

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

مرضیه عسکر نژاد^۱، حمید سودایی زاده^۲، اصغر مصلح آرائی^۳، رستم یزدانی بیوکی^{۴*}، 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 rebaudiana* 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 محصولات می‌شود که به صورت 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 به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی 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 به طور معنی‌داری کاهش داد. به طوری که 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 ($p < 0.05$). 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. به طور کلی 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

کاهش اثرات زیان‌آور این تنش بر رشد گونه‌های مختلف زراعی مورد بررسی قرار گیرد. سیلیکون از جمله ترکیباتی است که باعث کاهش زیان‌های ناشی از خشکی می‌شود. به طوری که اثرات این عنصر در شرایط تنش بیشتر به چشم می‌خورد، زیرا سیلیکون توانایی آن را دارد که گیاهان را در برابر اثرات مضر تنش‌های

خشکی به عنوان 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

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 ایجاد شده 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 مورد بررسی 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. باین‌وجود 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 از جمله خشکی انجام

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 بررسی شده 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. از آنجایی که 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 rebaudina* 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 ذکر شده، 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 روز کوتاه در این منطقه شرایط گلدهی استویا فراهم‌شده و در نتیجه عملکرد و میزان مواد قندی آن کاهش می‌یابد. در ایران، بهترین مناطق دارای شرایط محیطی

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت. فاکتورهای مورد بررسی 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 میلی مولار در نظر گرفته شد. پس از استقرار کامل گیاهان نسبت به اعمال تیمارهای رطوبتی اقدام گردید. به منظور اندازه گیری رطوبت خاک از سیستم توزین گلدانها استفاده شد و آبیاری نیز برحسب نیاز و در زمانهای مقرر انجام گرفت. محلول پاشی سیلیکون بعد از گذشت ۴۰ روز از اعمال تیمارهای رطوبتی انجام شد و پس از گذشت یک هفته تکرار گردید. کلیه مراحل محلول پاشی در هنگام صبح یا غروب آفتاب صورت گرفت تا تاخیر از سطوح برگ به حداقل برسد. برگ گیاهان مورد آزمایش یک هفته بعد از آخرین محلول پاشی جهت اندازه گیری به آزمایشگاه منتقل و مقدار قند محلول، پرولین و کلروفیل به شرح زیر محاسبه شد:

برای سنجش مقدار قند محلول، ۱۰ میلی لیتر 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 میلی لیتر از محلول رویی نمونه برداشته و سپس بر روی آن ۱ میلی لیتر فنل ۵ درصد اضافه و به خوبی ترکیب شد و پس از آن ۵ میلی لیتر سولفوریک اسید غلیظ اضافه و بعد از نیم ساعت، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد. در مرحله بعد با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز، غلظت قندهای محلول برحسب میلی گرم بر گرم وزن خشک ارزیابی گردید (Kochert, 1978).

جهت اندازه گیری پرولین، مقدار ۰/۵ گرم از بافت تر برگ را در ۱۰ میلی لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و مخلوط یکنواختی تهیه گردید. پس از صاف کردن عصاره حاصل، ۲ میلی لیتر محلول رویی نمونه را با ۲ میلی لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی لیتر اسید استیک خالص مخلوط کرده و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد حمام آب گرم، قرار گرفت. سپس جهت قطع انجام کلیه واکنشها، لوله های محتوی مخلوط در حمام یخ، سرد گردید و ۴ میلی لیتر تولوئن به مخلوط اضافه و لوله ها به خوبی تکان داده شد. با ثابت نگه داشتن لوله ها به مدت ۱۵-۲۰ ثانیه، ۲ لایه کاملاً مجزا در آنها تشکیل شد. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود، برای اندازه گیری غلظت پرولین

شده است. به همین منظور تحقیق حاضر جهت بررسی برخی ویژگی های 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 روش ها

تحقیق حاضر در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد با رطوبت نسبی ۴۰ درصد و میانگین دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به اجرا درآمد. برای کشت بوته ها از گلدان های به عمق ۲۰/۵ و قطر ۱۹/۵ سانتی متر استفاده شد. جهت پر نمودن گلدانها از مخلوط خاک (دوسوم) و به مقدار مساوی ترکیب ماسه و کود (یک سوم) استفاده شد. خاک مورد استفاده در این آزمایش دارای بافت لومی شنی با هدایت الکتریکی ۲ دسی زیمنس بر متر و $pH=7/76$ بود. نهال های گیاه استویا از گلخانه شیراز (شهرستان فسا) تهیه شد. پس از استقرار کامل بوته ها، تیمارهای رطوبتی چهار سطح ۱۰۰ (شاهد یا بدون تنش) و ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی به شرح زیر اعمال شد: تیمار ۱۰۰ به منزله ایجاد شرایط بدون تنش رطوبتی و تیمارهای ۷۵ و ۵۰ و ۲۵ به عنوان اعمال تنش های 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، درحالی که در تیمارهای دوم، سوم و چهارم، بخشی از این کسری، جبران خواهد شد. برای تعیین جرم آب مورد نیاز برای آبیاری و رسانیدن رطوبت خاک به نقطه PC، از معادله ۱ استفاده شد (Alizadeh, 2005).

$$m = M_w - M_{FC} \quad [1]$$

که در آن m جرم آب مورد نیاز 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 اندازه گیری 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 به دست آمده برای m (جرم آب مورد نیاز برای اضافه کردن به خاک هر گلدان برحسب گرم یا کیلوگرم)، مقادیر آب مورد نیاز آبیاری در هر تیمار تعیین و توسط ظرف مدرج اعمال شد.

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 مورد استفاده 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 (cm²)

$$[۷] \quad \left\{ \left[\text{طول ریشه‌ها (cm)} \right] \times \pi \times \left[\text{حجم ریشه‌ها (cc)} \right] \right\}^{0.5}$$

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.

در نهایت 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 ($P < 0.05$), به طوری که بیشترین میزان قند محلول مربوط به تیمار ۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت گلدانی بود (شکل ۱).

استفاده گردید. جذب مقدار مشخصی از این ماده رنگی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 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 طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به وسیله 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:

$$[۲] \quad \left\{ 12/25(A_{663}) - 2/798(A_{645}) \right\} = \text{گرم بافت/میلی گرم}$$

کلروفیل b:

$$[۳] \quad \left\{ 21/50(A_{663}) - 5/10(A_{645}) \right\} = \text{گرم بافت/میلی گرم}$$

کلروفیل کل:

$$[۴] \quad \text{کلروفیل b} + \text{کلروفیل a} = \text{گرم بافت/میلی گرم}$$

که A میزان جذب صورت گرفته در طول موج مورد نظر است.

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:

$$[۵] \quad V = 4/3\pi a^2 b$$

زمانی که قطر کمتر از ارتفاع باشد:

$$[۶] \quad V = 4/3\pi a b^2$$

که در این معادله‌ها، a = ارتفاع گیاه، $\pi = 3.14$ ، 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

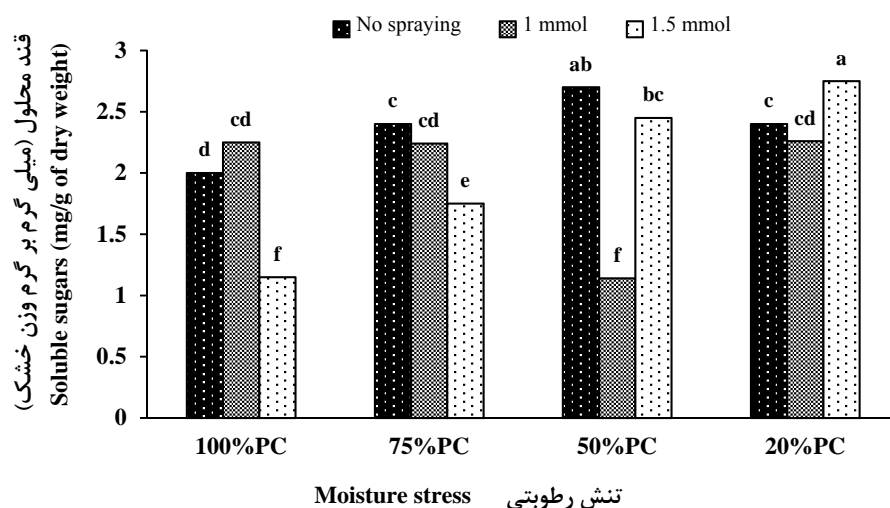
جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تنش رطوبتی و محلول پاشی سیلیکون بر پرولین، قند محلول، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در گیاه استویا

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

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

*, **, و ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و عدم معنی داری.

*, **, 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 معنی دار 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).

به خشکی در ۴ گونه بوته‌ای در دره خشک رودخانه مینجوانگ 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 محلول پاشی سیلیکون بر قند محلول و اثر متقابل تنش رطوبتی و سیلیکون بر روی این صفت در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۱)؛ اما افزایش غلظت

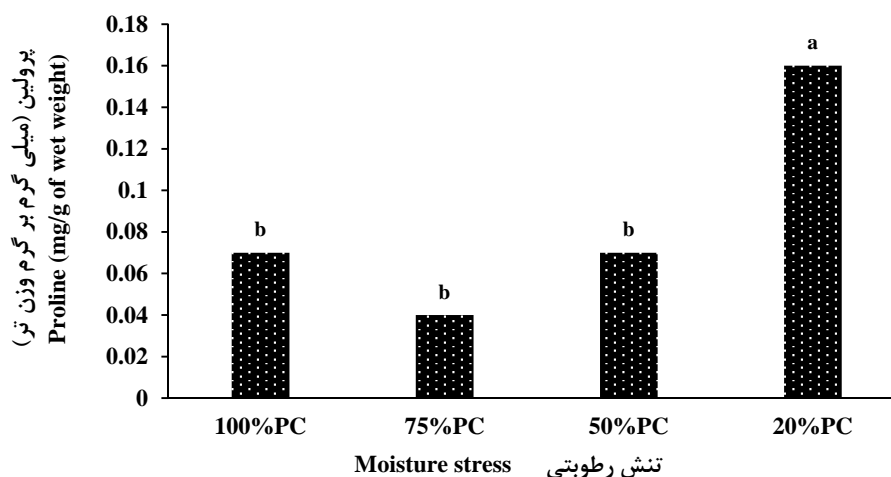
از آنجاکه قندها از اسمولیت‌های سازگار به شمار می‌آیند و تجمع آن‌ها سبب تنظیم اسمزی، حفظ آماس سلولی و پایداری پروتئین‌ها می‌شود، لذا افزایش قندهای محلول گیاه نظیر ساکارز، گلوکز و فروکتوز در اثر تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی از راهکارهای تحمل گیاهان به شرایط نامساعد محیطی به حساب می‌آید (Verma and Dubeym, 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

است. بر اساس گزارش ورما و دویم (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).

سیلیکون در تیمارهای مختلف رطوبتی روند ثابتی نداشت، به طوری که در تیمارهای بالای رطوبتی یعنی تیمار ۱۰۰ (شاهد) و ۷۵ درصد ظرفیت گلدانی افزایش غلظت سیلیکون سبب کاهش قند محلول شد، در حالی که در تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی، افزایش غلظت سیلیکون تا سطح ۱/۵ میلی‌مولار سبب افزایش این صفت شد. به طوری که 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



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).

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

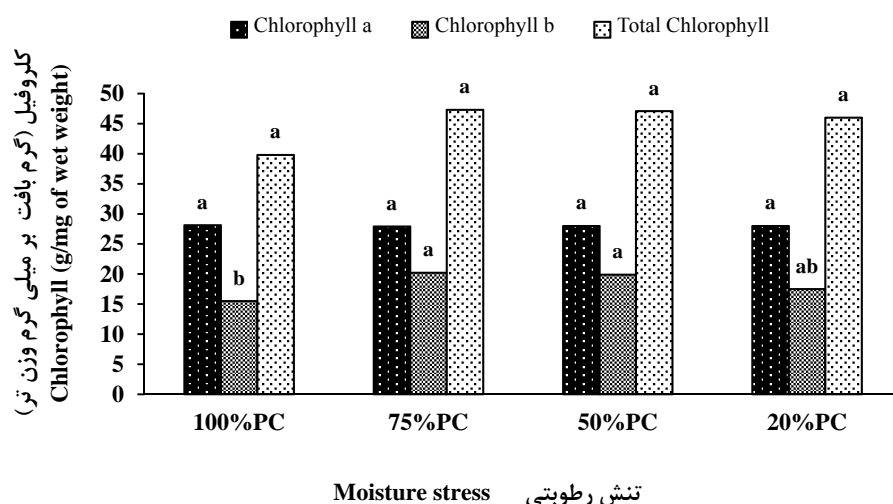
در این زمینه نتایج تحقیقات متعدد (Abaszadeh et al., 2008; Shariat and Asare, 2008) حاکی از تأثیر مثبت تنش رطوبتی بر میزان پرولین است به طوری که مقدار پرولین در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال بیشتر شد. در واقع پرولین اسیدآمین‌های است که بخش عمده بسیاری از پروتئین‌های درگیر در تنظیم اسمزی، دیواره سلولی و غشا را تشکیل می‌دهد (Szabados and Savoure, 2009). در شرایط تنش رطوبتی، پرولین در حفظ پتانسیل اسمزی، حذف رادیکال‌های آزاد و ROSها، حفاظت ماکرومولکول‌ها از دنتاتوره شدن، تنظیم pH سلولی نقش دارد. علاوه بر این

اعمال هر یک از تیمارهای رطوبتی و محلول پاشی با سیلیکون بر کلروفیل b اثر معنی داری در سطح ۱ درصد داشت (جدول ۱). در حالی که کلروفیل a و کل تحت تأثیر تیمار رطوبتی قرار نگرفتند؛ اما کلروفیل a تنها در تیمار سیلیکون در سطح یک درصد معنی دار شد. اثر متقابل سیلیکون و تنش رطوبتی بر هیچ کدام از انواع کلروفیل ها معنی دار 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 معنی دار بود، به طوری که بیشترین میزان این صفت در تیمار ۷۵ درصد به دست آمد که با تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی اختلاف معنی داری نشان نداد و کمترین میزان نیز در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی مشاهده شد (شکل ۳).

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

محتوای کلروفیل



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

۴. خواجه و همکاران (Khajeh et al., 2015) در تحقیقی بر روی اثر تنش کم آبی و محلول پاشی سیلیکون بر عملکرد و رنگیزه های 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

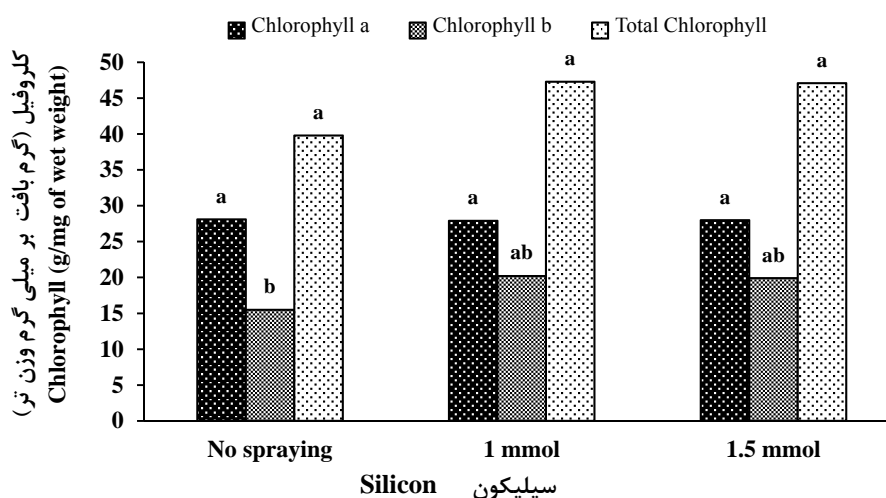
افزایش اندک کلروفیل b در شرایط تنش نشان داد که در تنش خشکی رنگدانه های کلروفیل تا حدی به کاهش آب متحمل بودند. تجملیان (Tajamolian, 2011) نیز در تحقیقی بر روی گیاه قلم (*Fortuynia bungei* Boiss.) به نتایج مشابهی دست یافتند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که تأثیر سیلیکون بر کلروفیل a و کلروفیل کل معنی دار نبود اما محلول ۱ و ۱/۵ میلی مولار سیلیکون موجب افزایش ۳۳ درصد کلروفیل b نسبت به حالت عدم محلول پاشی شد (شکل

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).

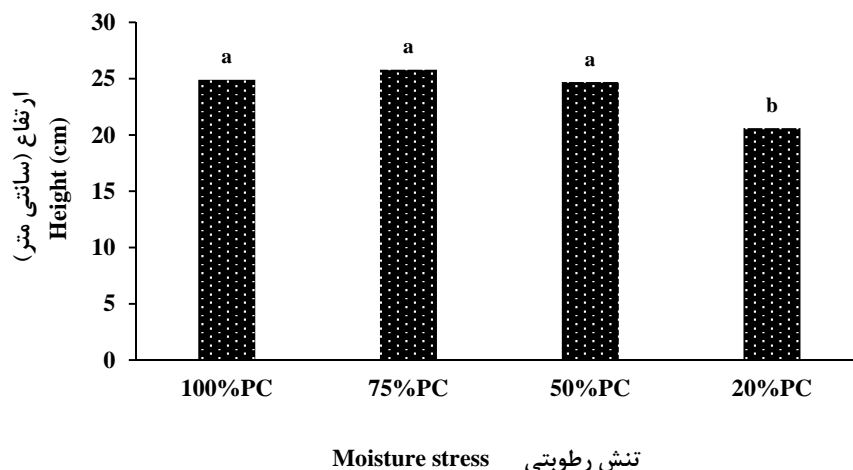
جدول ۲. تجزیه واریانس تیمارهای مختلف اثر آبیاری و محلول‌پاشی سیلیکون بر ارتفاع، تعداد برگ، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، قطر تاج پوشش و حجم تاج پوشش در گیاه استویا

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

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean square				میانگین مربعات	
			ارتفاع گیاه Height 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
تیمارهای رطوبتی (A)	moisture treatments (A)	3	60.64**	945.67 ^{ns}	105.40**	0.31 ^{ns}	74.99 **	15320000 **
محلول‌پاشی با سیلیکون (B)	Spraying with silicone (B)	2	100.99**	208.33 ^{ns}	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.



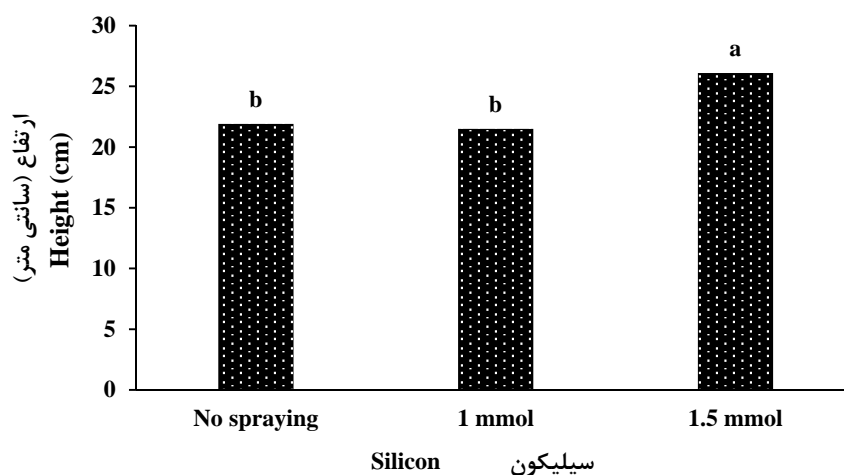
شکل ۵. اثر تیمارهای مختلف خشکی بر ارتفاع گیاه استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

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

از مواد فتوسنتزی کمتری به بخش هوایی از جمله 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).

در تحقیقات متعدد دیگر این روند کاهش 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 ارتفاع‌گیری گیاه سبب می‌شود رقابت برای جذب آب بین بخش هوایی و زمینی در بوته افزایش یابد و در این رقابت، گیاه سهم بیشتری



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 height of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

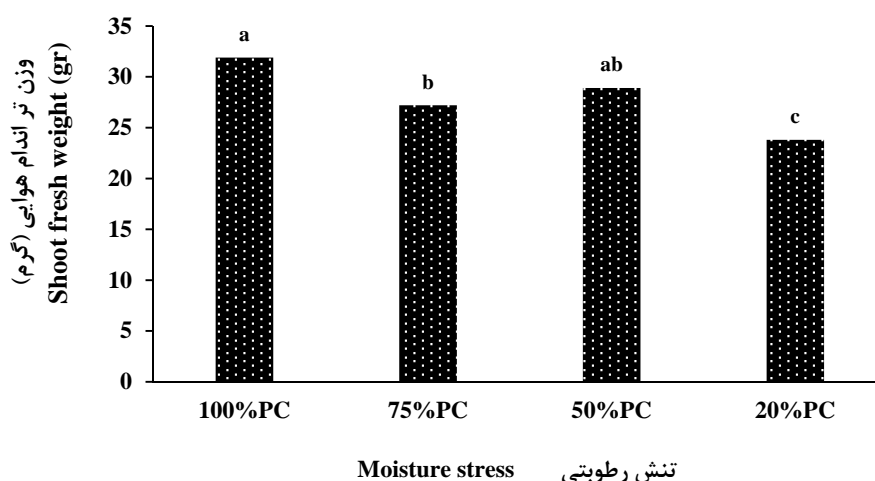
نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد FC کاهش معنی‌داری را در سطح ۵ درصد نشان داد.

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. در واقع تنش رطوبتی ضمن کاهش سطح برگ، پیری آن‌ها را نیز تسریع کرده و به‌این ترتیب می‌تواند میزان تولید را بیشتر از آنچه به سبب اثرات ناشی از کاهش شدت فتوسنتز خالص تقلیل می‌یابد، کاهش دهد (Faiz and Zeiger, 2006).

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). در واقع 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



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 stress on shoot fresh weight of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

به تغییرات آناتومیکی به سبب رسوب سیلیکون در دیواره سلولی است (MA and Takahashi 2002).

وزن خشک اندام هوایی

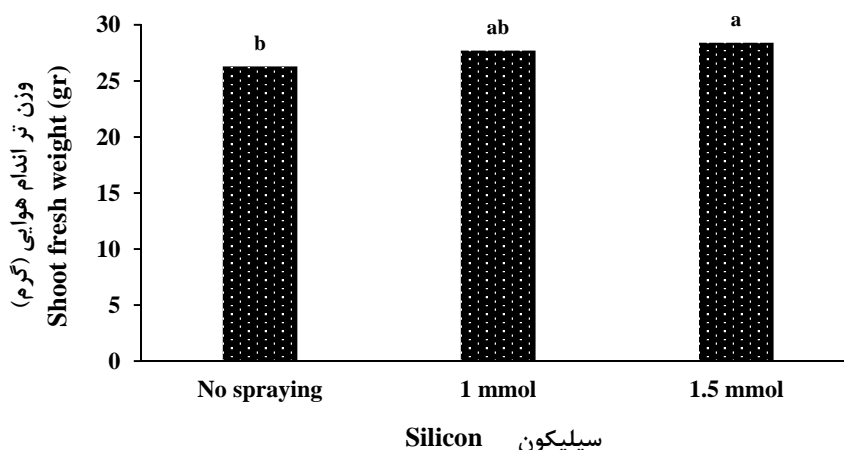
نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون نشان داد که در هر دو حالت مصرف و عدم مصرف سیلیکون، وزن خشک اندام هوایی گیاه استویا در تنش ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد PC کاهش

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 در نتیجه افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌شود (Gottardi et al., 2012). در واقع اثر مثبت سیلیکون

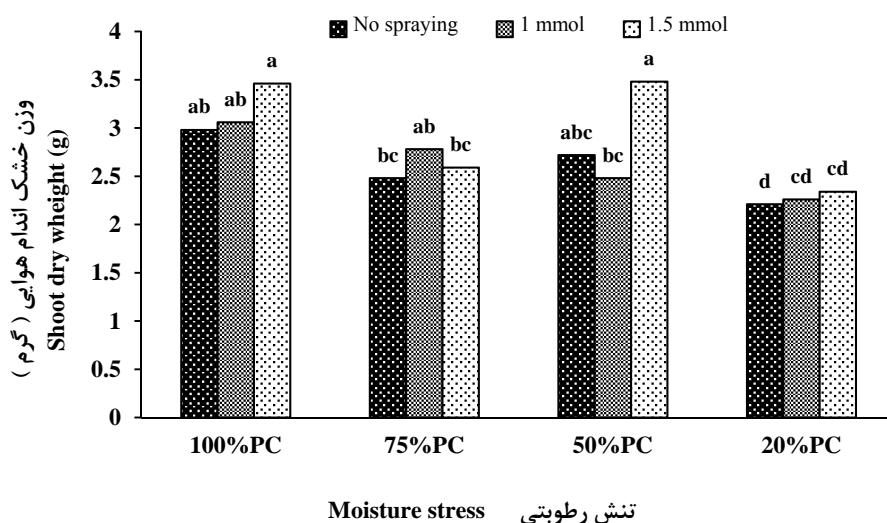
در این سطح تنش اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۹). سعادت‌مند و انتشاری (Saadatmand and Enteshari, 2012) به تأثیر غلظت مناسب سیلیکون (۰/۲ میلی‌مولار) و طول تیمار بلندمدت (۳۰ روز) با سیلیکون در افزایش وزن خشک در گیاه گاوزبان ایرانی اشاره نمودند.

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



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 weight 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).

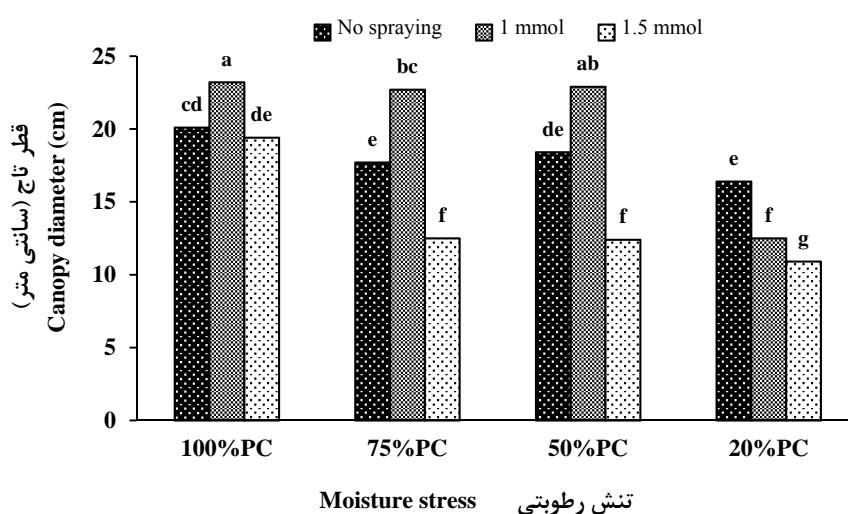
Fig. 9. Interaction between different treatments of drought stress and silicon on shoot dry weight of Stevia (There are no significant differences between means with at least one same letter, at 5% level).

حجم تاج پوشش

بیشترین حجم تاج پوشش در ۱۰۰ درصد ظرفیت گلدانی و محلول پاشی ۱ میلی‌مولار سیلیکون بود و کمترین قطر تاج پوشش در ۲۵ درصد ظرفیت گلدانی و محلول پاشی 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).

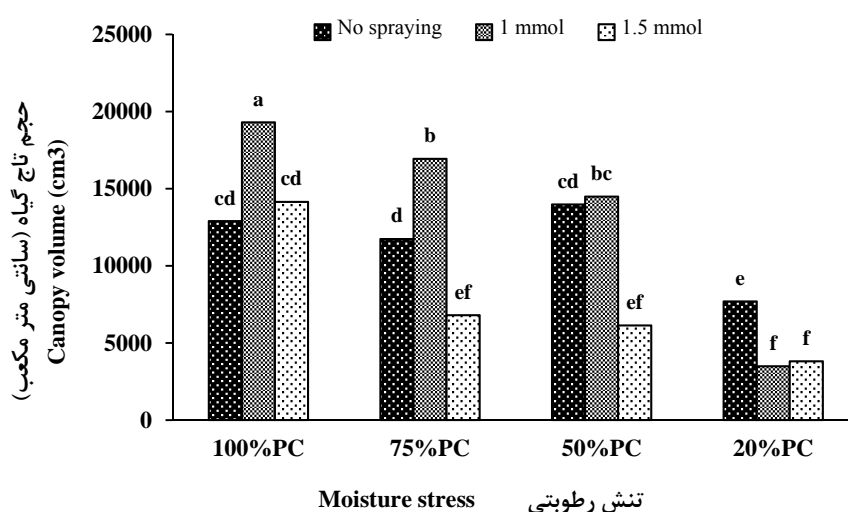
قطر تاج پوشش

مقایسه میانگین اثرات تنش رطوبتی و محلول پاشی 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).



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 stress 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 stress 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

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean square				میانگین مربعات	
			طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	سطح ریشه Root area	وزن تر ریشه Root fresh weight	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	

ns و ** 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.

که بیشترین حجم ریشه در هر سه تیمار مصرف سیلیکون در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت‌گلدانی مشاهده شد (شکل ۱۲). افزایش حجم ریشه بر اثر 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 ظرفیت‌گلدانی 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

کاهش قطر و حجم تاج با افزایش تنش رطوبتی دلالت بر عکس‌العمل گیاه به کمبود رطوبت است. با افزایش تنش رطوبتی زاویه انشعاب شاخه‌ها نسبت به تنه اصلی گیاه کاهش پیدا کرده 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 در نتیجه قطر تاج گیاه کاهش می‌یابد. ارتفاع گیاه نیز به خاطر کاهش آماس و توسعه سلولی و در نتیجه کاهش رشد، کاهش می‌یابد، چنان‌که در تحقیق حاضر نیز کم شده است. از آنجاکه در محاسبه حجم تاج پوشش دو فاکتور ارتفاع و قطر متوسط گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه 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 مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۳).

حجم ریشه

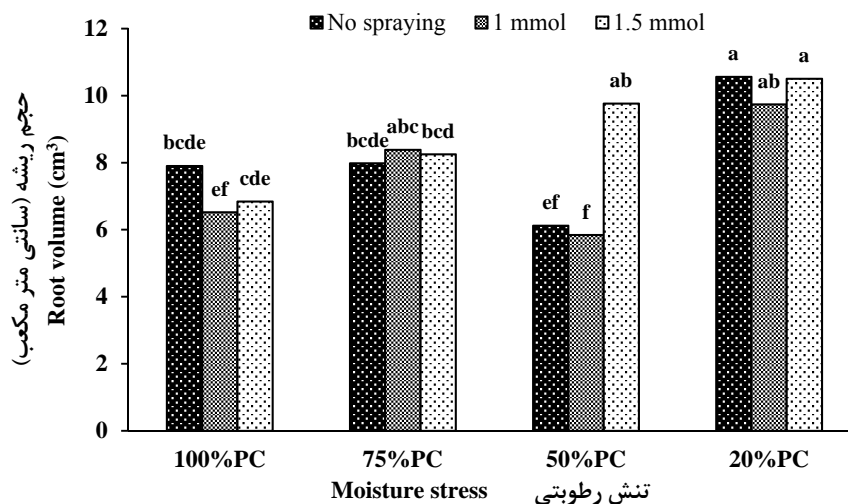
نتایج حاصل از بررسی تیمارهای مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیکون بر حجم ریشه گیاه استویا نشان داد

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

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

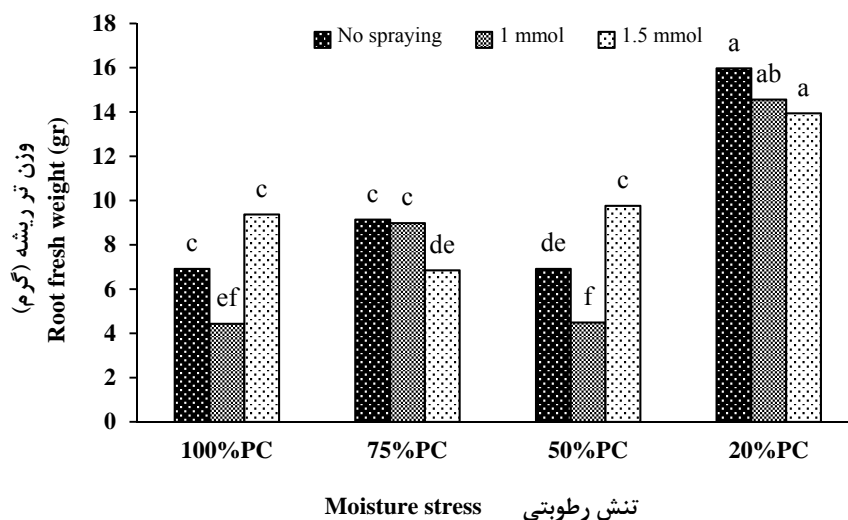
نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش تنش رطوبتی تمامی فاکتورهای مورد بررسی تحت تأثیر قرار گرفتند. در واقع تنش



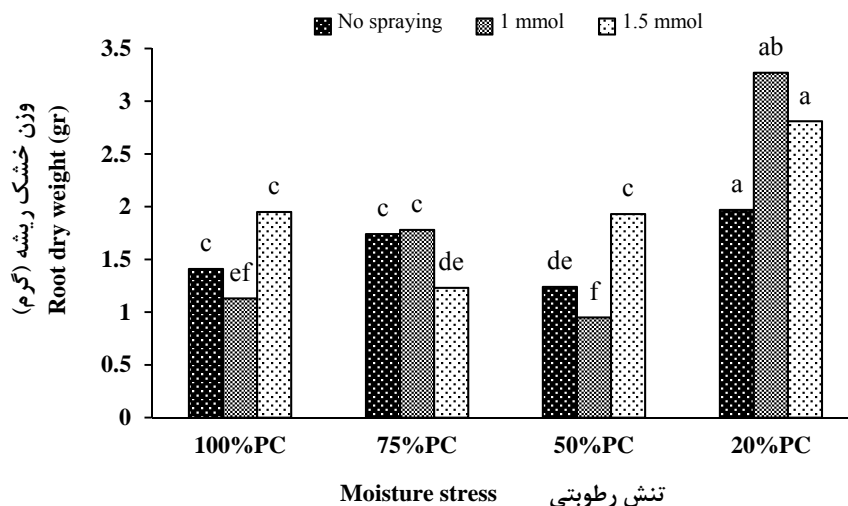
شکل ۱۲. اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکون بر حجم ریشه استویا (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌دار ندارند).

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

توانست باعث افزایش میزان قند محلول، پرولین، کلروفیل b و ارتفاع استویا شود. به‌طور کلی 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.

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. با این حال محلول‌پاشی سیلیکون

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 genes 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 enzymes and 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., Basra, 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 Rostae 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. Influence 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 and 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., Hidari Shariabadi, H., Sharifi Ashorabadi, A., Siadat, A., Seyed Nejad, 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, proline, soluble sugars and growth parameters on four eucalyptus species. *Pajouhesh & Sazandgi*, 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 a multifunctional 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 binggo 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., Dubey, 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.