دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره سوم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۵
http://arpe.gonbad.ac.ir

بررسی اثرات محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکرد خرفه (*Portulaca oleracea* L.) در شرایط تنش کم‌آبی

محمد براتی[۱*]، علیرضا سیروس‌مهر[۲]، سیده سعیده خاتمی[۳]، سیده راضیه موسوی[۴]، فائقه نجفی[۵]
[۵،۴،۳،۱]دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
[۲]استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه دارویی خرفه در شرایط تنش کم‌آبی آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زابل به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. تنش کم‌آبی در سه سطح (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌صورت وزنی و نانوسیلیکون در چهار سطح (۰، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) اعمال شد. نتایج آزمایش نشان داد که، تنش کم‌آبی بر اکثر صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشت. تنش کم‌آبی موجب افزایش کربوهیدرات و قندهای محلول، وزن‌تر 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. محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر میزان کارتنوئید و کلروفیل کل اثر معنی‌داری 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 کم‌آبی محلول‌پاشی نانوسیلیکون می‌تواند اثرات تنش را کاهش داده و استفاده از آن مناسب به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: **پرولین، عملکرد، کلروفیل، کم‌آبی، نانوسیلیکون**

*نویسنده مسئول: mbarati45@yahoo.com

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

مقدمه

گیاه خرفه با نـام علمـی *Portulaca oleracea* L. از خـانواده Portulacaceae مـی‌باشـد کـه از گذشته به‌عنوان سبزی و گیاه دارویـی مـورد اسـتفاده قـرار مـی‌گیـرد (Heydari Kasmaee, 1993). دانه‌های خرفه دارای ۲۱ درصد پروتئین و ۲۰ درصد روغن می‌باشند. بخش عمده دانه‌های خرفـه 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 خشـک و کم‌باران بیابانی تا حد زیادی به خشکی سازگاری یافته است که به‌نظر می‌رسد مکانیسم فتوسنتزی این گیاه که از نوع C_4 بوده و قابل تبدیل به CAM می‌باشد، تا حد زیادی دلیل مقاومـت و سـازگاری ایـن 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 خسـارت‌هـای هنگفتی به محصولات کشاورزی در جهان به‌خصوص ایران که به‌عنوان کشوری خشـک و نیمـه‌خشـک 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 اثـر آن میـزان تلفـات آب ناشی از تعرق بر میزان جذب آن توسط ریشـه‌هـا پیشـی گرفتـه و میـزان تـنش افـزایش مـی‌یابـد (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، زایشـی و رسـیدگی محصـول مـی‌گـردد (Showemimo and Olarewaju, 2007). طـی پژوهشـی بـر روی گیـاه فلفـل مشخص شد که، میزان پرولین در شرایط تنش در برگ‌ها و به‌خصـوص در ریشـه‌هـا افـزایش مـی‌یابـد (Sayed, 2002)، هم‌چنین در این پژوهش مشخص گردید که میزان فعالیت آنزیم پرولین دهیـدروژناز 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، قطـر سـاقه، سـطح بـرگ، وزن‌تـر و خشک اندام هوائی، وزن‌تر و خشک ریشه و عملکرد گیاه ریحان کاهش پیدا کرد.

سیلیکون (سیلیسیوم) دومـین عنصـر فـراوان در پوسـته زمـین بـه‌شـمار مـی‌رود (Epstein and bloom, 2005) و تقریبا ۳۱ درصـد پوسـته زمـین را اشـغال کـرده اسـت (Epstein, 1991). گرچـه سیلیسیوم به‌عنوان عنصر ضروری برای گیاهان شناخته نشده و نقـش آن در بیولـوژی گیـاه بـه‌صـورت اندک درک شده است، ولی وظایف مهمی را در گیاهان ایفا مـی‌کنـد و مقاومـت در مقابـل تـنش‌هـای محیطی، بیماری‌ها و آفات را افزایش می‌دهد. سیلیکون در گیاهان معمولاً مسئول بهبود ساختار گیاهی و برگ، و هم‌چنین فرآیندهای متابولیکی مانند تبادلات گـازی (Parida *et al.*, 2007)، رنگدانـه‌هـای

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

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). پریرا و همکاران (Parida *et al.*, 2013) طی بررسی تاثیر کاربرد سیلیکون در شرایط تنش کمبود آب در گیاه فلفل 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 ارایه شده است.

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

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

آزمایش به‌صورت 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 به‌وسیله اتانول ۹۵ درصد ضدعفونی گردیدند. کشت در اواخر فروردین به‌صورت 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

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

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)

۱۰۰ × (وزن خشک خاک / وزن خشک خاک – وزن‌تر خاک) = 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 و۴۷۰ 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 نین‌هیدرین طبق روش زیر ساخته شد: ۰/۱۲۵ گرم نین‌هیدرین به ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال افزوده شد. سپس محلول حرارت داده شد تا نین‌هیدرین 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. ۳-۲ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده، با ۲ میلی‌لیتر محلول اسید نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک مخلوط و به‌مدت۳۰ 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 به‌خوبی 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 وزن‌تر 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

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

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 به‌وسیله نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج وبحث

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 به‌شدت، 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 کلروفیلاز، 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 (Al-Aghabary *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).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

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	وزن خشک	پرولین	کربوهیدرات
تنش کم‌آبی	۲	۶۸/۱۴۷**	۴۹۷/۵۲۴**	۵۵/۸۸۷**	۵۹۱/۱۸۹**	۵۱/۰۳۷**	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}	۰/۲۲۷^{ns}
تنش × 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
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۷۴	۹/۳۷	۱۶/۵۱	۶/۹۷	۱۴/۱۷	۱۱/۵۲	۲۱/۵۱	۱۶/۴۸	۱۸/۱۷

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار،اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

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

تنش کم‌آبی ۸۰ درصد (ظرفیت زراعی)			تنش کم‌آبی ۶۰ درصد (ظرفیت زراعی)			تنش کم‌آبی ۴۰ درصد (ظرفیت زراعی)		
نانوسیلیکون (میلی‌مولار)			نانوسیلیکون (میلی‌مولار)			نانوسیلیکون (میلی‌مولار)		
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 معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون LSD).

کلروفیل b: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که، تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که، میزان کلروفیل b با افزایش سطح تنش کاهش معنی‌داری داشت، به‌طوری که بیشترین مقدار کلروفیل (۱۱/۶۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار تنش۸۰ درصد و کمترین (۷/۶۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول ۴). محلول‌پاشی نانوسیلیکون نیز بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲)، به‌طوری که با افزایش سطح محلول‌پاشی میزان کلروفیل b نیز افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار کلروفیل b (۱۰/۳۴ میلی‌گرم بر گرم) در سطح سه میلی‌مولار و کمترین (۸/۴۰ میلی‌گرم بر گرم) از تیمار عدم کاربرد سیلیکون حاصل شد (جدول ۵).

در مورد اثر تنش کم‌آبی بر میزان کلروفیل b به‌نظر 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

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

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 وزن‌تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم)	کربوهیدرات (میکروگرم در گرم وزن خشک)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	وزن‌تر (گرم)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن‌تر)
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}	۱۴/۸۴۲^{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 تاثیر 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 برگی 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 گل گاوزبان 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

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

تیمار شاهد افزایش داشته است، به‌طوری‌که بیشترین کلروفیل کل مربوط به محلول‌پاشی سه میلی‌مولار 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 می‌باشد (Piekielek and Fox, 1992). در تنش‌های شدید با وجود افزایش وزن مخصوص برگ، تخریب کلروفیل نیز افزایش می‌یابد که منجر به تلفات میزان کلروفیل می‌شود (Ahmadi and Siocemardeh, 2004). ترابی و همکاران (Torabi *et al.*,2004) گزارش کردند که، محلول‌پاشی سیلیکون در گیاه گاوزبان باعث افزایش کلروفیل کل شده است. آن‌ها دلیل افزایش کلروفیل در اثر کاربرد سیلیکون را به اثر آن در افزایش کارایی فتوسیستم II نسبت داده‌اند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر صفات مورد بررسی

نانوسیلیکون (میلی‌مولار)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	کارتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)
۰	۸/۳۹۷^{b}	۹/۲۸۱^{b}	۲۰/۶۰۴^{b}
۱	۸/۵۹۶^{b}	۹/۷۷۲^{b}	۲۱/۳۰۰^{b}
۲	۹/۲۴۸^{ab}	۱۰/۳۵^{ab}	۲۲/۷۹۸^{a}
۳	۱۰/۳۴۲^{a}	۱۱/۳۸^{a}	۲۲/۷۹۸^{a}

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

کاروتنوئید: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که، تنش کم‌آبی بر میزان کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در سطح احتمال پنج درصد بر صفت مورد بررسی تاثیر معنی‌داری داشت، اما اثر متقابل تنش کم‌آبی و نانوسیلیکون بر میزان کاروتنوئید معنی‌دار نبود (جدول ۲). براساس جدول ۴، با افزایش شدت تنش میزان کاروتنوئید کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار کاروتنوئید (۱۱/۶۲ میلی‌گرم برگرم) در تیمار رطوبتی ۸۰ درصد و کمترین مقدار (۷/۶۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار رطوبتی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که، با افزایش سطح استفاده از نانوسیلیکون میزان کاروتنوئید نیز افزایش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به تیمار محلول‌پاشی سه میلی‌مولار نانوسیلیکون می‌باشد (جدول ۵).

کاروتنوئیدها شامل بتاکاروتن و گزانتوفیل‌ها، آنتی‌اکسیدان‌های چربی دوست با وزن مولکولی کم در کلروپلاست هستند، که غشاهای کلروپلاستی را در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت می‌کنند.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

کاهش محتوای کارتنوئید می‌تواند به‌دلیل اکسید شدن آن توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها باشد. کاهش کاروتنوئید با افزایش تنش خشکی در لوبیا گزارش شده است (Yu *et al.*, 2007). ستایش‌مهر و گنجعلی (Setayash Mehr and Ganjali, 2014) گزارش نمودند که، با اعمال تنش خشکی بر گیاه شوید و افزایش شدت تنش از میزان کاروتنوئید کاسته شد. به‌نظر می‌رسد که، نانوسیلیکون موجب کاهش اثرات مضر تنش خشکی و محافظت از ساختارهای برگ شده، در نتیجه کاهش کمتر کاروتنوئید 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، به‌طوری‌که 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 به‌شرایط تنش است؛ و به‌نظر می‌رسد، به‌عنوان 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 دناتوره 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 به‌کار 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).

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

تنش رطوبتی به‌دلیل 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 به‌نظر می‌رسد که، کاهش مواد

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

فتوسنتزی به‌علت کاهش سطح برگ و انتقال مواد آسیمیلاتی به سمت گل‌ها باشد. بابایی و همکاران (Babai *et al.*, 2007) گزارش کردند که، میزان وزن‌تر گیاه آویشن در شرایط تنش خشکی معنی‌دار بوده است. تیمارهای آزمایش بر وزن خشک اندام هوایی خرفه تاثیر معنی‌داری نداشت. هنگام تنش خشکی گیاه روزنه های خود را بسته و این امر باعث کاهش میزان کربن‌گیری و فتوسنتز می‌شود؛ به‌علاوه نبودن تورژسانس 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 لازمه بقا است سازگار شده‌اند و به‌نظر 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 مواجه 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 به‌دلیل استحکام و حفظ ساختار برگ آشکارتر است و نقش فعالی در فرآیندهای بیو شیمیایی از جمله سنتز درون سلولی ترکیبات آلی داشته باشد، به‌نظر 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 silscon suplly on chorophyll content, cholorophyll fluorescens, and antioxidative enzyme actives in tomato plants under salt stress. Journal plant Nutr, 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).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

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. Ed^2, 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: Akınci, (Eds). Responses of Organisms to Water Stress, Publisher In.Tech, Pp: 95-113.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

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, cholorophyll contect and photosynthetic active in baeley under salt stress. Pedosphera, 8 (4): 289-296.

Lichtenthaler H.K., 1994. Chlorophylls and carotenoids pigment of photosynthic bioMembrance. 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 annuum*) 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 fixatianin 4 cahivars of medicago sativa in the seedling emergence stage. Research Jornal 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.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

Schutz M., Fangmeir E. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to elevated CO_2 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.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]