدن کمی و کیفی گلیکوزیدها خواهد شد (Ramesh et al., 2006). در کشورهای مناطق استوایی مانند مالزی، معمولاً دما و رطوبت مناسب برای پرورش استویا فراهم است، ولی به سبب طول روزکوتاه در این منطقه شرایط گلدهی استویا فراهم‌شده و درنتیجه عملکرد و میزان مواد قندی آن کاهش می‌یابد. در ایران، بهترین مناطق دارای شرایط محیطی مناسب برای پرورش استویا، استان‌های گیلان و مازندران هستند (Armizatul et al., 2010).

تأثیر مفید سیلیکون در گیاهان بیشتر به افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی مربوط می‌شود (Ma and Yamaji, 2006). سیلیکون باعث بهبود فتوسنتز و افزایش محتوای کلروفیل در شرایط شوری می‌گردد (Gong et al., 2005). محققان متعددی تخفیف تنش اکسیداتیو ایجادشده در اثر عوامل تنش‌زای مختلف با تغذیه سیلیکون را گزارش کردند (Richmond and Sussman, 2003). ترابی و همکاران (Torabih et al., 2013) تأثیر سیلیکون بر برخی ویژگی‌های آناتومیکی و فیزیولوژیکی گیاه گاوزبان دارویی در شرایط هیدروپونیک را موردبررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گیاهانی که تحت تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون بودند بیشترین طول و عرض روزنه و شاخص روزنه نسبت به شاهد و دیگر تیمارها داشتند. همچنین تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون تأثیرات مثبتی بر وزن تر اندام هوایی و محتوای کلروفیل کل نشان داد. بااین‌وجود غلظت‌های بالای سیلیکون تأثیر منفی در رشد و صفات آناتومیکی گیاه داشت. حیدری و همکاران (Hidari et al., 2015) با تأثیر نانو سیلیکون بر جوانه‌زنی و شاخص رشد گیاهچه ارقام بومی و اصلاح‌شده گندم گزارش کردند که عنصر سیلیکون باعث افزایش قدرت و همچنین سبز شدن یکنواخت‌تر گیاهچه گندم شد. شی و همکاران (Shi et al., 2014) گزارش کردند که کاربرد سیلیکون باعث بهبود جوانه‌زنی در گوجه‌فرنگی شد و اثر مثبت آن در فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه مشاهده شد. یین و همکاران (Yin et al., 2014) با بررسی اثر سیلیکون بر افزایش مقاومت به خشکی در گیاه سورگوم به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی به‌طور چشمگیری پارامترهای رشد (نسبت ریشه/ساقه، سطح برگ، غلظت کلروفیل و سرعت فتوسنتز) را کاهش داد، درحالی‌که کاربرد سیلیکون تأثیر تنش خشکی در این پارامترها را کاهش داد. سیلیکون مقاومت به خشکی را از طریق تنظیم بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مهم در گیاهان، افزایش می‌دهد. کاو و همکاران (Cao et al., 2015) در بررسی اثر سیلیکون در جذب نور برگ‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که سیلیکون از کاهش کلروفیل جلوگیری کرده و به بهبود سرعت فتوسنتز خالص کمک می‌کند.

تاکنون مطالعات اندکی در زمینه نقش سیلیکون در افزایش مقاومت به تنش‌های غیرزنده محیطی ازجمله خشکی انجام

شده‌است. به همین منظور تحقیق حاضر جهت بررسی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی استویا با اعمال تیمارهای مختلف رطوبتی و بررسی نقش سیلیکون و غلظت-های مختلف آن در افزایش مقاومت به خشکی این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد با رطوبت نسبی ۴۰ درصد و میانگین دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به اجرا درآمد. برای کشت بوته‌ها از گلدان‌های به عمق ۲۰/۵ و قطر ۱۹/۵ سانتی‌متر استفاده شد. جهت پر نمودن گلدان‌ها از مخلوط خاک (دوسوم) و به مقدار مساوی ترکیب ماسه و کود (یک‌سوم) استفاده شد. خاک مورداستفاده در این آزمایش دارای بافت لومی شنی با هدایت الکتریکی ۲ دسی زیمنس بر متر و pH=۷/۷۶ بود. نهال‌های گیاه استویا از گلخانه شیراز (شهرستان فسا) تهیه شد. پس از استقرار کامل بوته‌ها، تیمارهای رطوبتی چهار سطح ۱۰۰ (شاهد یا بدون تنش) و ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی به شرح زیر اعمال شد:

تیمار ۱۰۰ به‌منزله ایجاد شرایط بدون تنش رطوبتی و تیمارهای ۷۵ و ۵۰ و ۲۵ به‌عنوان اعمال تنش‌های متوسط و شدید رطوبتی بر استویا است. در تیمار اول، تمامی کسری رطوبت خاک نسبت به نقطه ظرفیت گلدانی (PC) در زمان آبیاری باید از آب پر شود، درحالی‌که در تیمارهای دوم، سوم و چهارم، بخشی از این کسری، جبران خواهد شد. برای تعیین جرم آب موردنیاز برای آبیاری و رسانیدن رطوبت خاک به نقطه PC، از معادله ۱ استفاده شد (Alizadeh, 2005).

$$m=M_w - M_{FC} \qquad [۱]$$

که در آن m جرم آب موردنیاز برای اضافه کردن به خاک هر گلدان برحسب گرم یا کیلوگرم است. بنابراین، برای محاسبه جرم آب لازم برای آبیاری در هر نوبت، جرم اولیه تمامی گلدان‌ها (M_w) توسط ترازوی دقیق الکترونیکی اندازه‌گیری شد و میانگین کسری رطوبت خاک هر تیمار نسبت به رطوبت نقطه PC (m) تعیین گردید. سپس بسته به نوع تیمار خشکی ۱۰۰ (شاهد یا بدون تنش) و ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی و اعمال ضرایب ۱، ۰/۷۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵ بر روی اعداد به‌دست‌آمده برای m (جرم آب موردنیاز برای اضافه کردن به خاک هر گلدان برحسب گرم یا کیلوگرم)، مقادیر آب موردنیاز آبیاری در هر تیمار تعیین و توسط ظرف مدرج اعمال شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای موردبررسی در این تحقیق شامل تیمار رطوبتی با ۴ سطح ۱۰۰(شاهد یا بدون تنش) و ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی و غلظت سیلیکون با ۳ سطح ۱/۵، ۱ و ۰ میلی‌مولار در نظر گرفته شد. پس از استقرار کامل گیاهان نسبت به اعمال تیمارهای رطوبتی اقدام گردید. به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک از سیستم توزین گلدان‌ها استفاده شد و آبیاری نیز برحسب نیاز و در زمان‌های مقرر انجام گرفت. محلول‌پاشی سیلیکون بعد از گذشت ۴۰ روز از اعمال تیمارهای رطوبتی انجام شد و پس از گذشت یک هفته تکرار گردید. کلیه مراحل محلول‌پاشی در هنگام صبح یا غروب آفتاب صورت گرفت تا تبخیر از سطوح برگ به حداقل برسد. برگ گیاهان مورد آزمایش یک هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی جهت اندازه‌گیری به آزمایشگاه منتقل و مقدار قند محلول، پرولین و کلروفیل به شرح زیر محاسبه شد:

برای سنجش مقدار قند محلول، ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی (برگ) اضافه و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد. پس از گذشت یک هفته، ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی نمونه برداشته و سپس بر روی آن ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد اضافه و به‌خوبی ترکیب شد و پس‌ازآن ۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ اضافه و بعد از نیم ساعت، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد. در مرحله بعد با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز، غلظت قندهای محلول برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک ارزیابی گردید (Kochert, 1978).

جهت اندازه‌گیری پرولین، مقدار ۰/۵ گرم از بافت تر برگ را در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و مخلوط یکنواختی تهیه گردید. پس از صاف کردن عصاره حاصل، ۲ میلی‌لیتر محلول رویی نمونه را با ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص مخلوط کرده و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حمام آب گرم، قرار گرفت. سپس جهت قطع انجام کلیه واکنش‌ها، لوله‌های محتوی مخلوط در حمام یخ، سرد گردید و ۴ میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه و لوله‌ها به‌خوبی تکان داده شد. با ثابت نگه‌داشتن لوله‌ها به مدت ۱۵-۲۰ ثانیه، ۲ لایه کاملاً مجزا در آن‌ها تشکیل شد. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود، برای اندازه‌گیری غلظت پرولین

استفاده گردید. جذب مقدار مشخصی از این ماده رنگی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید سپس با استفاده از منحنی استاندارد پرولین، میزان تغییرات پرولین بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر اندازه‌گیری گردید (Bates et al, 1973).

محاسبه غلظت کلروفیل برگ با استفاده از روش لیچنتالر (Lichenthaler, 1987) انجام شد. بدین منظور ۰/۱ گرم از بافت تر برگ وزن و رنگیزه‌های آن توسط استون ۸۰ درصد استخراج شد. پس از صاف کردن نمونه‌ها با کاغذ صافی، جذب در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفتومتر خوانده شد. مقدار کلروفیل a، b و مقدار کلروفیل کل با استفاده از معادله‌های ۱، ۲ و ۳ برحسب میلی-گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد:

کلروفیل a:

{۱۲/۲۵(A۶۶۳) -۲/۷۹۸(A ۶۴۵)} =گرم بافت/ میلی‌گرم [۲]

کلروفیل b:

{۲۱/۵۰(A۶۴۵) - ۵/۱۰(A645)} =گرم بافت/ میلی‌گرم [۳]

کلروفیل کل:

کلروفیل b+کلروفیل a = گرم بافت/ میلی‌گرم [۴]

که A میزان جذب صورت گرفته در طول‌موج موردنظراست.

در پایان دوره رشد، ارتفاع گیاه (برحسب سانتی‌متر و با استفاده از خط‌کش) و قطر تاج پوشش گیاه با اندازه‌گیری قطر گیاهان در دو جهت شمال-جنوب و شرق-غرب محاسبه گردید. سپس حجم تاج پوشش گیاه با داشتن ارتفاع و قطر از طریق معادله‌های ۵ و ۶ محاسبه گردید (Rasolzadegan, 1989).

زمانی که ارتفاع کمتر از قطر باشد:

$$V=4/3\pi a^2 b \qquad [۵]$$

زمانی که قطر کمتر از ارتفاع باشد:

$$V=4/3\pi a b^2 \qquad [۶]$$

که در این معادله‌ها، a = ارتفاع گیاه، π= ۳/۱۴، b = قطر متوسط گیاه و V= حجم تاج پوشش هستند.

سپس تعداد برگ در هر بوته از طریق محاسبه میانگین تعداد بوته‌های موجود در هر گلدان (۳ عدد) به دست آمد. همچنین پس از برداشت بوته‌ها وزن خشک اندام هوایی (با قرار دادن نمونه‌های گیاه در کوره و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) محاسبه شد. بعد از جدا نمودن قسمت هوایی، نسبت به برداشت خاک و ریشه اقدام و با الک نمودن و سپس شستشوی خاک، ریشه‌های ضخیم و موئین جدا شدند و جهت برآورد وزن، حجم و سطح ریشه به روش‌های زیر مورداستفاده قرار گرفتند.

سطح کل ریشه:

از پارامترهای مهم دیگر در مطالعات مرتبط به تنش خشکی، به دست آوردن سطح ریشه‌هاست که با استفاده از معادله ۴ موسوم به روش اتکینسون محاسبه شد (Alizadeh, 2005).

سطح ریشه‌ها (cm^2) =

$$۲\ \{[\text{حجم ریشه‌ها (cc)}] \times \pi \times [\text{طول ریشه‌ها (cm)}]\}^{۰/۵} \qquad [۷]$$

وزن ریشه با قرار دادن ریشه‌ها در کوره و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت وزن خشک آن‌ها به دست آمد (Alizadeh, 2005). با اندازه‌گیری میزان وزنی ریشه، تأثیر تیمارهای رطوبتی بر توسعه ریشه مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری حجم ریشه، پس از جدا کردن اندام هوایی و ریشه از یکدیگر با چند بار شستشو، ریشه‌ها در داخل استوانه مدرج با میزان مشخص آب، گذاشته شد و از روی تغییر حجم آب درون استوانه، حجم ریشه برحسب میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد.

درنهایت پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها از روش تجزیه واریانس دوطرفه جهت آنالیز داده‌ها و برای مقایسه میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS صورت پذیرفت و جهت رسم نمودارها از محیط نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژیکی

قند محلول

اعمال تیمارهای رطوبتی بر قند محلول اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت (جدول ۱).

نتایج نشان داد که قند محلول در تنش رطوبتی ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی افزایش معنی‌داری نسبت به اثر ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی داشت ($P<۰/۰۵$)، به‌طوری‌که بیشترین میزان قند محلول مربوط به تیمار ۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی بود (شکل ۱).

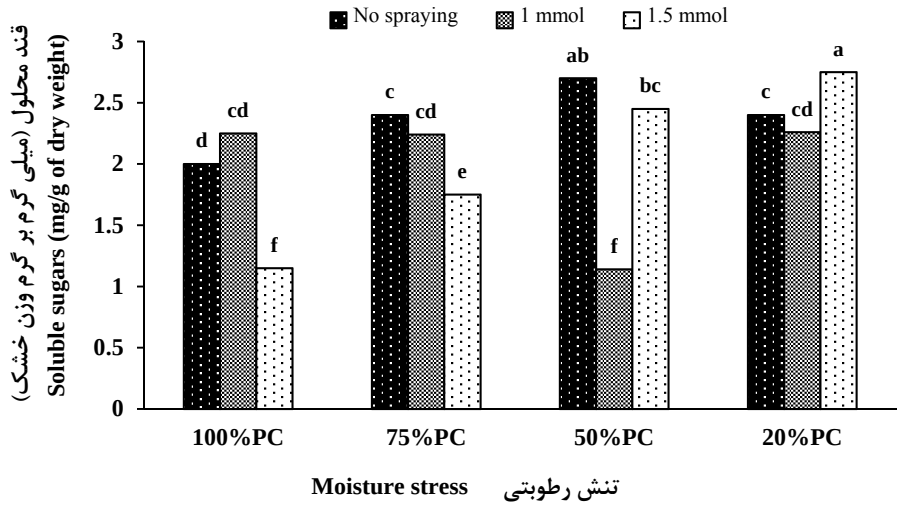
جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تنش رطوبتی و محلول‌پاشی سیلیکون بر پرولین، قند محلول، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در گیاه استویا

Table 1. Analysis of variance of moisture stress and spraying silicone effects on the soluble sugars, proline, chlorophyll a, b and total chlorophyll in Stevia

			Mean square میانگین مربعات				
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	قند محلول Soluble sugars	پرولین Proline	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
Moisture treatments (A)	تیمارهای رطوبتی (A)	3	0.78**	0.03**	5.14ns	44.41**	90.64 ns
Silicone spray (B)	محلول‌پاشی با سیلیکون (B)	2	0.767**	0.002 ns	13.20ns	114.41**	107.52 ns
(A×B)	اثر متقابل	6	1.02**	0.003 ns	8.05 ns	14.66 ns	21.64ns
Error	خطا	24	0.02	0.002	3.71	9.08	47.52

*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری.

*,** and ns significant at the level 0.05, 0.01 and not significant, respectively.



شکل ۱. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر روی قند محلول استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 1. Interaction effects of moisture stress and silicon on soluble sugars of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

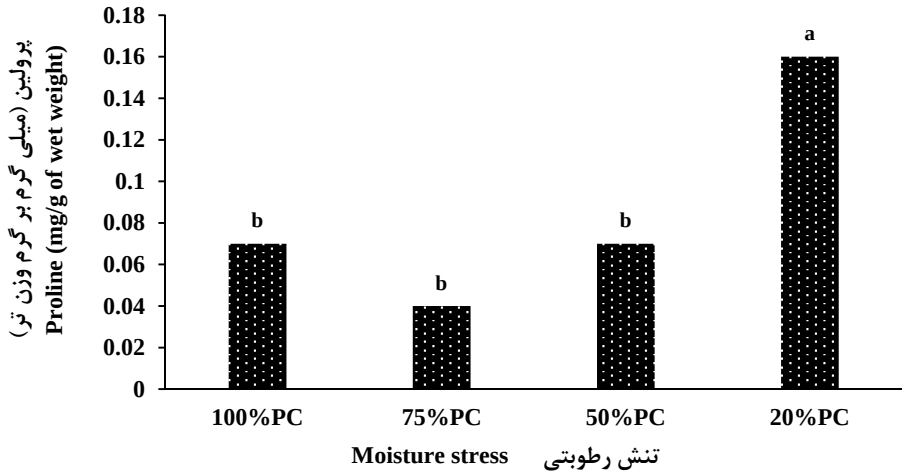
ازآنجاکه قندها از اسمولیت‌های سازگار به شمار می‌آیند و تجمع آن‌ها سبب تنظیم اسمزی، حفظ آماس سلولی و پایداری پروتئین‌ها می‌شود، لذا افزایش قندهای محلول گیاه نظیر ساکارز، گلوکز و فروکتوز در اثر تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی از راهکارهای تحمل گیاهان به شرایط نامساعد محیطی به‌حساب می‌آید (Verma and Dubeym, 2001). صفی خانی و همکاران (Safikhani et al., 2008)، در تحقیق بر روی گیاه دارویی بادرشبویه نیز به نتیجه‌ای مشابه دست یافتند. همچنین یانکوینگ و همکاران (Yanqiong et al., 2007) نیز در بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیکی مقاومت به خشکی در ۴ گونه بوته‌ای در دره خشک رودخانه مینجوینگ چین به این نتیجه رسیدند که تحت تنش خشکی میزان قند محلول افزایش یافته است. هوانی و جانسون (Huany and Johnson, 1995) گزارش کردند که تجمع قندهای احیاکننده در شرایط تنش احتمالاً در تنظیم اسمولاریته درون سلول و حفاظت مولکول‌های زیستی و غشاها اهمیت دارد.

هرچند که اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر قند محلول و اثر متقابل تنش رطوبتی و سیلیکون بر روی این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱)؛ اما افزایش غلظت

سیلیکون در تیمارهای مختلف رطوبتی روند ثابتی نداشت، به‌طوری‌که در تیمارهای بالای رطوبتی یعنی تیمار ۱۰۰ (شاهد) و ۷۵ درصد ظرفیت گلدانی افزایش غلظت سیلیکون سبب کاهش قند محلول شد، درحالی‌که در تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی، افزایش غلظت سیلیکون تا سطح ۱/۵ میلی‌مولار سبب افزایش این صفت شد. به‌طوری‌که در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون افزایش حدود ۸ درصدی در قند محلول نسبت به عدم کاربرد سیلیکون مشاهده شد. بنا بر گزارش سعادتمند و انتشاری (Saadatmand and Enteshari, 2012) به دنبال افزایش تنش، سیلیکون محتوی قندهای احیاکننده و محلول را در گیاه افزایش می‌دهد. این پدیده احتمالاً مکانیسم سازش گیاه برای حفظ پتانسیل اسمزی مناسب در شرایط تنش است. بر اساس گزارش ورما و دوبیم (Verma and Dubeym, 2001) به نظر می‌رسد که سیلیکون ذخیره کربوهیدراتی گیاهان تحت تأثیر تنش را برای فرآیندهای متابولیک و حفظ متابولیسم پایه در حد مطلوب نگه داشته است.

پرولین

اعمال تیمارهای خشکی بر پرولین اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت (جدول ۱). افزایش تنش رطوبتی در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی سبب افزایش معنی‌دار پرولین گیاه استویا به میزان حدوداً ۷۰ درصد نسبت به سه تیمار ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی شد (شکل ۲).



شکل ۲. اثر تیمارهای مختلف تنش خشکی بر پرولین استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 2. The effect of different treatments of moisture stress on proline of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

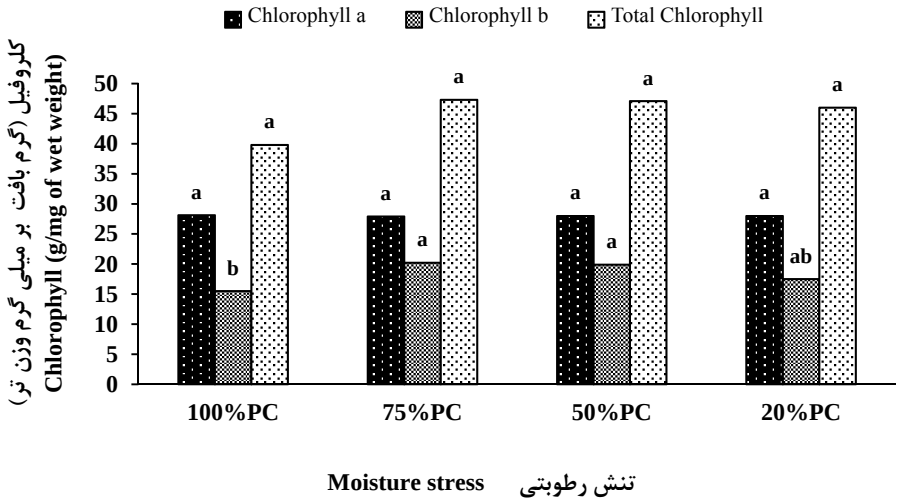
در این زمینه نتایج تحقیقات متعدد (Abaszadeh et al., 2008; Shariat and Asare, 2008) حاکی از تأثیر مثبت تنش رطوبتی بر میزان پرولین است به‌طوری‌که مقدار پرولین در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال بیشتر شد. درواقع پرولین اسیدآمینه‌ای است که بخش عمده بسیاری از پروتئین‌های درگیر در تنظیم اسمزی، دیواره سلولی و غشا را تشکیل می‌دهد (Szabados and Savoure, 2009). در شرایط تنش رطوبتی، پرولین در حفظ پتانسیل اسمزی، حذف رادیکال‌های آزاد و ROSها، حفاظت ماکروملکول‌ها از دنتاتوره شدن، تنظیم pH سلولی نقش دارد. علاوه بر این پرولین به‌عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش می‌دهد (Amini et al., 2015). در گیاهان عالی سنتز پرولین از طریق دو مسیر گلوتامات و آرژنین/اورنیتین صورت می‌گیرد. در شرایط تنش رطوبتی، مسیر گلوتامات نقش اصلی در بیوسنتز پرولین ایفا می‌کند. در مسیر گلوتامات، گلوتامیک اسید با آنزیم P5CS به گلوتامیک-۵- سمی آلدئید تبدیل می‌شود که پس از تبدیل به دلتا-۱-پیرولین-۵-کربوکسیلات به کمک آنزیم P5CS به L-پرولین تبدیل می‌شود (Hu et al., 1992). مسیر تجزیه پرولین نیز در تجمع آن تحت

شرایط تنش اهمیت دارد. تجمع این ماده با افزایش شدت تنش به میزان ۳۰ درصد ظرفیت زراعی درنتیجه افزایش بیوسنتز پرولین و کاهش تخریب آن صورت می‌گیرد (Lehmann et al, 2010). افزایش پرولین در بسیاری از مطالعات تحت تنش رطوبتی گزارش شده است (Ghorbanli et al., 2013 and Hanson et al., 1999)؛ بنابراین گیاهانی که در تحت تنش رطوبتی قرار می‌گیرند مقدار زیادی از منابع کربن و نیتروژن خود را صرف سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل پرولین می‌کنند تا بتوانند فشار تورژسانس سلول‌های خود را حفظ کنند (Aranjuelo et al., 2011).

محتوای کلروفیل

اعمال هر یک از تیمارهای رطوبتی و محلول‌پاشی با سیلیکون بر کلروفیل b اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت (جدول ۱). درحالی‌که کلروفیل a و کل تحت تأثیر تیمار رطوبتی قرار نگرفتند؛ اما کلروفیل a تنها در تیمار سیلیکون در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل سیلیکون و تنش رطوبتی بر هیچ‌کدام از انواع کلروفیل‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱).

نتایج حاصل از بررسی تیمارهای مختلف تنش رطوبتی بر محتوای کلروفیل گیاه استویا نشان داد که اثر تنش رطوبتی بر کلروفیل b معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان این صفت در تیمار ۷۵ درصد به دست آمد که با تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی اختلاف معنی‌داری نشان نداد و کمترین میزان نیز در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳. اثر تیمارهای مختلف تنش رطوبتی بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 3. The effect of different treatments of moisture stress on chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

افزایش اندک کلروفیل b در شرایط تنش نشان داد که در تنش خشکی رنگ‌دانه‌های کلروفیل تا حدی به کاهش آب متحمل بودند. تجملیان (Tajamolian, 2011) نیز در تحقیقی بر روی گیاه قلم (*Fortuynia bungei* Boiss.) به نتایج مشابهی دست یافتند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که تأثیر سیلیکون بر کلروفیل a و کلروفیل کل معنی‌دار نبود اما محلول ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون موجب افزایش ۳۳ درصد کلروفیل b نسبت به حالت عدم محلول‌پاشی شد (شکل ۴). خواجه و همکاران (Khajeh et al., 2015) در تحقیقی بر روی اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی سیلیکون بر عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی گندم در منطقه سیستان به نتایج مشابه این مطالعه دست یافتند.

صفات مورفولوژیکی

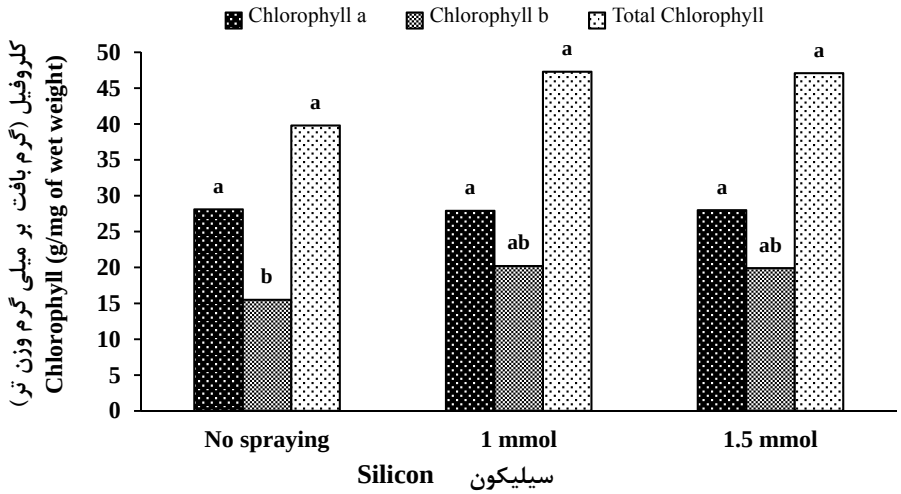
اندام هوایی

اعمال تیمارهای رطوبتی تنها بر صفت ارتفاع گیاه، وزن تر اندام هوایی، قطر تاج پوشش و حجم تاج پوشش گیاه اثر

معنی‌دار در سطح یک درصد داشت، درحالی‌که بر وزن خشک اندام هوایی و تعداد برگ اثر معنی‌داری نداشت. اثر محلول‌پاشی سیلیکون نیز بر ارتفاع گیاه، قطر تاج پوشش و حجم تاج پوشش گیاه در سطح یک درصد و بر وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون نیز تنها بر صفت وزن خشک اندام هوایی، قطر و حجم تاج پوشش در سطح یک درصد معنی‌دار بود و بر سایر صفات تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

ارتفاع گیاه

بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار ۷۵ درصد ظرفیت گلدانی برابر با ۲۶/۴۸ سانتی‌متر مشاهده شد که با تیمارهای ۱۰۰ و ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین ارتفاع در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی معادل ۲۰/۶۶ سانتیمتر مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۴. اثر تیمارهای مختلف محلول‌پاشی سیلیکون بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 4. The effect of different treatments of spraying silicone on chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

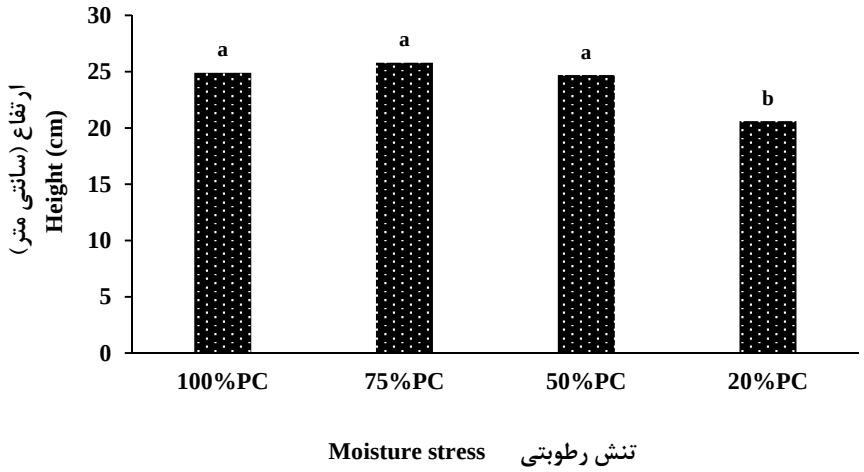
جدول ۲. تجزیه واریانس تیمارهای مختلف اثر آبیاری و محلول‌پاشی سیلیکون بر ارتفاع، تعداد برگ، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، قطر تاج پوشش و حجم تاج پوشش در گیاه استویا

Table 2. Analysis of variance of moisture stress and spraying silicone effects on the hieght, number of leave, shoot fresh weight, shoot dry weight, canopy diameter and canopy volume in Stevia

			میانگین مربعات Mean square					
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Hieght of plant	تعداد برگ Number of leave	وزن تر اندام هوایی (گرم) Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	قطر تاج پوشش Canopy diameter	حجم تاج پوشش Canopy volume
moisture treatments (A)	تیمارهای رطوبتی (A)	3	60.64**	945.67 ns	105.40**	0.31 ns	74.99 **	15320000 **
Spraying with silicone (B)	محلول‌پاشی با سیلیکون (B)	2	100.99**	208.33ns	21.76*	0.218*	131.03 **	11700000**
A×B	اثر متقابل	6	31.07 ns	1635.67 ns	6.04 ns	0.66**	49.66**	12.1 **
Error	خطا	24	5.415	108.47	6.64	0.75	7.25	272719

*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری.

*,** and ns significant at the level 0.05, 0.01 and not significant, respectively.

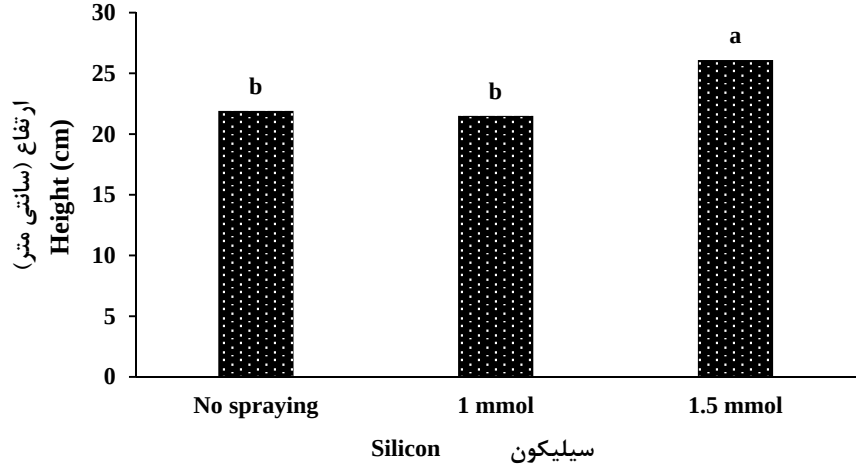


شکل ۵. اثر تیمارهای مختلف خشکی بر ارتفاع گیاه استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 5. The effect of different treatments of moisture sterss on plant hieght of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

در تحقیقات متعدد دیگر این روند کاهشی ارتفاع گیاه با افزایش تنش مشاهده شده است (Bansal et al., 1991; Hassanzadeh-Delouei et al, 2013; Sarmadnia and Koocheki, 1997). تنش رطوبتی، با اختلال در فرآیندهای فتوسنتزی و کاهش تولید موارد پرورده جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد، مانع از دستیابی به پتانسیل کامل گیاه می‌شود. همچنین تنش رطوبتی در زمان ارتفاع گیری گیاه سبب می‌شود رقابت برای جذب آب بین بخش هوایی و زمینی در بوته افزایش یابد و در این رقابت، گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی کمتری به بخش هوایی ازجمله ساقه رسیده که این روند باعث کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Chanbdracar et al., 1994).

همچنین نتایج بررسی اثر مصرف سیلیکون بر ارتفاع گیاه نیز نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد که با تیمار سیلیکون یک میلی‌مولار و عدم مصرف سیلیکون افزایش معنی‌داری در حدود ۲۲ درصد در سطح ۵ درصد داشت (شکل ۶).



شکل ۶. اثر تیمارهای مختلف سیلیکون بر ارتفاع گیاه استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

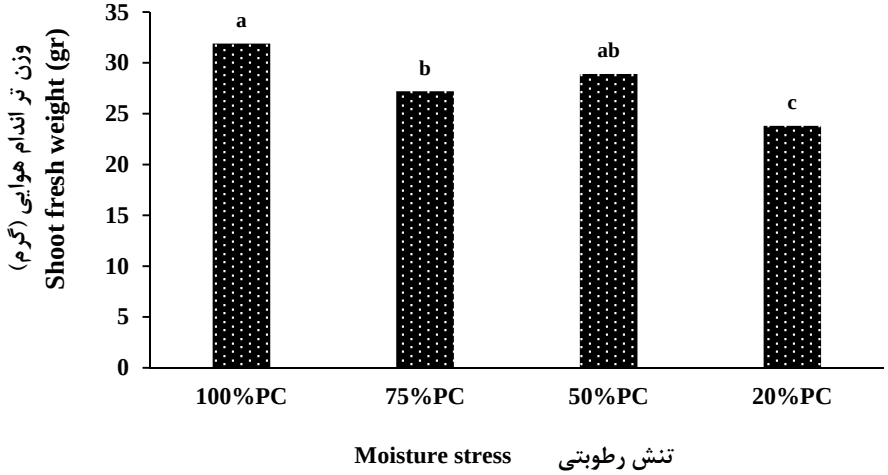
Fig. 6. The effect of different treatments of silicon on plant hieght of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

خواجه و همکاران (Khajeh et al., 2016) با کاربرد سه غلظت صفر، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون بر روی گندم گزارش کردند که بیش‌ترین ارتفاع در سطح محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار حاصل شد. گزارش‌ها حاکی از تأثیر مثبت سیلیکون بر فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان مختلف است (Khajeh et al., 2016). درواقع افزایش رشد گیاه در حضور سیلیکون از طریق بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه شده و سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Raj and Thakral, 2008).

وزن تر اندام هوایی

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی و کمترین آن در ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی مشاهده گردید (شکل ۷). وزن تر اندام هوایی استویا در تیمارهای ۲۵ و ۷۵ درصد FC نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد FC کاهش معنی‌داری را در سطح ۵ درصد نشان داد.

روند عمومی که گیاهان در شرایط تنش رطوبتی با آن مواجه هستند کاهش تولید وزن تر و خشک گیاه است (Farooq et al., 2009). در حقیقت راندمان تولید گیاه تحت تنش رطوبتی قویاً به فرآیندهای دسته‌بندی مواد و توزیع موقتی بیوماس (زیست‌توده) مرتبط است (Kage et al., 2004). یکی از دلایل کاهش فتوسنتز، عدم انتقال مواد فتوسنتزی تحت تأثیر تنش رطوبتی است که سبب اشباع شدن برگ‌ها از این مواد می‌شود و فتوسنتز را محدود می‌کند. درواقع تنش رطوبتی ضمن کاهش سطح برگ، پیری آن‌ها را نیز تسریع کرده و به‌این‌ترتیب می‌تواند میزان تولید را بیشتر ازآنچه به سبب اثرات ناشی از کاهش شدت فتوسنتز خالص تقلیل می‌یابد، کاهش دهد (Taiz and Zeiger, 2006).



شکل ۷. اثر تیمارهای مختلف خشکی بر وزن تر اندام هوایی استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 7. The effect of different treatments of drought sterss on shoot fresh wieght of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

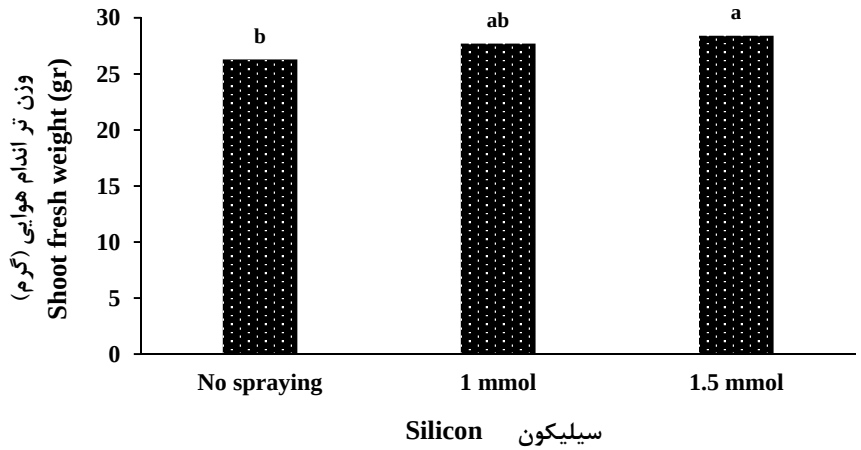
نتایج بررسی اثر مصرف سیلیکون بر وزن تر اندام هوایی استویا نشان داد که با محلول‌پاشی سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار نسبت به عدم محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش ۵ درصدی در وزن تر این گیاه شد (شکل ۸).

به نظر می‌رسد مصرف سیلیکون باعث جهت‌گیری برگ‌ها در مقابل آفتاب و درنتیجه افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌شود (Gottardi et al., 2012). درواقع اثر مثبت سیلیکون به تغییرات آناتومیکی به سبب رسوب سیلیکون در دیواره سلولی است (MA and Takahashi 2002).

وزن خشک اندام هوایی

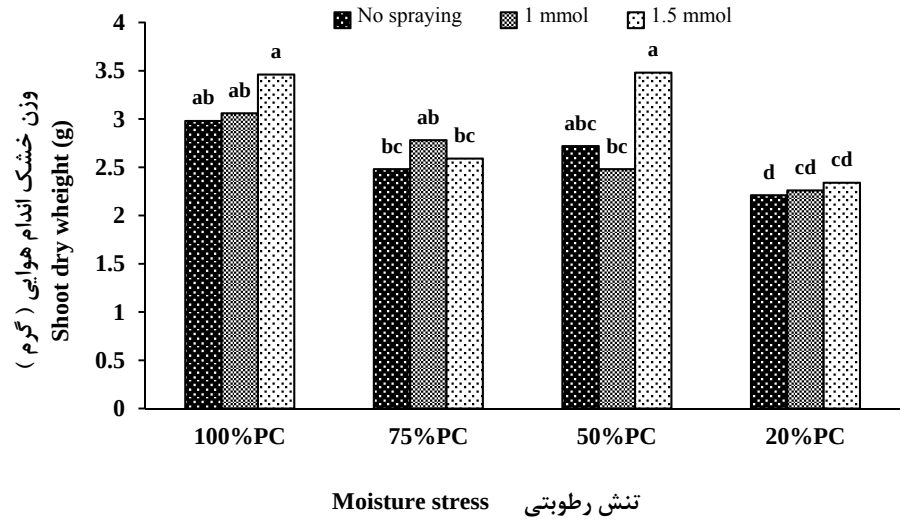
نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون نشان داد که در هر دو حالت مصرف و عدم مصرف سیلیکون، وزن خشک اندام هوایی گیاه استویا در تنش ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد PC کاهش

معنی‌داری داشت. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی و محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون مشاهده شد که با تیمار رطوبتی ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کمترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی و عدم محلول‌پاشی سیلیکون به دست آمد که با سایر تیمارهای مصرف سیلیکون در این سطح تنش اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۹). سعادتمند و انتشاری (Saadatmand and Enteshari, 2012) به تأثیر غلظت مناسب سیلیکون (۰/۲ میلی‌مولار) و طول تیمار بلندمدت (۳۰ روز) با سیلیکون در افزایش وزن خشک در گیاه گاوزبان ایرانی اشاره نمودند.



شکل ۸. اثر تیمارهای مختلف سیلیکون بر وزن تر اندام هوایی استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 8. The effect of different treatments of silicon on shoot fresh wieght of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).



شکل ۹. اثر متقابل تنش رطوبتی و سیلیکون بر وزن خشک اندام هوایی استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

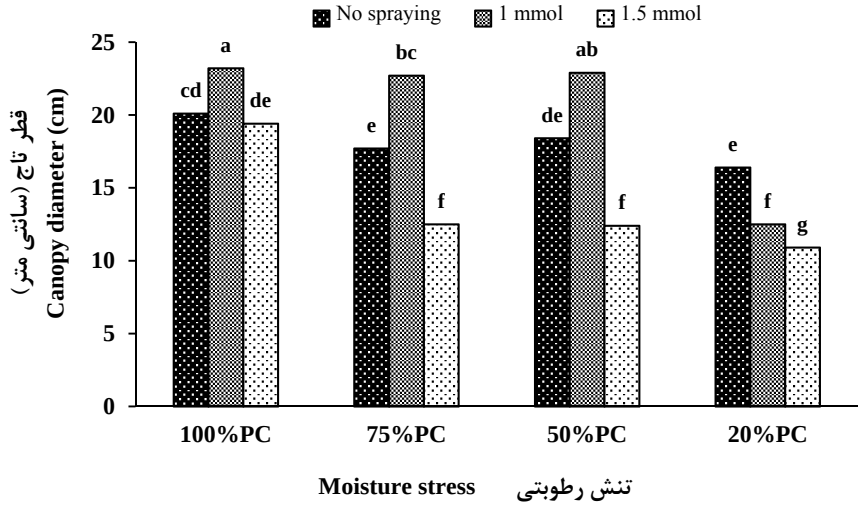
Fig. 9. Interaction between different treatments of drought sterss and silicon on shoot dry wieght of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

قطر تاج پوشش

مقایسه میانگین اثرات تنش رطوبتی و محلول‌پاشی سیلیکون بر قطر تاج پوشش گیاه استویا نشان داد که در هر سه تیمار مصرف سیلیکون قطر تاج در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد کاهش معنی‌داری داشت. در تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد FC مصرف سیلیکون ۱ میلی‌مولار، قطر تاج پوشش را نسبت به تیمارهای ۱/۵ و عدم مصرف سیلیکون به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۱۰).

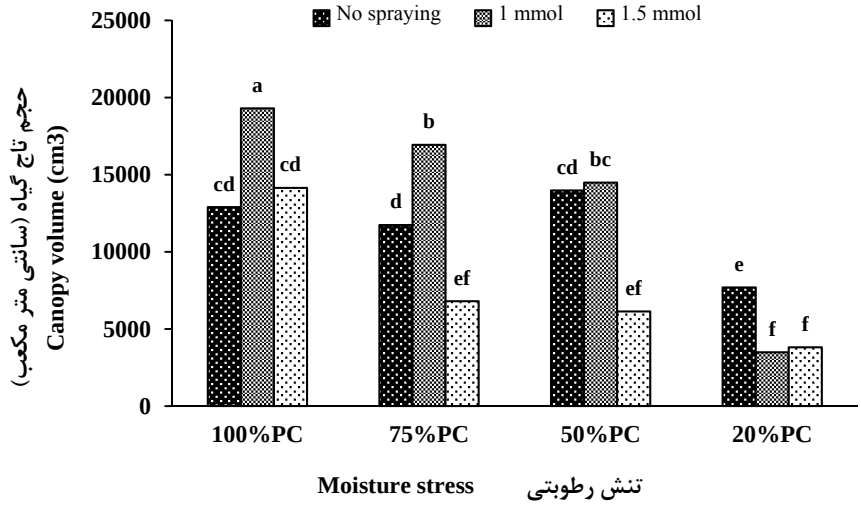
حجم تاج پوشش

بیشترین حجم تاج پوشش در ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی و محلول‌پاشی ۱ میلی‌مولار سیلیکون بود و کمترین قطر تاج پوشش در ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی و محلول‌پاشی ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد که با تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت گلدانی و مصرف سیلیکون ۱/۵ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. اثر متقابل تنش رطوبتی و سیلیکون بر روی قطر تاج پوشش استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 10. Interaction between different treatments of moisture sterss and silicon on canopy diameter of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).



شکل ۱۱. اثر متقابل تنش رطوبتی و سیلیکون بر حجم تاج پوشش استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 11. Interaction between different treatments of moisture sterss and silicon on canopy volume of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی سیلیکون بر طول، حجم، سطح، وزن تر و وزن خشک ریشه استویا

Table 3. Analysis of variance of irrigation and spraying silicone effects on the length, volume, area, fresh weight and dry weight of the Stevia

			Mean square			میانگین مربعات	
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	طول ریشه Root lenght	حجم ریشه Root volume	سطح ریشه Root area	وزن تر ریشه Root fresh wieght	وزن خشک ریشه Root dry weight
Drought treatments (A)	تیمارهای خشکی (A)	3	13.18^{ns}	21.73**	26.66^{ns}	143.88**	0.63**
Spraying with silicone (B)	محلول‌پاشی با سیلیکون (B)	2	17.52^{ns}	4.75*	92.34 ^{ns}	6.009**	1.42**
A×B	اثر متقابل	6	16.38^{ns}	3.34*	123.56^{ns}	13.29**	1.04**
Error	خطا	24	11.52	1.33	27.78	0.666	0.04

*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی‌داری.

*, ** and ns significant at the level 0.05, 0.01 and not significant, respectively.

کاهش قطر و حجم تاج با افزایش تنش رطوبتی دلالت بر عکس‌العمل گیاه به کمبود رطوبت است. با افزایش تنش رطوبتی زاویهٔ انشعاب شاخه‌ها نسبت به تنهٔ اصلی گیاه کاهش پیداکرده و طول انشعابات نیز کم می‌شود به عبارتی میزان جذب تشعشع که عاملی در جهت افزایش میزان تعرق از سطح برگ است، کاهش می‌یابد و درنتیجه قطر تاج گیاه کاهش می‌یابد. ارتفاع گیاه نیز به خاطر کاهش آماس و توسعه سلولی و درنتیجهٔ کاهش رشد، کاهش می‌یابد، چنان‌که در تحقیق حاضر نیز کم شده است. ازآنجاکه در محاسبه حجم تاج پوشش دو فاکتور ارتفاع و قطر متوسط گیاه مورداستفاده قرار می‌گیرد و درنتیجهٔ این کاهش در حجم و سطح تاج پوشش نیز به‌وضوح دیده می‌شود (Tajamolian et al, 2013).

اندام زیرزمینی

اعمال تیمارهای رطوبتی بر تمام صفات به‌جز طول و سطح ریشه در سطح یک درصد اثر معنی‌دار داشت. اثر محلول‌پاشی سیلیکون نیز بر صفات وزن تر و خشک ریشه در سطح یک درصد و بر حجم ریشه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. محلول‌پاشی سیلیکون بر طول ریشه اثر معنی‌داری نداشت. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون نیز به‌جز طول و سطح ریشه بر سایر صفات موردبررسی معنی‌دار بود (جدول ۳).

حجم ریشه

نتایج حاصل از بررسی تیمارهای مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون بر حجم ریشه گیاه استویا نشان داد که بیشترین حجم ریشه در هر سه تیمار مصرف سیلیکون در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی مشاهده شد (شکل ۱۲). افزایش حجم ریشه براثر تنش خشکی خود می‌تواند دلیلی بر مقاومت به خشکی گیاه استویا از طریق گسترش ریشه‌ها باشد.

وزن تر و خشک ریشه

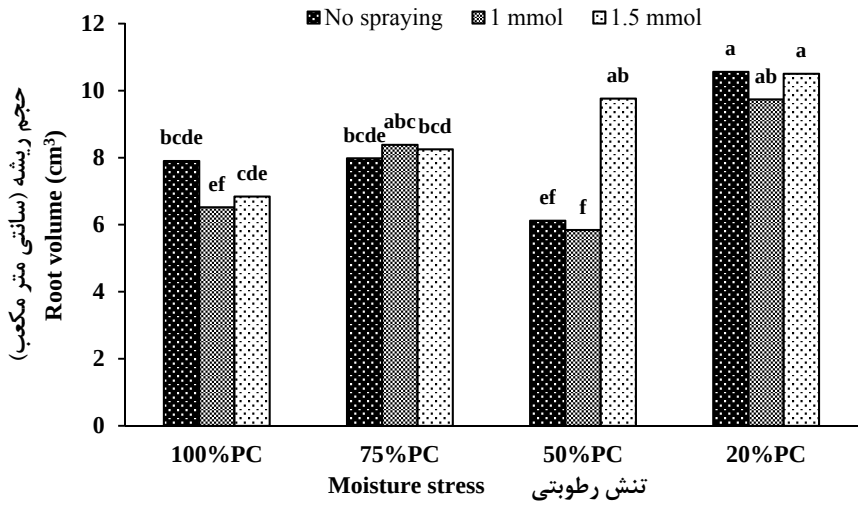
نتایج حاصل از بررسی تیمارهای مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون بر وزن تر ریشه گیاه استویا نشان داد که وزن تر ریشه در هر سه تیمار مصرف سیلیکون در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد افزایش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۱۳). در مورد وزن خشک ریشه همان‌طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود اعمال تنش خشکی باعث افزایش وزن خشک ریشه شد.

به نظر می‌رسد افزایش وزن تر و خشک ریشه در اثر تنش خشکی دلالت بر وجود مکانیسمی در ریشه گیاه استویا جهت مقاومت به تنش رطوبتی است که این مکانیسم با به کار بردن سیلیکون تشدید می‌گردد. به‌طورکلی نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون در تنش رطوبتی ۲۵ درصد گلدانی از بیشترین وزن خشک ریشه برخوردار بود، چون‌که گزارش شده است در شرایط وجود تنش خشکی گیاهان با افزایش رشد ریشه تقاضا برای میزان تعرق خود را جبران می‌کنند (Connor and jones, 1985)، بنابراین در شرایط تنش کاهش رشد اندام هوایی و سطح برگ به افزایش رشد ریشه وجود خواهد داشت، در این تحقیق گیاه

استویا با افزایش رشد ریشه (شکل ۱۳) و کاهش رشد اندام هوایی (شکل ۹) توانسته است در سطوح بالای تنش تحمل نسبی داشته باشد.

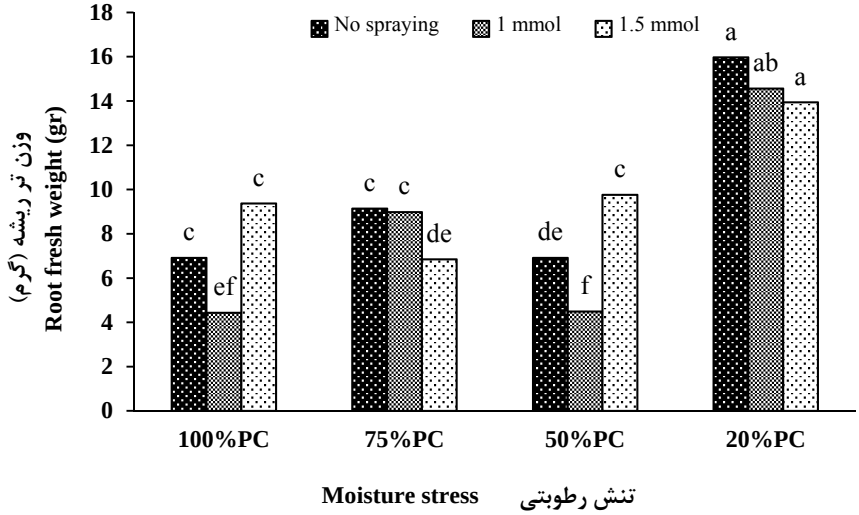
نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج نشان داد که با افزایش تنش رطوبتی تمامی فاکتورهای موردبررسی تحت تأثیر قرار گرفتند. درواقع تنش رطوبتی شدید (۲۵ درصد ظرفیت گلدانی) منجر به افزایش میزان قند و پرولین در قسمت‌های هوایی گیاه استویا گردید؛ بنابراین به نظر می‌رسد که این گیاه از این مکانیسم جهت مقابله با تنش رطوبتی استفاده می‌کند. محلول‌پاشی سیلیکون منجر به افزایش رشد و تولید ماده خشک استویا در شرایط وجود تنش رطوبتی تا ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی شد و با



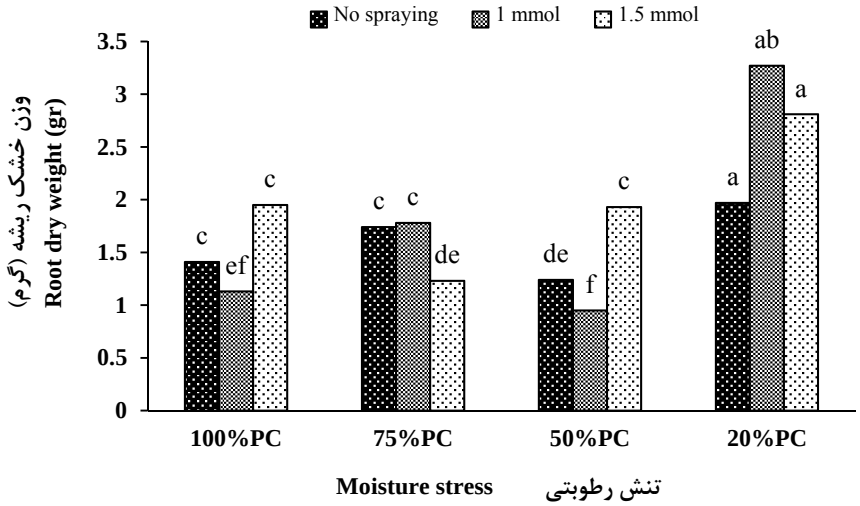
شکل ۱۲. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر حجم ریشه استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 12. Interaction between different treatments of drought sterss and silicon on root volume of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).



شکل ۱۳. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر وزن تر ریشه استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 13. Interaction between different treatments of drought sterss and silicon on root fresh wieght of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).



شکل ۱۴. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر وزن خشک ریشه استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

Fig. 14. Interaction between different treatments of drought sterss and silicon on root dry wieght of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

افزایش شدت تنش به ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی، این گیاه دارای مکانیسم‌های مقاومتی بود، اما این مکانیسم‌ها برای مقابله با این تنش شدید کارآمد نبود. در حقیقت کاربرد سیلیکون اثرات تخریبی ناشی از تنش رطوبتی ملایم را در این گیاه بهبود بخشید. بااین‌حال محلول‌پاشی سیلیکون توانست باعث افزایش میزان قند محلول، پرولین، کلروفیل b و ارتفاع استویا شود. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد سیلیکون در شرایط تنش رطوبتی برای بهبود رشد گیاه استویا مؤثر بود که می‌تواند به سبب نقش تغذیه‌ای و آنتی‌اکسیدانی سیلیکون برای این گیاه باشد.

منابع

Abaszadeh, B., Sharifiashorabadi, A., Lebaschi, M.H., Naderi Haji Bagherkandi, M., Moghadami, F., 2008. The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 23(4), 504-513. [In Persian with English summary].

Ahmed, M., Hassen, F., Khurshid. Y., 2011. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? Agricultural Water Management. 98(12), 1808-1812.

Ali, A., Gull, I., Nas, S., Afghan, S., 2010. Biochemical investigation during different stages of in vitro propagation of Stevia rebaudiana. Pakistan Journal of Botany. 42(4), 2827-2837.

Alizadeh, A., 2005. Soil, Water and Plant Relationship. Astane qodse razavi publication. 222p. [In Persian].

Aranjuelo, I., Molero, G., Erice, G., Christophe Avice, J., Nogues, S., 2011. Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Experimental Botany. 62,111-123.

Amini, S., Ghobadi, C., Yamchi, A., 2015. Proline accumulation and osmotic stress, an overview of p5cs gens in plants. Journal of Plant Molecular Breeding. 3(2), 44-55.

Aromatic Plants. 23(4), 504-513. [In Persian with English summary].

Armizatul, S.A.H.R., Mohd Aziz, A.B., Azhar, k., 2010. Effects of night break on Stevia rebaudiana Poster presented at 21th Malaysian Society of Plant Physiology Conference, Cameron Highland.

Bansal, K.C., Nagarajan, S., Sukumaran, N.P., 1991. A rapid screening technique for drought resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.). Potato Research. 34, 241-248.

Bates, L., Waldren, R.P., Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

Cao, B. I., Ma, Q., Zhao, Q., Wang, L., Xu, k., 2015. Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymesand ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. Scientia Horticulturae. 194, 53-62.

Chanbdracar, B.L., Sechar, N., Tuteja, S.S., Tripathi, R.S., 1994. Effect of irrigation and nitrogen of growth and yield of summer sesame (*Sesamum indicum*) Indean Journal Agronomy. 39, 701-702.

Chandra Obul Reddy, P., Sairanganayakulu, G., Thippeswamy, M., Sudhakar Reddy, P., Reddy M.K., Chinta Sudhakar, H., 2008. Identification of stress-induced genes from the drought tolerant semi-arid legume crop horsegram. (*Macrotyloma uniflorum* (Lam) Verdc) through analysis of subtracted expressed sequence tags. Plant Science. 175, 372-384.

Connor, D.G., Jones, T.K., 1985. Response of sunflower to strategies of irrigation: II. Morphological and physiological responses to water stress. Field Crops Research. 12, 91-103.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basrs, S.M.A., 2009. Planr drought stress, effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development. 29, 185-212.

Gagoonani, S., Enteshari, S., Delavar, K., Behyar, M., 2011. Interactive effects off silicon and aluminum on the malondialdehyde (MDA), proline, protein and phenolic compounds in *Borago officinalis* L. Journal of Medicinal Plants Research. 5(24), 5818-5827.

Geuns, J.M.C., 2003. Molecules of interest: Stevioside. Phytochemistry. 64(5), 913-921.

Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirkian, T., Allahverdi Mamaghani, B., 2013. Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydro ascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. Journal of Plant Physiology. 3(2), 651- 658. [In Persian with English summary].

Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., Zhang, C., 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science. 169, 313-321.

Emad, M., 2007. 108p. Identification of Medicinal, Industrial, Pasture and Forest Plants and their Use. Tosee Rostaee Publication. [In Persian].

Hanson, A.D., Nelson, C.E., Pederson, A.R., 1999. Capacity for proline accumulation during water stress in barley and implications for breeding for drought stress. Crop Science. 19, 489-493

Hassanzadeh-Delouei, M., Vazin, F., Nadaf, J., 2013. Effect of salt stress in different stages of growth on qualitative and quantitative characteristics of cumin (*Cuminum Cyminum* L.). Cercetari Agronomice in Moldova. 1153, 89-97.

Hidari, M., Shahpesandy, S., Mosavi nik, S.M., Bijani, M., 2015. Effect of Nano-silicon on the germination and seedling growth of native and bread cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Seed Ecophysiology. 1(1), 1-16. [In Persian with English summary].

Hu, C.A., Delauney, A.J., Verma, D.P., 1992. A bifunctional enzyme (al-pyrroline-5-carboxylate synthetase) catalyzes the first two steps in proline biosynthesis I plants. Proceeding of the National Academy of Science. 89, 9354-9358.

Huany, B., Johnson J.W., 1995. Root respiration and carbohydrate status of two wheat genotypes in response to hypoxia. Annals of Botany. 75, 427-432.

Kage, H., Kochler, M., Stuzel, H., 2004. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions, measurement and simulation. European Journal of Agronomy. 20, 379-394.

Khajeh, M., Mosavinik, M., Siroosmehr, A., Yadoalahi Dehcheshmeh, P., Amiri, A. 2015. Effects of water stress and spraying silicone on wheat yield and photosynthetic pigments in Sistan. Crop Physiology. 26(7), 5-19. [In Persian with English summary].

Kim, Y.H., Khan, A.L., Hamayun, M., Kang, S.M., 2011. Influeence of short-term silicon application on endogenous physiohormonal levels of *Oryza sativa* L. under wounding stress. Biological Trace Element Research Journal. 144, 1175-1185.

Kochert, G., 1978. Method Phycologia and Biochemical Methods: Carbohydrate Determination by the Phenol Sulfuric Acid. Cambridge University Press, London.

Lehmann, S., Funck, D., Szabdos, L., Rentsch, D., 2010. Proline metabolism and transport in plant development. Amino Acids. 39, 949-962.

Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids pigments photosynthetic membranes. Methods in Enzymology. 148, 350-382.

Ma, J.F., Yamaji, N., 2006. Silicon uptake 6and accumulation in higher plants. Plant Science. 11, 392-397.

Omidbaigi, R., 1997. Production and Processing of Medicinal Plants. Tehran Nashr Publisher. 196p. [in Persian].

Raj, H.A., Thakral, K.K., 2008. Effect of chemical fertilizers on growth, yield and quality of fennel. Weed Technology. 17, 134-139.

Ramesh, K.V., Singh, N.W., Megeji, K., 2006. Cultivation of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni): A comprehensive review. Advances in Agronomy Journal. 89, 137-177.

Richmond, K.E., Sussman, M., 2003. Got silicon the non-essential beneficial plant nutrient. Current Opinions in Plant Biology. 6, 268-272.

Saadatmand, M., Enteshari, Sh., 2012. Effects of pretreatment with silicon on salt tolerance in Iranian borage (Echium *amoenum Fisch& C.A. mey*). Science and Technology of Greenhouse Culture. 3(12), 45-56. [In Persian with English summary].

Safikhani, F., HidariShariabadi, H., SharifiAshorabadi, A., Siadat, A., SeyedNejad, M., Abaszadeh B. 2008. The effect of stress water on the function of various organs Badrashbu (*Dracocephalum moldavical*) under greenhouse conditions. Pajouhesh & Sazandgi. 21, 2-12. . [In Persian with English summary].

Sarmadnia, G.H., Koocheki, A., 1997. Crop Physiology. Jahad Daneshgahi Mashhad Press [In Persian].

Shariat, A., Asare, M.H., 2008. Effects of drought stress on pigments, prolin, soluble sugars and growth parameters on four eucalyptus species. Pajouhesh & Sazandegi, 78, 139-148. . [In Persian with English summary].

Shi, Y., Zhang, Y., Yao, h., Wu, J., Sun, H., Gong, H., 2014. Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. Plant Physiology and Biochemistry. 78, 27-36.

Siddique, M.R.B., Hamid, A., Islam, M.S., 1999. Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. Botanical Bulletin of the Academia Sinica. 40, 141-145.

Szabdos, L., Savoure, A., 2009. Proline amultifuntional amino acid. Trends in Plant Science. 15, 89-97.

Taiz, L., Zeiger, E. 2006. Plant physiology. Fourth Edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA. 764 p.

Tajamolian, M., 2011. Assessing water relationships of *Fortune bingo* in dry climate. MSc. Dissertation, Faculty of Natural Resources, University of Yazd, Iran. [In Persian with English summary].

Tajamolian, M., Iran Nezhad Parizi, M.H., Malekinezhad, H., Rad, M.H., Sodaei Zadeh, H., 2013. Effects of different drought Stress treatments on some morphological characteristics of *Fortuynia bungei* Boiss. Journal of Rangeland. 9(3), 294-303.

Torabi, F., Majd, A., Enteshari, Sh., 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 & Tissue. 4(3), 275-285.

Verma, S., Dubeym, S., 2001. Effect of cadmium on soluble and enzymes of their metabolism in rice. Biology Plantarum. 1,117-123.

Yanqiong, L., Xingliang, L., Shaowei, Z., Hong, C., Yongjie, Y., Changlong, M., Jun, L., 2007. Drought-resistant physiological characteristics of four shrub species in arid valley of Minjiang River, China. Acta Ecologica Sinica. 27(3), 870-877.

Yin, L., Wang, S., Liu, P., Wang, W., Cao, D., Deng, X., 2014. Silicon-mediated changes in polyamine and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid are involved in silicon-induced drought resistance in *Sorghum bicolor*L. Plant Physiology and Biochemistry. 80, 268-277.