



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"

دوره سوم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۵

<http://arpe.gonbad.ac.ir>

بررسی اثرات محلول پاشی نانوسیلیکون بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکرد خرفه (*Portulaca oleracea L.*) در شرایط تنش کم آبی

محمد براتی^{۱*}، علیرضا سیروس مهر^۲، سیده سعیده خاتمی^۳، سیده راضیه موسوی^۴، فائقه نجفی^۵

^{۱،۲،۳،۴،۵} دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

آستادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۷

چکیده

به منظور بررسی اثرات محلول پاشی نانوسیلیکون بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه دارویی خرفه در شرایط تنش کم آبی آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زابل به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. تنش کم آبی در سه سطح (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) به صورت وزنی و نانوسیلیکون در چهار سطح (۰، ۱، ۲ و ۳ میلی مولار) اعمال شد. نتایج آزمایش نشان داد که، تنش کم آبی بر اکثر صفات مورد بررسی اثر معنی داری داشت. تنش کم آبی موجب افزایش کربوهیدرات و قندهای محلول، وزن تر و مقدار پرولین شد. میزان پرولین و کربوهیدرات در سطح تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۵۰ و ۵۵ درصد نسبت به سطح تنش ۸۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش یافت. سطح تنش میزان کارتنوئید، کلروفیل b و کلروفیل کل را کاهش داد و میزان کلروفیل b، ۴۵ درصد نسبت به تنش ۸۰ درصد کاهش پیدا کرد. محلول پاشی نانوسیلیکون بر میزان کارتنوئید و کلروفیل کل اثر معنی داری داشت و با کاربرد نانوسیلیکون میزان کارتنوئید افزایش پیدا کرد. اثرات متقابل تنش و نانوسیلیکون نشان داد که، با افزایش شدت تنش در سطوح کاربرد نانوسیلیکون از میزان کلروفیل a کاسته شد. در مجموع در شرایط تنش کم آبی محلول پاشی نانوسیلیکون می تواند اثرات تنش را کاهش داده و استفاده از آن مناسب به نظر می رسد.

واژه های کلیدی: پرولین، عملکرد، کلروفیل، کم آبی، نانوسیلیکون

*نویسنده مسئول: mbarati45@yahoo.com

مقدمه

گیاه خرفه با نام علمی *Portulaca oleracea* L. از خانواده Portulacaceae می‌باشد که از گذشته به‌عنوان سبزی و گیاه دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Heydari Kasmaee, 1993). دانه‌های خرفه دارای ۲۱ درصد پروتئین و ۲۰ درصد روغن می‌باشند. بخش عمده دانه‌های خرفه از دو اسیدآمینه اسید لینولئیک (۴۶ درصد) و اسید لینولنیک (۳۱ درصد) تشکیل شده است (Xiao *et al.*, 2008). ساقه‌های این گیاه غنی از اسیدهای چرب امگا ۳، آلفا توکوفرول، اسیدآسکوربیک، بتا کاروتن و گلونانیون می‌باشد (Salehi *et al.*, 2008). این گیاه به علت گسترش طبیعی در محیط‌های خشک و کم‌باران بیابانی تا حد زیادی به خشکی سازگاری یافته است که به‌نظر می‌رسد مکانیسم فتوسنتزی این گیاه که از نوع C₄ بوده و قابل تبدیل به CAM می‌باشد، تا حد زیادی دلیل مقاومت و سازگاری این گیاه به تنش‌های محیطی از جمله تنش‌های خشکی و شوری است (Koch and Kennedy, 1981).

خشک‌سالی و تنش ناشی از آن مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش محیطی است که هر ساله خسارت‌های هنگفتی به محصولات کشاورزی در جهان به‌خصوص ایران که به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد؛ وارد می‌نماید (Sabbaghpour, 2004). علت اصلی تنش آب در گیاه افزایش میزان تلفات آب یا کافی نبودن میزان جذب آب و یا ترکیبی از هر دو عامل است که بر اثر آن میزان تلفات آب ناشی از تعرق بر میزان جذب آن توسط ریشه‌ها پیشی گرفته و میزان تنش افزایش می‌یابد (Hajebi and Heydari Sharifabad, 2006). تنش کم‌آبی رایج‌ترین تنش غیرزیستی است، به‌طوری که باعث کاهش رشد و نمو، سقط گل‌ها و کاهش عملکرد در طول مراحل رویشی، زایشی و رسیدگی محصول می‌گردد (Showemimo and Olarewaju, 2007). طی پژوهشی بر روی گیاه فلفل مشخص شد که، میزان پرولین در شرایط تنش در برگ‌ها و به‌خصوص در ریشه‌ها افزایش می‌یابد (Sayed, 2002)، همچنین در این پژوهش مشخص گردید که میزان فعالیت آنزیم پرولین دهیدروژناز در ریشه و برگ‌های گیاه فلفل در طی اعمال تنش آبی کاهش می‌یابد. حسنی و همکاران (Hasani *et al.*, 2005) گزارش کردند که، با کاهش مقدار آبیاری، ارتفاع بوته، قطر ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و عملکرد گیاه ریحان کاهش پیدا کرد.

سیلیکون (سیلیسیوم) دومین عنصر فراوان در پوسته زمین به‌شمار می‌رود (Epstein and bloom, 2005) و تقریباً ۳۱ درصد پوسته زمین را اشغال کرده است (Epstein, 1991). گرچه سیلیسیوم به‌عنوان عنصر ضروری برای گیاهان شناخته نشده و نقش آن در بیولوژی گیاه به‌صورت اندک درک شده است، ولی وظایف مهمی را در گیاهان ایفا می‌کند و مقاومت در مقابل تنش‌های محیطی، بیماری‌ها و آفات را افزایش می‌دهد. سیلیکون در گیاهان معمولاً مسئول بهبود ساختار گیاهی و برگ، و همچنین فرآیندهای متابولیکی مانند تبادلات گازی (Parida *et al.*, 2007)، رنگدانه‌های

فتوسنتزی (Silva et al., 2007) و سیستم آنتی‌اکسیدانت (Li et al., 2012) می‌باشد، که نتیجه آن کارایی بهتر در ارتباط رشد و نمو و پارامترهای عملکردی است (Nolla et al., 2012). پیرا و همکاران (Parida et al., 2013) طی بررسی تاثیر کاربرد سیلیکون در شرایط تنش کمبود آب در گیاه فلغل افزایش سنتز پرولین را گزارش نمودند. بررسی فاکتورهای مختلف در بهبود رشد و نمو گیاهان دارویی از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی اثرات محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نانوسیلیکون بر پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه خرفه در شرایط تنش کم آبی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۳ در گلخانه‌های تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل اجرا گردید. نتایج تجزیه خاک مورد استفاده در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱- تجزیه برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده جهت کاشت گیاه

| شوری (ds/cm) | اسیدیته (pH) | O.C (%) | N (%) | P (ppm) | K (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | بافت خاک |
|-----------------|-----------------|------------|----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| ۱/۶ | ۷/۴ | ۰/۶۸ | ۰/۰۷ | ۱۸ | ۱۹۴ | ۲/۴ | ۲/۹ | ۴۱ | ۲۷ | ۳۲ | لومی شنی |

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. بذور خرفه از شرکت پاکان بذر اصفهان و نانوسیلیکون (نانوسیلیس SiO_2) از شرکت پیشگامان نانو مواد مشهد خریداری شدند. تیمارها شامل: تنش کم‌آبی به صورت وزنی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در چهار سطح (۰، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) اعمال شد و تا مرحله رشد زایشی ادامه داشت. ۳۶ عدد گلدان ۱/۵ کیلویی را ابتدا با آب شستشو داده شدند و پس از خشک کردن به وسیله اتانول ۹۵ درصد ضدعفونی گردیدند. کشت در اواخر فروردین به صورت گلدانی در گلخانه با تراکم اولیه ۱۵ بذر در هر گلدان و در عمق یک سانتی‌متری کاشته شدند و سپس در مرحله چهار برگی تنک گردیدند و در هر گلدان ۲ بوته نگهداری شد و تا مرحله شش برگی هیچ تیماری اعمال نشد. تیمار نانوسیلیکون دو نوبت یک مرتبه در مرحله شش برگی گیاه و مرحله دوم دو هفته پس از محلول‌پاشی اول با غلظت‌های بیان شده اعمال شد. تیمار رطوبتی نیز از مرحله شش برگی گیاه تا زمان نمونه‌برداری اعمال شد. نمونه‌برداری از گیاه زمانی انجام شد که بیش از ۵۰ درصد گیاهان آزمایشی به مرحله گلدهی وارد شده بودند. برای تعیین آب خاک در حالت ظرفیت زراعی ابتدا ۱۰

گلدان مشابه با گلدان‌های آزمایشی تا حد اشباع آبیاری و پس از گذشت ۴۸ ساعت گلدان‌ها هر ۲ ساعت یکبار توزین شدند. در زمان ثابت شدن وزن گلدان‌ها از هر گلدان یک نمونه خاک تهیه، توزین و سپس جهت تعیین وزن خشک به آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد منتقل شد و به مدت ۴۸ ساعت در آن قرار گرفت. درصد آب خاک در حالت ظرفیت زراعی از طریق معادله زیر تعیین شد (Nezami *et al.*, 2013)

$$100 \times (\text{وزن خشک خاک} / \text{وزن خشک خاک} - \text{وزن تر خاک}) = \text{درصد آب خاک}$$

تعیین میزان کلروفیل با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر انجام شد. مقدار جذب نور در نمونه‌ها برای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید به ترتیب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر قرائت و محاسبات میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید براساس روش (Lichtenthaler, 1994) محاسبه گردید.

$$\text{Chlorophyll a} = (12/25 \times a \ 663) - (2/79 \times a \ 646)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (21/2 \times a \ 646) - (5/1 \times a \ 663)$$

$$\text{Total Chlorophyll} = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b}$$

$$\text{Carotenoid} = (1000 \times a \ 470) - (1/8 \times \text{Chlorophyll a}) - (85/02 \times \text{Chlorophyll b}) / 198$$

میزان پرولین به روش بیتز و همکاران (Bates *et al.*, 1973) اندازه‌گیری شد. ابتدا محلول ناین‌هیدرین طبق روش زیر ساخته شد: ۰/۱۲۵ گرم ناین‌هیدرین به ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال افزوده شد. سپس محلول حرارت داده شد تا ناین‌هیدرین کاملاً در اسید حل شود. پس از آن ۲ میلی‌لیتر اسیدفسفریک ۶ مولار به محلول اضافه گردید و محلول بدست آمده به مدت ۲۴ ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌منظور تثبیت معرف قرار داده شد. ۲-۰/۰۵ گرم از بافت برگ در ۵ میلی‌لیتر محلول اسیدسولفوسالیسیلیک (۳ درصد) ساییده شد و محلول با کاغذ واتمن صاف گردید. ۲-۳ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده، با ۲ میلی‌لیتر محلول اسید ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم (بن‌ماری) در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از آن لوله‌ها به حمام یخ منتقل شدند. سپس ۴-۶ به میلی‌لیتر تولوئن افزوده گردید و لوله‌ها به خوبی تکان داده شدند و بعد از حدود ۲۰ ثانیه در هر لوله دو فاز مجزا تشکیل شد. از فاز بالایی که حاوی تولوئن و پرولین است برای اندازه‌گیری میزان پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر و مقایسه با شاهد (تولوئن خالص) استفاده شد. میزان پرولین استخراجی براساس میکرومول بر گرم وزن تر از جدول استاندارد محاسبه شد.

محتوای قندهای محلول به روش کلس و انسل (Keles and Oncel, 2004) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا ۰/۲ گرم بافت سبز به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در لوله‌های آزمایش در

بسته به مدت یک ساعت در حمام آب گرم (بنماری) در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن ۱ میلی‌لیتر از نمونه‌ها را برداشته و به آن ۱ میلی‌لیتر فنل ۰/۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید. میزان نور جذبی در ۴۸۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. میزان هیدرات کربن استخراجی براساس میکروگرم در گرم وزن‌تر از جدول استاندارد بدست آمد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به وسیله نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

کلروفیل a: اثر تنش کم‌آبی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و اثر متقابل این دو بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد، در سطوح تنش با افزایش شدت تنش از میزان کلروفیل a کاسته شد به گونه‌ای که در سطوح نانوسیلیکون با افزایش میزان مصرف نانوسیلیکون میزان کلروفیل a کاهش کمتری نشان داد (جدول ۳). در زمینه اثر تنش کم‌آبی بر کلروفیل مشخص شده است که، میزان کلروفیل در گیاهان یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی به‌شمار می‌رود. در این بین با توجه به شدت، مدت و مرحله رشدی، تاثیر تنش رطوبتی بر مقادیر کلروفیل متفاوت خواهد بود. یکی از عوامل کاهش کلروفیل در هنگام مواجه گیاهان با تنش خشکی تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل است (Xiao *et al.*, 2008). طاهری (Taheri, 2014) گزارش کرد که، با افزایش شدت تنش خشکی، میزان کلروفیل a در گیاه زنیان کاهش پیدا کرد. به‌نظر می‌رسد که، کاهش غلظت کلروفیل به‌دلیل اثر کلروفیل‌لاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد (Xiao *et al.*, 2008). افزایش میزان کلروفیل در تیمار با نانوسیلیکون می‌تواند به‌دلیل افزایش در کارایی فتوسیستم دو باشد، که پیش‌تر در گیاه گوجه‌فرنگی گزارش شده است (et al., 2005). به‌نظر می‌رسد، تاثیر مثبت نانوسیلیکون به‌دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها، تاثیر بر فراساختار کلروپلاست و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد (Liang, 1998).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه خرفه

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | |
|--------------------|------------|--------------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | شاخص کلروفیل | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئید | وزن تر خشک | وزن پرولین | کربوهیدرات | |
| تنش کم آبی | ۲ | ۶۸/۱۴۷** | ۴۹۷/۵۲۴** | ۵۵/۸۸۷** | ۵۹۱/۱۸۹** | ۵۱۰/۳۷** | ۴/۳۱۸* | ۰/۰۱۱ ^{ns} | ۱۱۰/۲۵۱** | ۲۱/۰۸۱** |
| سیلیکون | ۳ | ۸/۶۲۱** | ۱۹/۵۷۷** | ۶/۹۴۳* | ۱۰/۹۴۴** | ۷/۲۹۳* | ۰/۴۹۸ ^{ns} | ۰/۰۰۹ ^{ns} | ۲/۹۷۹ ^{ns} | ۰/۲۲۲ ^{ns} |
| تنش X سیلیکون | ۶ | ۰/۷۹ ^{ns} | ۲۴/۴۲۶** | ۰/۷۲۴ ^{ns} | ۵/۵۰۵ ^{ns} | ۰/۶۰۴ ^{ns} | ۱/۸۴۵ ^{ns} | ۰/۰۱۶ ^{ns} | ۱/۱۹۳ ^{ns} | ۰/۰۷۶ ^{ns} |
| خطا | ۲۴ | ۱/۲۳۶ | ۱/۶۳۹ | ۲/۲۸۵ | ۲/۳۲۴ | ۲/۰۸۷ | ۱/۰۴۲ | ۰/۰۲۱ | ۳/۵۰۴ | ۰/۵۷۲ |
| ضرب تغییرات (درصد) | - | ۸/۷۴ | ۹/۳۷ | ۱۶/۵۱ | ۶/۹۷ | ۱۴/۱۷ | ۱۱/۵۲ | ۲۱/۵۱ | ۱۶/۴۸ | ۱۸/۱۷ |

^{ns} و ^{**} به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار، اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش کم آبی و نانوسیلیکون بر میزان کلروفیل a

| تنش کم آبی ۸۰ درصد (ظرفیت زراعی) | | | تنش کم آبی ۶۰ درصد (ظرفیت زراعی) | | | تنش کم آبی ۴۰ درصد (ظرفیت زراعی) | | |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| نانوسیلیکون (میلی مولار) | | | نانوسیلیکون (میلی مولار) | | | نانوسیلیکون (میلی مولار) | | |
| ۱ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ | ۱ | ۲ | ۳ |
| ۱۵/۳۴۳ ^{bc} | ۱۷/۱۴۰ ^b | ۲۳/۹۲۷ ^a | ۱۴/۴۹۳ ^c | ۱۳/۶۶۳ ^{cd} | ۱۴/۶۴۰ ^c | ۶/۷۸۷ ^e | ۷/۳۱۰ ^e | ۷/۶۴۰ ^e |
| | ۲۴/۱۲۷ ^a | | | ۱۱/۶۱۷ ^d | | | ۷/۲۹۰ ^e | |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون LSD).

کلروفیل b: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که، تنش کم آبی بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی دار می‌باشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که، میزان کلروفیل b با افزایش سطح تنش کاهش معنی داری داشت، به طوری که بیشترین مقدار کلروفیل (۱۱/۶۲ میلی گرم بر گرم) در تیمار تنش ۸۰ درصد و کمترین (۷/۶۳ میلی گرم بر گرم) در تیمار تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد (جدول ۴). محلول پاشی نانوسیلیکون نیز بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی داری داشت (جدول ۲)، به طوری که با افزایش سطح محلول پاشی میزان کلروفیل b نیز افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار کلروفیل b (۱۰/۳۴ میلی گرم بر گرم) در سطح سه میلی مولار و کمترین (۸/۴۰ میلی گرم بر گرم) از تیمار عدم کاربرد سیلیکون حاصل شد (جدول ۵).

در مورد اثر تنش کم آبی بر میزان کلروفیل b به نظر می‌رسد که، افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد. گزارش شده است که، در شرایط تنش خشکی تولید رادیکال‌های اکسیژن افزایش می‌یابد که

این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه رنگیزه‌ها می‌گردد (Schutz and Fangmeir, 2001). کاهش میزان کلروفیل b در گیاهان تحت شرایط کمبود آب احتمالاً نتیجه ایجاد اختلالات در کلروپلاست و تغییرات در نسبت پروتئین‌ها و چربی‌های مسئول در شکل‌گیری مجموعه‌های رنگدانه می‌باشد (Parida et al., 2007). نتایج بدست آمده با نتایج خالد و همکاران (Khalid et al., 2010) روی گیاه شمعدانی عطری و عبدالوصی و همکاران (Wasea et al., 2011) (Abdul) روی گیاه جعفری مطابقت دارد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح تنش کم‌آبی بر صفات مورد بررسی

| تنش کم‌آبی (ظرفیت زراعی) | کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) | کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم) | کربوهیدرات (میکروگرم در گرم وزن خشک) | کارتونوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) | وزن تر (میکرومول بر گرم وزن تر) | پروکلین (میکرومول بر گرم وزن تر) |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| ۸۰ درصد | ۱۱/۶۲۴ ^a | ۲۸/۹۲۵ ^a | ۲/۶۴۵ ^c | ۱۲/۵۳۰ ^a | ۸/۵۷۶ ^b | ۷/۴۵۴ ^c |
| ۶۰ درصد | ۸/۲۰۹ ^b | ۲۱/۸۱۳ ^b | ۳/۹۷۱ ^b | ۹/۴۲۷ ^b | ۸/۴۵۸ ^b | ۱۱/۷۸۴ ^b |
| ۴۰ درصد | ۷/۶۳۱ ^b | ۱۴/۸۸۷ ^c | ۵/۸۷۵ ^a | ۸/۶۲۵ ^b | ۹/۵۵۰ ^a | ۱۴/۸۴۳ ^a |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون LSD).

سیلیکون به‌طور مثبتی میزان کلروفیل b را متاثر ساخته که این واقعیت در ارتباط با تجمع سیلیکون در سلول‌های اپیدرمی ساقه می‌باشد؛ این امر به‌طور غیرمستقیم تأثیر حفاظتی بر دستگاه فتوسنتزی داشته و در نتیجه خسارت ناشی از تنش در این پارامتر را کاهش می‌دهد (et al., 2013). Klyngerda Silva مصرف نانوسیلیکون باعث بهبود ساختار گیاهی و افزایش فتوسنتز شد (Donegá and Ratio, 2009). سیلیکون با قرار گرفتن در آپوپلاست دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی علاوه بر استحکام برگ باعث تولید بافت ناهمواری در دو سطح برگ می‌شود؛ که این امر باعث به‌تاخیر انداختن مرگ برگ در نتیجه افزایش در محتوای کلروفیل می‌گردد (et al., 2005). Gong). ترابی و همکاران (Torabi et al., 2014) گزارش کردند که، مصرف سیلیسیوم تأثیر مثبت و معنی‌داری بر محتوای کلروفیل b در گیاه دارویی گل‌گاوزبان داشته است.

کلروفیل کل: اثر تنش کم‌آبی و هم‌چنین محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که، با افزایش شدت تنش کم‌آبی میزان کلروفیل کل کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل کل (۲۸/۹۲) میلی‌گرم بر گرم) در تیمار تنش ۸۰ درصد و کمترین آن (۱۴/۸۹) میلی‌گرم بر گرم) در شرایط تنش کم‌آبی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (جدول ۴). میزان کلروفیل کل در محلول‌پاشی با نانوسیلیکون نسبت به

تیمار شاهد افزایش داشته است، به طوری که بیشترین کلروفیل کل مربوط به محلول پاشی سه میلی مولار نانوسیلیکون بود (جدول ۵).

گزارش شده است که، در ذرت عامل کاهش محتوای کلروفیل در هنگام بروز تنش خشکی کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات می باشد (Piekielek and Fox, 1992). در تنش های شدید با وجود افزایش وزن مخصوص برگ، تخریب کلروفیل نیز افزایش می یابد که منجر به تلفات میزان کلروفیل می شود (Ahmadi and Siocemardeh, 2004). ترابی و همکاران (Torabi et al., 2004) گزارش کردند که، محلول پاشی سیلیکون در گیاه گاوزبان باعث افزایش کلروفیل کل شده است. آن ها دلیل افزایش کلروفیل در اثر کاربرد سیلیکون را به اثر آن در افزایش کارایی فتوسیستم II نسبت داده اند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی نانوسیلیکون بر صفات مورد بررسی

| نانوسیلیکون (میلی مولار) | کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر) | کارتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر) | کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر) |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| ۰ | ۸/۳۹۷ ^b | ۹/۲۸۱ ^b | ۲۰/۶۰۴ ^b |
| ۱ | ۸/۵۹۶ ^b | ۹/۷۷۲ ^b | ۲۱/۳۰۰ ^b |
| ۲ | ۹/۳۴۸ ^{ab} | ۱۰/۳۵ ^{ab} | ۲۲/۷۹۸ ^a |
| ۳ | ۱۰/۳۴۳ ^a | ۱۱/۳۸ ^a | ۲۲/۷۹۸ ^a |

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون LSD).

کاروتنوئید: نتایج جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد که، تنش کم آبی بر میزان کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد و محلول پاشی نانوسیلیکون در سطح احتمال پنج درصد بر صفت مورد بررسی تاثیر معنی داری داشت، اما اثر متقابل تنش کم آبی و نانوسیلیکون بر میزان کاروتنوئید معنی دار نبود (جدول ۲). براساس جدول ۴، با افزایش شدت تنش میزان کاروتنوئید کاهش یافت؛ به طوری که بیشترین مقدار کاروتنوئید (۱۱/۶۲ میلی گرم بر گرم) در تیمار رطوبتی ۸۰ درصد و کمترین مقدار (۷/۶۳ میلی گرم بر گرم) در تیمار رطوبتی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد. هم چنین نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که، با افزایش سطح استفاده از نانوسیلیکون میزان کاروتنوئید نیز افزایش می یابد به طوری که بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار محلول پاشی سه میلی مولار نانوسیلیکون می باشد (جدول ۵).

کاروتنوئیدها شامل بتاکاروتن و گزانتوفیل ها، آنتی اکسیدان های چربی دوست با وزن مولکولی کم در کلروپلاست هستند، که غشاهای کلروپلاستی را در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت می کنند.

کاهش محتوای کارتنوئید می‌تواند به دلیل اکسید شدن آن توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها باشد. کاهش کارتنوئید با افزایش تنش خشکی در لوبیا گزارش شده است (Yu *et al.*, 2007). ستایش مهر و گنجعلی (Setayash Mehr and Ganjali, 2014) گزارش نمودند که، با اعمال تنش خشکی بر گیاه شوید و افزایش شدت تنش از میزان کارتنوئید کاسته شد. به نظر می‌رسد که، نانوسیلیکون موجب کاهش اثرات مضر تنش خشکی و محافظت از ساختارهای برگ شده، در نتیجه کاهش کمتر کارتنوئید در این شرایط شده است.

قندهای محلول و پرولین: تنش کم‌آبی بر میزان پرولین و کربوهیدرات در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌داری داشت. (جدول ۲). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد که، بیشترین میزان پرولین و کربوهیدرات در تیمار تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد، به طوری که با افزایش سطح تنش مقدار پرولین و کربوهیدرات در گیاه افزایش ۵۰ درصدی داشت (جدول ۴).

در این خصوص بیان شده است که، تجمع پرولین معمولاً یک پاسخ فیزیولوژیکی به شرایط تنش است؛ و به نظر می‌رسد، به عنوان یک محافظت‌کننده اسمزی موجب فعال‌سازی پاسخ‌های متعددی در گیاه می‌شود؛ و به این طریق از اجزای فرآیندهای سازگاری محسوب می‌شود. پرولین می‌تواند در اعمالی از جمله تنظیم پتانسیل ردوکس سلول، تثبیت فسفولیپیدهای غشا، تنظیم pH سلول، حفظ پروتئین‌ها و محافظت از آنزیم‌ها در مقابل دنا توره شدن نقش داشته باشد (Chen *et al.*, 2002). یکی از مکانیسم‌های کارآمدی که گیاه در مواجهه با تنش خشکی، برای حفظ تورژسانس و آماس سلولی به کار می‌گیرد تنظیم اسمزی می‌باشد پتانسیل اسمزی بافت‌های تحت تنش، در اثر انباشت یک سری مواد اسمزی از جمله کربوهیدرات و پرولین در سلول‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین، فشار تورگر سلول‌ها در حد مطلوب نگهداری می‌شود (Omidi, 2010). تجمع قندهای محلول داخل سلول‌ها موجب پایداری غشاهای زیستی، پروتئین‌ها، افزایش فتوسنتز و مقاومت به تنش خشکی می‌گردد (Sato *et al.*, 2004). نتایج بدست آمده با گزارشات پیشین مطابقت دارد (Slama *et al.*, 2006; *et al.*, 2014). (Jafarzadeh).

وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که، تنش کم‌آبی بر وزن تر بخش هوایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس جدول مقایسه میانگین بیشترین و کمترین مقدار وزن تر به ترتیب در تیمار رطوبتی ۴۰ درصد و تیمار رطوبتی ۸۰ درصد بدست آمد که با هم اختلاف ۱۱ درصدی داشتند (جدول ۴).

تنش رطوبتی به دلیل کاهش رطوبت در خاک و فعال نمودن فرآیندهای مختلف در گیاه با مصرف انرژی همراه می‌باشد و در صورت تداوم تنش الزاماً باعث کوتاهی دوره گلدهی و طول دوره رسیدن می‌شود، و در نتیجه عملکرد نهایی گیاه کاهش می‌یابد. هم‌چنین به نظر می‌رسد که، کاهش مواد

فتوسنتزی به علت کاهش سطح برگ و انتقال مواد آسمیلاتی به سمت گل‌ها باشد. بابایی و همکاران (Babai *et al.*, 2007) گزارش کردند که، میزان وزن تر گیاه آویشن در شرایط تنش خشکی معنی‌دار بوده است. تیمارهای آزمایش بر وزن خشک اندام هوایی خرفه تاثیر معنی‌داری نداشت. هنگام تنش خشکی گیاه روزنه‌های خود را بسته و این امر باعث کاهش میزان کربن‌گیری و فتوسنتز می‌شود؛ به علاوه نبودن تورژانس سلولی مانع از تقسیم سلول‌ها شده که این عوامل باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌گردد. خرفه گیاهی گوشتی و از گیاهان CAM به‌شمار می‌رود که این گیاه به شرایط خشک، که کمی تعرق لازم بقا است سازگار شده‌اند و به نظر می‌رسد در این گیاه تنش خشکی بر میزان ماده خشک تاثیر چندانی ندارد، احتمالاً عدم معنی‌دار شدن وزن خشک خرفه می‌تواند به این دلیل باشد.

نتیجه‌گیری

تنش کم‌آبی منجر به اثرات سوء در گیاهان می‌شود که با کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی همراه بوده و با توجه به نتایج منجر به کاهش عملکرد می‌شود، ولی گیاه خرفه به هنگام مواجهه با تنش کم‌آبی و خشکی، مکانیزم تنظیم اسمزی را با افزایش میزان پرولین و قندهای محلول را به‌کار گرفته و از این طریق شرایط کمبود آب را تا حدی تحمل می‌کند. یکی از عوامل در کاهش میزان کلروفیل می‌تواند ناشی از کاهش جریان نیتروژن به بافت‌ها و تغییر در فعالیت آنزیم‌های مثل نیترات‌ریداکتاز باشد. با توجه به این که اثرات سیلیکون در شرایط تنش به دلیل استحکام و حفظ ساختار برگ آشکارتر است و نقش فعالی در فرآیندهای بیوشیمیایی از جمله سنتز درون سلولی ترکیبات آلی داشته باشد، به نظر می‌رسد استفاده از سیلیکون در شرایط تنش خشکی بر روی خرفه مناسب باشد.

منابع

- Abdul-Wasea A.A., Khalid M.E. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plant by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences, 18: 93-98.
- Ahmadi A., Siocemardeh A. 2004. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Agricultural Science, 35: 753-763.
- Al-aghabary K., Zhu Z., Shi Q. 2005. Influence of silicic acid on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Journal of Plant Nutrition, 27: 2101-2115.
- Babaei K., Amini D.M., Modares Sanavi A.M., Jabari R. 2007. Effects of drought on morphological characteristics of proline and thymol in thymus (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Medicinal and Aromatic Plants Iran, 26 (2): 251-239. (In Persian).

- Bates L.S., Waldren S.P., Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water tress studies. *Plant soil*, 39: 205-207.
- Chen T.H., Morata H., Enhan N. 2002. Cement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Current Opinion in Plant Biology*, 5: 250-257.
- Donegá, M.A., Ratio, K. 2009 .Ca and application of silicon in the nutrient solution for the hydroponic cultivation of coriander. [M.Sc. Dissertation] Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Pp: 1-62.
- Epstein E. 1991. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), USA*, 91: 11-17.
- Epstein E., Bloom A. 2005. *Mineral Nutrition of plant: principles and perspectives*. Ed², Sinaver Associates, Sunderland, MA.
- Gong H.Z., Chen K., Wang S., Zang C. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in post. *Elsevier Science Shannon, IRLANDE*, 169: 313-321.
- Hajebi A., Heydari Sharif Abad H. 2006. Effect of drought on growth and nodulation of three species of clover. *Journal in Agronomy and Horticulture*, 66: 13-21.
- Hasani A., Omidbigi R., Hidari Sharif Abad H. 2004. Study drought resistance indices in the basil. *Journal of Medical Sciences and Natural Resources*, 10 (4): 65-74.
- Heydari Kasmaee K. 1994. Isolation and identification techniques and determine the amount of omega-3 fatty acids purslane (*Purtulaca oleracea* L). Ph.D., Thesis, Organic Chemistry, Tehran University. (In Persian).
- Jafarzadeh L., Omidi H., Bostani A. 2014. Effects of drought stress and bio-fertilizer onflower yield, photosynthetic pigments and proline content marigold medicinalplant. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29 (3): 666-680. (In Persian).
- Keles Y., Oncel I. 2004. Growth and solute composition on two wheat species experiencing. *Crop Science*, 40: 470-475.
- Khalid A.K.H., Silva J.A.T., Cai W. 2010. Water deficit and polyethylene glycol 6000 affects morphological and biochemical characters of *Pelargonium odoratissimum*. *Scintia Horticulturae*, 125: 159-166.
- Khalil S.E., Nahed G., Azizi A., Bedour L.A.H. 2010. Effect of water stress and ascorbic acid on some morphological and biochemical composition of *ocimum basilicum* plant. *The Journal of American Science*, 12: 33-43.
- Klynger da Silva Lobato A., Maria Silva Guedes E., Jose Marques D., Ferreira de Oliveira Neto C. 2013. Silicon: A benefic element to improve tolerance in plants exposed to water deficiency. In: Akinci, (Eds). *Responses of Organisms to Water Stress*, Publisher In.Tech, Pp: 95-113.

- Koch K.E., Kennedy R.A. 1981. Crassulacean acid metabolim in the succulent C4 dicot (*Portulaca oleracea* L.) under natural environment condition. *Plant physiology*, 69: 757-569.
- Li P., Song A., Li Z., Fan F., Liang Y. 2012. Silicon ameliorates manganese toxicity by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil*, 354: 407-419.
- Liang Y.C. 1998. Effect of si on leaf ultrastuture, chlorophyll content and photosynthetic active in baeley under salt stress. *Pedosphera*, 8 (4): 289-296.
- Lichtenthaler H.K., 1994. Chlorophylls and carotenoids pigment of photosynthetic bioMembrane. *Methods in Enzymology*, 148: 350-382.
- Nezami S., Neamati H., Arouei V., Bagheri A. 2013. Three species of the genus mentha response to water stress under controlled conditions. *Journal of Soil and Water*, 26 (4): 1053-1061. (In Persian).
- Nolla R.J.F., Korndörfer G.H., Silva T.R.B., 2012. Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10: 269-272.
- Omidi H. 2010. Changes of proline content and activity of antioxidative enzymes in two canola genotype under drought stress. *American Journal of Plant Physiology*, 5 (6): 338-349.
- Parida A.K., Dagaonkar V.S., Phalak M.S., Auramgabadkar L.P. 2007. Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. *Plant Biotechnology Reports*, 1: 37-48.
- Pereira T.S., Lobato A.K.S., Tan D.K.Y., Costa D.V., Uchôa E.B., Ferreira R.N., Pereira E.S., Ávila F.W., Marques D.J., Guedes E.M.S. 2013. Positive interference of silicon on water relations nitrogen metabolism, and osmotic adjustment in two pepper (*Capsicum annum*) cultivars under water deficit. *Australian Journal of Crop Science*, 126 (6): 775-786.
- Piekielek W.P., Fox R.H. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize, *Agronomy Journal*, 84: 59-65.
- Sabbagh Pour S.H. 2004. Mechanisms of drought tolerance in plants. *Journal of Agricultural Drought and droughts*, 13: 21-32. (In Persian).
- Salehi M.F., Salehi K., Poustini, H., Heidari Sharifabad, H. 2008. The effect of salinity on the nitrogen fixation in 4 cultivars of medicago sativa in the seedling emergence stage. *Research Journal of Agriculture and Biological sciences*, 4: 413-415. (In Persian).
- Sato F., Yoshioka H., Fujiwara T., Higashio H., Uragami A., Tokuda S. 2004. Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. *Science Horticulturae*, 101: 349-357.
- Sayed H. 2002: Proline metabolism during water stress in sweet pepper (*Gapsicum annum* L.). *Plant Physiology*, 32: 55-261.

- Schutz M., Fangmeir E. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution*, 114: 187-194.
- Setayashmehr Z., Ganjali A. 2014. Effects drought stress on growth and physiological characteristics of Dill. *Journal of Horticultural Science*, 27 (1): 27-35. (In Persian).
- Showemimo, F.A, Olarewaju, J.D. 2007. Drought tolerance indices in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 1: 29-33 .
- Silva M.A., Jifon J.L., Silva J.A.G., Sharma V. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen of drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19: 193-201.
- Slama I., Messedi D., Ghnaya T., Savoure A., Abdelly C. 2006. Effect of water deficit on growth and proline metabolism in *sesuvium portulacastrum*. *Environmental and Experimental Botany*, 56 (3): 231-238.
- Taheri F. 2014. Effect of foliar application of chitosan on quantitative and qualitative characteristics on ajowan drought stress conditions. M.Sc., Thesis, Field of Medicinal Plants, Zabol University. (In Persian).
- Torabi F., Majd A., Enteshari S.H., Ayrean S. 2014. Effect of silicon on some anatomical and physiological parameters in hydroponic condition medicinal borage. *Journal Tissue Cells*, 4 (3): 275-285. (In Persian).
- Xiao X., Xu X., Yang F. 2008. Adaptive responses to progressive drought stress in two *populus cathayana* populations. *Silva Fennica*, 42: 705-719.
- Yu X., Du X., Song L. 2007. Effects of water stress on the growth and ecophysiology of seedlings of the *rhus typhina*. *Scientia Silvge Sinicae*, 43:57-61.

