

مقاله علمی - پژوهشی

## بررسی تأثیر کاربرد سیلیکات پتاسیم بر عملکرد کمی و کیفی خرفه (*Portulaca oleracea L.*) تحت تنش خشکی

پروین اسدی<sup>۱</sup>، حسین مرادی<sup>۲</sup> و سعید شیوخی<sup>۳\*</sup>

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد سیلیکات پتاسیم بر ویژگی‌های کمی و کیفی خرفه تحت شرایط تنش خشکی، آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در شش سطح تنش کم ( $DS_1: 12hr(125ml)$ ،  $DS_2: 24hr(250ml)$ )، متوسط ( $DS_3: 48hr(250ml)$ ،  $DS_4: 72hr(500ml)$ ) و شدید ( $DS_5: 72hr(250ml)$ ،  $DS_6: 48hr(125ml)$ ) و سیلیکات پتاسیم با سه سطح ( $S_0$ : Control،  $S_1$ : 1 mM،  $S_2$ : 2 mM) در چهار تکرار بود. بر پایه یافته‌ها، با افزایش شدت تنش خشکی میزان ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی با کاهش بسیار محسوس مواجه شدند؛ اما این کاهش در تیمارهای  $S_1$  و  $S_2$  تعدیل یافت. بیشترین میزان بهره‌وری آب مربوط به تیمار  $DS_1$  با  $71/9$  کیلوگرم در مترمکعب بود و کمترین میزان آن، در تیمارهای  $DS_5$  و  $DS_6$  به ترتیب با  $70/2$  و  $69/9$  کیلوگرم در مترمکعب مشاهده شد. همچنین در تیمارهای  $S_1$  و  $S_2$  به ترتیب با  $0/31$  و  $0/30$  در صد برتری محسوس نسبت به تیمار شاهد داشت. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای تنش متوسط و شدید مشاهده شد. در حالی که کمترین آن، مربوط به تیمارهای  $DS_1$  و  $DS_2$  بود. همچنین در تیمارهای  $S_1$  و  $S_2$  مقایسه با تیمار شاهد، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل و محتوای فلاونوئید میوه بالاتر بود؛ بنابراین کاربرد سیلیکات پتاسیم به‌ویژه با غلظت ۲ میلی‌مولار، می‌تواند تا حدی اثرات نامطلوب سطوح مختلف تنش خشکی را تعدیل نماید.

**واژه‌های کلیدی:** آنتی‌اکسیدان، بهره‌وری آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کم‌آبی، مورفولوژیک

### مقدمه

سازمان بهداشت جهانی آن را تحت عنوان نوشدارو یا اکسیر جهانی معرفی نماید (Jin et al., 2018). گیاه خرفه سرشار از اسیدهای چرب امگا ۶ (اسید-لینولئیک) و امگا ۳ (اسید-لینولئیک) است. وجود آنتی‌اکسیدان‌های فراوان و اسیدهای چرب غیراشباع به خصوص امگا ۳، منجر به تقویت سیستم ایمنی و خنثی شدن رادیکال‌های آزاد در بدن می‌شود و از بروز بیماری‌های قلبی و عروقی جلوگیری می‌نماید. این ویژگی‌های گیاه خرفه را به یک سبزی بسیار مناسب در رژیم غذایی انسان تبدیل کرده است (Montoya-García et al., 2018). گیاهان دارویی که منبعی از ترکیبات فیتوشیمیایی مختلف هستند، در طول رشد و نمو خود در معرض انواع تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند. عوامل محدودکننده اکولوژیکی مختلف از جمله دما، نور، رطوبت، شوری و حاصلخیزی خاک تأثیر قابل توجهی بر پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان دارویی و همچنین فرآیند متابولیک ثانویه دارد (شیوخی و

خرفه (*Portulaca oleracea L.*) گیاهی یک‌ساله، چهار کرنبه و از خانواده *Portulacaceae* هست. خرفه عمدتاً در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری رشد می‌کند (نوری و همکاران، ۱۴۰۱). خواص دارویی مختلف این گیاه سبب شده است که

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته علوم و مهندسی باغبانی - گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران (\* نویسنده مسئول: Saeid.Shiukhy@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲

همکاران، ۱۴۰۳). متابولیت‌های ثانویه برای ارزیابی کیفیت ترکیبات درمانی مفید هستند و امروزه به‌عنوان داروهای مشتق طبیعی مهم مانند سرکوب‌کننده سیستم ایمنی، آنتی‌بیوتیک‌ها، ضد دیابت و ضد سرطان استفاده می‌شوند (Pant et al., 2021).

تنش‌های محیطی مختلفی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در این بین تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی نسبت به سایر تنش‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است (شیوخ و همکاران، ۱۴۰۱). عوامل مختلفی نظیر مرحله رشد گیاه، گونه گیاهی، شدت تنش و طول دوره تنش بر میزان مقاومت گیاه نسبت به تنش خشکی مؤثر می‌باشند. واکنش به تنش خشکی در کلیه مراحل رشد و نمو گیاه یکسان نیست و برخی مراحل حساسیت بیشتر و برخی دیگر حساسیت کمتری را از خود نشان می‌دهند (Fiori et al., 2016). تنش خشکی در مرحله رویشی نسبت به مرحله زایشی اهمیت کمتری دارد، اما به دلیل کند کردن رشد گیاه و در برخی موارد طولانی نمودن دوره رشد و تأثیراتی که بر خصوصیات گیاه می‌گذارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Wang et al., 2022).

سیلیس دومین عنصر فراوان در خاک به‌عنوان عنصر ضروری و سودمند برای گیاهان شناخته شده است. این عنصر قادر است اثرات منفی تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی و شوری را کاهش دهد. این عنصر علاوه بر تأثیر مستقیم در بهبود ساختار گیاه و برگ، فرآیندهای متابولیکی و فتوسنتز و در نهایت افزایش رشد و عملکرد گیاه، دارای پتانسیل کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی نیز است (Nakata et al., 2008). یان و همکاران بیان نمودند که سیلیس به‌عنوان یک عنصر مفید در تقویت رشد و ثبات ساختاری در گیاهان خاصیت ارتجاعی سلولی را افزایش می‌دهد و دیواره سلولی اولیه را گسترش می‌دهد که باعث بهبود رشد در گیاهان می‌شود (Yang et al., 2018). خراسانی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۲)، نشان دادند که اثر محلول‌پاشی سیلیسیم بر اجزای عملکرد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه بادرنجبویه معنی‌دار بود؛ به‌طوری‌که میزان عملکرد، درصد اسانس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت با توجه به بحران کمبود منابع آب و چالش کم‌آبی، نیاز روزافزون به فن‌آوری‌ها و شیوه‌های کشت کارآمد نسبت به روش‌های سنتی و مرسوم، بیش از گذشته حائز اهمیت و توجه است. از طرفی، بدلیل اینکه کشت گیاهان دارویی به‌ویژه خرفه در سطح وسیع انجام نمی‌گیرد، بنابراین اعمال تنش خشکی در سطح کشت کوچک نیز متفاوت بوده و در این پژوهش از اعمال تنش خشکی بر مبنای ظرفیت زراعی مزرعه (FC) که دارای پیشینه تحقیقاتی زیادی است صرف‌نظر شد. لذا به‌منظور بهره‌وری مناسب از میزان آب مصرفی و همچنین استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد در راستای کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی در شرایط کم‌آبی حاکم در منطقه مورد مطالعه، هدف از

جیانگ و همکاران بیان نمودند که با توجه به تغییرات آب و هوایی، افزایش بهره‌وری مصرف آب در محصولات کشاورزی، نقشی بسیار حائز اهمیت داشته و در حفظ منابع آب بسیار مهم تلقی می‌شود (Jiang et al., 2024). رای و رای اظهار داشتند که بخش مهمی از تأمین امنیت غذایی در گرو مدیریت کارآمد مصرف آب بوده و هرگونه مدیریت ناکارآمد در مصرف آب می‌تواند باعث بروز تنش خشکی گاه‌آلودگی در گیاهان شده و بدین ترتیب زنجیره غذایی را دچار اختلال نماید (Rai and Rai., 2020). عوامل مختلفی از جمله؛ وضعیت ریشه گیاه و نحوه مقاومت آن در برابر تنش خشکی، شرایط محیطی پیرامون گیاه و پتانسیل آب و خاک بر وضعیت آب در گیاه را تعیین نموده و در نهایت بر پاسخ گیاه به آبیاری تأثیرگذار می‌باشند (سعیدی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸). ترکیبات شیمیایی گیاهان نظیر میزان کلروفیل، پروتئین، پرولین و قند که از مکانیسم‌های مقاومتی گیاه در مقابل تنش خشکی به‌شمار می‌روند که تحت بروز تنش خشکی دچار تغییرات مختلفی می‌شوند

است. دارای ارتفاع از سطح دریا (۱۴ متر)، میانگین بلندمدت دمای سالانه (۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد) و میانگین بارندگی سالانه (۶۵۰ میلی‌متر) است. شرایط آب و هوایی محل آزمایش براساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی گسترش یافته دومارتن، معتدل مرطوب است (شیوخی سوغانلو و همکاران، ۱۴۰۳). خاکی که برای کشت گیاه خرفه مورداستفاده قرار گرفت حاوی مخلوطی از خاک باغچه، کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۱:۱:۲ بود. بافت خاک از نوع لوم شنی بود. همچنین اطلاعات مربوط به برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، در جدول (۱) ارائه گردید.

پژوهش بر مبنای ارزیابی تأثیر کاربرد سیلیکات پتاسیم بر ویژگی‌های کمی و کیفی خرفه تحت شرایط تنش خشکی بود.

## مواد و روش‌ها محل انجام آزمایش

منطقه مورد مطالعاتی در شهرستان ساری و در مزرعه آزمایشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب با (53° 00' E) و (36° 33' N)، واقع شده

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

کلسیم	پتاسیم	نیتروژن	کربن آلی	ماده آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت	
							رس	شن
							درصد	درصد
میلی‌گرم در کیلوگرم			درصد		دسی‌زیمنس بر متر	-		
۲۵۰/۸	۱۲/۳	۰/۱	۱/۵	۲/۵۸	۱/۱	۷/۲	۱۰	۳۲

## سنجش صفات مورفولوژی، رویشی و بهره‌وری آب

بعد از برداشت کامل گیاه از گلدان، ارتفاع هر بوته از پایین‌ترین قسمت (سطح خاک) تا بالاترین قسمت رشد گیاه (ساقه اصلی)، با استفاده از خط‌کش مدرج اندازه‌گیری شد. در مرحله‌ای که رشد رویشی گیاه به اتمام رسید، نمونه‌های برداشت‌شده به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس ریشه و اندام هوایی گیاه را از هم جدا کرده و پس از شستشو و خشک‌کردن، وزن تر ریشه و اندام هوایی، به‌وسیله ترازو مدل AND MA1000 با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید. برای سنجش وزن خشک ریشه و اندام هوایی، نمونه‌ها در پاکت‌هایی جداگانه جمع‌آوری شد و درون آون با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفت (شیوخی سوغانلو و همکاران، ۱۴۰۱). برای سنجش محتوای نسبی آب برگ قطعات ۱ سانتی‌متری از برگ‌های میانی شاخه اصلی و از بخش مرکزی برگ تهیه و وزن تر آن‌ها توزین شد. این قطعات برای تعیین وزن تورژسانس به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم داخل آب مقطر قرار داده شدند. در پایان وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و محتوای نسبی آب برگ از رابطه (۱) محاسبه شد (Soltys et al., 2016). به‌منظور سنجش میزان بهره‌وری آب، در

## نحوه اجرای آزمایش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با تیمارهای آزمایشی شامل سیلیکات پتاسیم با سه سطح (S<sub>0</sub>: 0, S<sub>1</sub>: 1, S<sub>2</sub>: 2 mM) و تنش خشکی در شش سطح کمترین تنش (DS1: 12hr (125ml), DS2: 24hr (250ml), DS3: 48hr (250ml), DS4: 72hr (500ml) و تنش شدید (DS5: 72hr (250ml), DS6: 48hr (125ml)) در ۴ تکرار اجرا شد. ابتدا بذور خرفه در سینی‌های نشاء که حاوی کوکوپیت و پرلیت بودند، کشت گردید. پس از حدود دو هفته گیاهچه‌های دوبرگی ظاهر شدند سپس گیاهچه‌ها به گلدان منتقل شده و گلدان‌ها در محل اجرای آزمایش که سقف آن با استفاده از نایلون پوشانده شد (برای جلوگیری از بارندگی و اختلال در برنامه زمان‌بندی آبیاری)، قرار گرفتند. پس از حدود دو هفته و استقرار کامل گیاهان، آبیاری بر اساس تیمارهای تنش خشکی انجام شد. آبیاری برای تأمین رطوبت خاک به‌صورت دستی و با استفاده از ظرف استوانه مدرج انجام شد. در حین اعمال تنش خشکی، غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم (۱ و ۲ میلی‌مولار) نیز به‌صورت کودآبیاری در اختیار گیاه قرار داده شد.

$$\text{Carotenoid } (\mu\text{g/ml}) = [(1000 A_{470} - 1.63 \text{ Chl a} - 104.96/221)1000*8\text{cc}]/W_{6\text{panch}} \quad (۶)$$

در این روابط A و W به ترتیب میزان جذب و وزن نمونه می-باشند.

### سنجش ویژگی‌های فیتوشیمیایی

برای سنجش درصد مهار رادیکال آزاد (DPPH)، یک میلی‌لیتر از عصاره متانولی را به یک میلی‌لیتر DPPH و برای شاهد به جای عصاره متانولی از متانول خالص استفاده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در محیط تاریک نگهداری شدند. در پایان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد (Ghasemi et al., 2008). برای سنجش فنل کل، از روش فولین-سیوکالتیو<sup>۱</sup> استفاده شد. بدین منظور ۲۰ میکرولیتر از عصاره فلفل که از قبل تهیه شده بود، با ۱۰۰ میکرولیتر فولین-سیوکالتیو و ۱/۱۶ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و پس از ۵ دقیقه استراحت، ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم یک مولار به آن افزوده شد. محلول فوق به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و حمام بخار ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت (Nabavi et al., 2008). در نهایت نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شدند. برای محاسبه محتوای فلاونوئید از روش آلومینیوم کلراید استفاده شد. بدین جهت ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی تهیه شده با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم کلراید ۱۰٪ در اتانول (۱۰ گرم آلومینیوم کلراید در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول و آب مقطر)، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم یک مولار (۹/۸ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. سپس محلول نیم ساعت در تاریکی قرار داده شد و سپس بلافاصله در طول موج ۴۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد (Ebrahimzadeh et al., 2008). در پایان داده‌های به دست آمده با بهره‌گیری از نرم‌افزار SAS ver9.2 تجزیه و تحلیل شدند و آزمون مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

هر تیمار با توجه به مقدار آبیاری، کل حجم آب مصرفی ثبت شد و با استفاده از رابطه (۲) شاخص بهره‌وری آب محاسبه شد.

$$\text{RWC}(\%) = \frac{\text{FW}-\text{DW}}{\text{TW}-\text{DW}} \times 100 \quad (۱)$$

که در آن RWC محتوی نسبی آب (درصد)، DW: وزن خشک (گرم)، FW: وزن تازه (گرم) و TW: وزن تورژانس (گرم) است.

$$\text{WP} = \frac{\text{Yield}}{\text{Wap}} \quad (۲)$$

که در آن، WP بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Yield عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و Wap مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) است.

### سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای سنجش صفات فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل ab و کارتنوئید، از روش کارتر و ناپ استفاده شد (Carter and Knapp, 2001). ابتدا ۶ دیسک از پهنک برگ جوان خرفه را با دستگاه پانچ جدا کرده و در ۸ سی‌سی متانول ۱۰۰٪ ریخته شد و در محیط تاریک و دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری گردید. جذب عصاره با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (uv-1800PC) به ترتیب در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ خوانده شد. در نهایت با استفاده از روابط (۳)، (۴)، (۵) و (۶) محاسبه شدند. برای سنجش شاخص سبزی‌نگی، برگ‌های نزدیک به راس در ساقه اصلی انتخاب شده و سپس با دستگاه کلروفیل-سنج میزان کلروفیل برگ‌ها اندازه‌گیری شد و در نهایت میانگین اعداد قرائت شده ثبت گردید.

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/ml}) = [(16.72 A_{665.2} - 9.16 A_{652.4})/1000*8\text{cc}]/W_{6\text{panch}} \quad (۳)$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/ml}) = [(34.09 A_{652.4} - 15.28 A_{665.2})/1000*8\text{cc}]/W_{6\text{panch}} \quad (۴)$$

$$\text{Chl (total)} (\mu\text{g/ml}) = \text{Chl a} + \text{Chl b} \quad (۵)$$

<sup>۱</sup> Folin-Ciocalteu

## نتایج و بحث

### صفات مورفولوژیک، رویشی و بهره‌وری آب

نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیک، رویشی و میزان بهره‌وری آب گیاه خرفه معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ). به طوری که صفات ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی، محتوای آب نسبی و میزان

بهره‌وری آب تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. همچنین اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم به جزء ارتفاع گیاه و محتوای آب نسبی برگ، بر سایر ویژگی‌های مورفولوژیک و میزان بهره‌وری آب خرفه مؤثر بود. این در حالی بود که اثر برهمکنش تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر هیچ‌یک از صفات موردنظر معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر صفات مورفولوژیک، رویشی و بهره‌وری آب خرفه

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات					ارتفاع گیاه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	محتوای آب نسبی برگ	بهره‌وری آب
		وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	محتوای آب نسبی برگ	بهره‌وری آب							
تنش خشکی	۵	۲۰۹/۶۸۲۸**	۴/۰۴۱۴**	۰/۱۰۲۲**	۱۴۶/۱۰۳۹**	۰/۴۳۸۴*	۱۸/۸۹۵۸**	۰/۰۰۰۲**					
سیلیکات پتاسیم	۲	۲/۳۰۲۲ <sup>ns</sup>	۰/۳۶۲۲**	۰/۳۵۹۳**	۶/۹۲۷۹*	۱/۶۱۵۵**	۶/۶۰۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۴**					
تنش × سیلیکات پتاسیم	۱۰	۵/۴۹۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۸۸۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۰۳ <sup>ns</sup>	۱/۱۲۷۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۸۲۲۵ <sup>ns</sup>	۱۰/۰۰۷*	۰/۰۰۰۳۱ <sup>ns</sup>					
خطا	۵۴	۴/۰۶۸۸	۰/۰۵۰۵	۰/۰۱۱۵	۲/۰۹۹۴	۰/۱۳	۳/۹۵۰۳	۰/۰۰۰۰۹۷					
کل	۷۱	-	-	-	-	-	-	-					
ضریب تغییرات (C.V)	-	۵/۴	۱۱/۱۳	۱۴/۰۹	۸/۲	۱۴/۴	۱/۹	۱۵/۲					

\*\*، \* و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطوح ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند (Duncan,  $P \leq 0.05$ ).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میانگین ارتفاع گیاه خرفه در تیمارهای سطوح تنش خشکی کم  $DS_1$  و  $DS_2$  به ترتیب با ۴۱ و ۴۱/۱ سانتی‌متر مشاهده شد. در حالی که کمترین میزان آن، مربوط به تیمار تنش خشکی شدید  $DS_6$  با ۳۰/۱ سانتی‌متر بود (جدول ۳). همچنین بیشترین و کمترین میانگین وزن تر ریشه به ترتیب در تیمارهای تنش خشکی کم  $DS_2$  و شدید  $DS_6$  با مقادیر ۲/۵۴ و ۰/۹ مشاهده شد. بیشترین میزان میانگین وزن خشک ریشه در تیمارهای سطوح تنش خشکی کم  $DS_1$  و  $DS_2$  به ترتیب با ۰/۷ و ۰/۶۵ گرم مشاهده شد. در حالی که کمترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به تنش خشکی شدید  $DS_6$  با ۰/۴۵ گرم بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان میانگین وزن تر ریشه در تیمارهای سیلیکات پتاسیم  $S_1$  و  $S_2$  به ترتیب با ۲ و ۲/۱ گرم مشاهده شد. در حالی که کمترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد ( $S_0$ ) با ۱/۸ گرم بود. همچنین بیشترین میزان

میانگین وزن خشک ریشه در تیمار  $S_2$  با ۰/۷ گرم مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان وزن خشک ریشه مربوط به تیمار شاهد با ۰/۴ گرم بود (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود، بیشترین و کمترین میانگین وزن تر اندام هوایی در تیمار تنش خشکی کم  $DS_2$  و شدید  $DS_6$  به ترتیب ۲۱/۵ و ۱۱/۵ گرم مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان میانگین وزن خشک اندام هوایی مربوط به تیمار تنش خشکی کم  $DS_2$  و شدید  $DS_6$  به ترتیب با ۲/۸۶ و ۲/۳ گرم بود. نتایج گویای آن بود که بیشترین میانگین وزن تر اندام هوایی در تیمار کاربرد سیلیکات پتاسیم در غلظت ۲ میلی‌مولار ( $S_2$ ) با ۱۸/۰۵ گرم مشاهده شد. در حالی که کمترین میزان آن، مربوط به تیمار شاهد با ۱۶/۹۸ گرم بود. همچنین بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی در تیمار  $S_2$  با ۲/۷۶ گرم مشاهده شد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد با ۲/۲۴ گرم بود (جدول ۳).

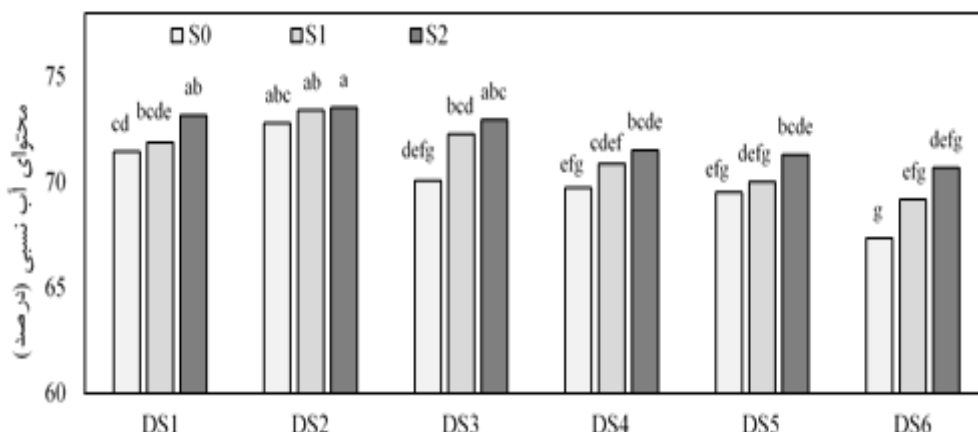
جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات ساده تنش خشکی و غلظت‌های سیلیکات پتاسیم بر میزان محتوای آب نسبی برگ خرفه

غلظت‌های سیلیکات پتاسیم			سطوح تنش خشکی						صفت
S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	DS <sub>6</sub>	DS <sub>5</sub>	DS <sub>4</sub>	DS <sub>3</sub>	DS <sub>2</sub>	DS <sub>1</sub>	
۳۷/۱ a	۳۶/۷ a	۳۶/۵ a	۳۰/۱ d	۳۴/۲ c	۳۷/۶ b	۳۶/۷ b	۴۱/۱ a	۴۱ a	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)
۲/۱۱ a	۲/۰۶ a	۱/۸۷ b	۰/۹ d	۱/۹۴ c	۲/۱۹ b	۲/۲۵ b	۲/۵۴ a	۲/۲۵ b	وزن تر ریشه (گرم)
۰/۷ a	۰/۶۱ b	۰/۴۶ c	۰/۴۵ d	۰/۵۳ cd	۰/۵۹ bc	۰/۶۲ ab	۰/۷ a	۰/۶۵ a	وزن خشک ریشه (گرم)
۱۸/۰۵ a	۱۷/۴ ab	۱۶/۹۸ b	۲/۳ b	۲/۴۴ b	۲/۴۷ b	۲/۴۵ b	۲/۸۶ a	۲/۵۶ b	وزن خشک اندام هوایی (گرم)
۲/۷۶ a	۲/۵۴ b	۲/۲۴ c	۱۱/۵ e	۱۶/۱ d	۱۷/۵ c	۱۷/۸ c	۲۱/۵ a	۲۰/۲ b	وزن تر اندام هوایی (گرم)

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ردیف، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند.

با ۷۰/۲ و ۶۹/۹ درصد بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محتوای آب نسبی برگ گیاه خرفه متناسب با افزایش شدت تنش خشکی، دچار تغییر شد. به طوری که بیشترین میزان محتوای آب نسبی در تیمار تنش کم DS<sub>2</sub> و سیلیکات پتاسیم S<sub>2</sub> با ۷۳/۵۴ درصد مشاهده شد و کمترین آن مربوط به تیمار تنش شدید DS<sub>6</sub> و سیلیکات پتاسیم S<sub>0</sub> با ۶۷/۳۶ درصد بود (شکل ۱).

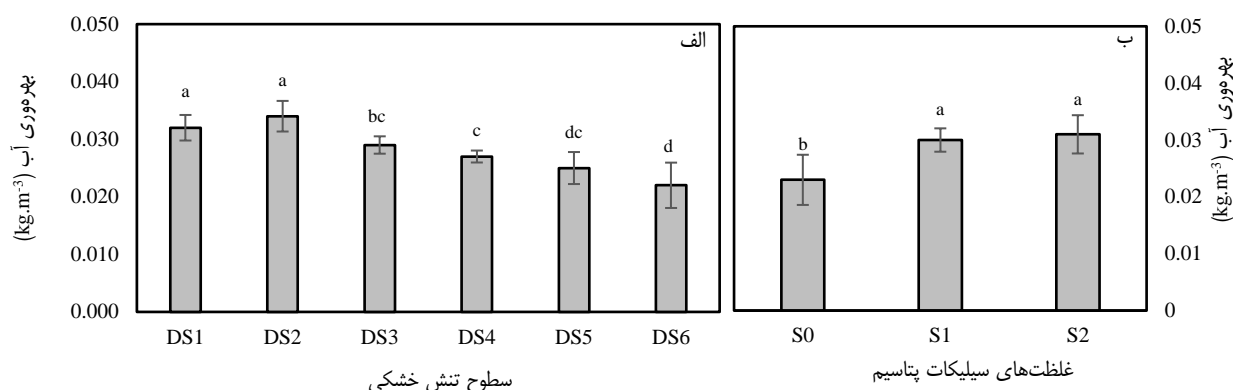
بر پایه نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر ساده تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر محتوای آب نسبی برگ گیاه خرفه معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ). در حالی که اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم بر محتوای آب نسبی برگ معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین محتوای آب نسبی مربوط به تیمار تنش خشکی کم DS<sub>2</sub> با ۷۳/۲ درصد بود و کمترین آن مربوط به تیمارهای تنش خشکی شدید DS<sub>5</sub> و DS<sub>6</sub> به ترتیب



شکل ۱- بررسی اثر برهمکنش سطوح تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر محتوای آب نسبی برگ گیاه خرفه

همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان بهره‌وری آب در تیمارهای سیلیکات پتاسیم مربوط به S<sub>1</sub> و S<sub>2</sub> به ترتیب با ۰/۰۳۰ و ۰/۰۳۱ درصد مشاهده شد و کمترین آن، مربوط به تیمار شاهد با ۰/۰۲۳ درصد بود (شکل ۲-ب).

بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین میزان میانگین بهره‌وری آب مربوط به تیمار تنش خشکی کم DS<sub>1</sub> با ۷۱/۹ بود و کمترین میزان آن، در تیمارهای تنش خشکی شدید DS<sub>5</sub> و DS<sub>6</sub> به ترتیب با ۷۰/۲ و ۶۹/۹ مشاهده شد (شکل ۲-الف).



شکل ۲- بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (الف) و غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم (ب) بر میزان بهره‌وری آب گیاه خرفه

برگ، ساقه و ریشه ریحان تحت تأثیر سطوح مختلف کم آبیاری قرار گرفتند. به طوری که بالاترین مقدار هر یک از این صفات در تیمار آبیاری کامل و پایین‌ترین مقدار آن در تیمار کم آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. نتایج پورمیدانی و همکاران (۱۴۰۳)، حاکی از آن بود که بیشترین طول و وزن تر اندام هوایی سه گونه آویشن در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آن‌ها، در تیمار آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. نتایج مهرگان و همکاران (۱۳۹۷)، نشان داد که کاربرد سیلیسیم آثار تنش بر روی گیاه آلترنانترا را تعدیل کرد. بطوریکه در همه سطوح تنش خشکی، تیمار سیلیسیم به‌ویژه با غلظت دو میلی مولار باعث افزایش رشد، وزن خشک گیاه و شاخص مقاومت به تنش شد. یافته‌های مالمبر و همکاران (۱۳۹۹)، بر روی منابع مختلف سیلیسیم بر روی گیاه استویا نشان داد که کاربرد سیلیسیم بر وزن تر و خشک ساقه و ریشه تأثیر معنی‌دار داشت. حاجی‌پور و همکاران (۱۳۹۸)، گزارش کردند که محلول پاشی سیلیس بر برخی ویژگی‌های رشدی و برگی گل داوودی اثر گذار بود و نتایج حاکی از افزایش وزن تر و خشک برگ و ساقه بود. یافته‌های اورعی و همکاران (۱۴۰۲)، حاکی از آن بود که محلول پاشی سیلیکات پتاسیم اثرات منفی تنش کم آبی بر صفات رشدی گیاه همیشه بهار از جمله سطح برگ و وزن خشک گیاه را کاهش داد. جلیل زاده و همکاران (۱۳۹۷)، نیز نشان دادند که کاربرد غلظت‌های مختلف سیلیسیم بر روی گیاه رز رقم بورلی واتسون باعث افزایش ضخامت برگ، وزن تر و خشک برگ شد.

پاسخ گیاهان به شرایط تنش بسیار پیچیده است و به عوامل دیگری مانند شدت و مدت تنش، گونه و ژنوتیپ، سن و اندازه، عوامل رونویسی، هورمون‌ها و متابولیت‌های ثانویه بستگی دارد (Ma et al., 2020). امامی بیستگانی و همکاران (۱۴۰۰)، بیان نمودند که شرایط محیطی علاوه بر عوامل ژنتیکی، در عملکرد نهایی نقش مهمی را ایفا می‌کند. گیاهان با قرار گرفتن در شرایط تنش خشکی و در اثر کمبود آب، دچار کاهش چشمگیری در رشد و توسعه سلول به‌خصوص در اندام‌های هوایی می‌شوند. فهد و همکاران، کاهش سنتز فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط بروز تنش خشکی را مربوط به کاهش تعداد برگ‌های گیاه و سطح برگ قلمداد نمودند. لذا به دنبال کاهش سطح برگ، جذب نور نیز دچار کاهش شده و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه نیز کاهش می‌یابد (Fahad et al., 2017). شیوخی و همکاران (۱۴۰۱)، کاهش ارتفاع گیاه ناشی از کاهش سطح برگ و در پی آن، کاهش جذب نور را اولین مکانیسم گیاه برای مقابله با خشکی معرفی نمودند. نتایج باسال و ژاوبو، نتایج نشان داد که تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های گیاه مانند ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و مقدار شاخص سبزیگی تأثیر منفی گذاشت (Basal and Szabo, 2020). نتایج قائمی و همکاران (۱۳۹۷)، حاکی از آن بود که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) داشت به طوری که با کاهش میزان رطوبت خاک، ارتفاع بوته نیز کاهش یافت. فخرآبادی و خوش‌سیما چنار (۱۴۰۰)، گزارش نمودند که صفات وزن تر و خشک

### رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و کاربرد سیلیکات پتاسیم بر فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی خرفه نشان داد که اثر ساده سطوح تنش خشکی بر فعالیت کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کارتنوئید و شاخص سبزیگی معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ). همچنین

نتایج گویای آن بود که اثر ساده کاربرد سیلیکات پتاسیم بر فعالیت کلروفیل a، کلروفیل کل و کارتنوئید معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ). بر پایه یافته‌ها، اثر برهمکنش تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی خرفه معنی‌دار نبود (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی خرفه

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
تنش خشکی	۵	$۲/۳۶ \times ۱۰^{-۶} **$	$۱/۲۶ \times ۱۰^{-۵} **$	$۱/۹۴ \times ۱۰^{-۵} **$	$۱/۳۴ \times ۱۰^{-۶} **$
سیلیکات پتاسیم	۲	$۱/۱۷ \times ۱۰^{-۶} *$	$۵/۴ \times ۱۰^{-۶} ns$	$۱/۴۴ \times ۱۰^{-۵} *$	$۱/۰۵ \times ۱۰^{-۶} *$
تنش $\times$ سیلیکات پتاسیم	۱۰	$۱/۱ \times ۱۰^{-۶} ns$	$۴/۴ \times ۱۰^{-۶} ns$	$۴/۱۸ \times ۱۰^{-۶} ns$	$۲/۲۳ \times ۱۰^{-۶} ns$
خطا	۵۴	$۳/۵ \times ۱۰^{-۶}$	$۱/۲۹ \times ۱۰^{-۶}$	$۳/۴۱ \times ۱۰^{-۶}$	$۳ \times ۱۰^{-۶}$
کل	۷۱	-	-	-	-
ضریب تغییرات	-	۱۵/۳	۱۲/۳	۱۴/۳	۱۲/۶
		۱۰/۸			

\*\*، \* و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطوح ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند (Duncan,  $P \leq 0.05$ ).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان میانگین کلروفیل a در تیمار DS<sub>2</sub> با  $۰/۰۰۳۷$  میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد. درحالی‌که کمترین میزان آن، مربوط به تیمار تنش شدید DS<sub>6</sub> با  $۰/۰۰۲۵$  میلی‌گرم بر گرم بود. همچنین بیشترین میزان میانگین کلروفیل a در تیمار سیلیکات پتاسیم S<sub>2</sub> با  $۰/۰۰۳۳$  میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان آن، مربوط به تیمار شاهد با  $۰/۰۰۲۹$  میلی‌گرم بر گرم بود (جدول ۵). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میانگین میزان کلروفیل b در تیمار تنش کم DS<sub>2</sub> با  $۰/۰۰۷۶$  میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد. در حالی‌که کمترین میزان آن، مربوط به تیمارهای تنش شدید DS<sub>5</sub> و DS<sub>6</sub> به ترتیب با  $۰/۰۰۵۲$  و  $۰/۰۰۵۰$  میلی‌گرم بر گرم بود. همچنین اثرات ساده سیلیکات پتاسیم بر فعالیت کلروفیل b معنی‌دار نبود و تفاوت چندانی میان غلظت‌های سیلیکات پتاسیم وجود نداشت (جدول ۵). یافته‌های حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان میانگین کلروفیل کل در تیمار تنش کم DS<sub>2</sub> با  $۰/۰۱۰۴$  میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد. درحالی‌که کمترین میزان آن، مربوط به تیمار تنش شدید DS<sub>6</sub> با  $۰/۰۰۸۰$  میلی‌گرم بر گرم

بود. همچنین بیشترین میزان میانگین کلروفیل کل در تیمار سیلیکات پتاسیم S<sub>2</sub> با  $۰/۰۱۰$  میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد و کمترین میزان آن، مربوط به تیمار شاهد با  $۰/۰۰۸$  میلی‌گرم بر گرم بود (جدول ۵). همان‌طور که در جدول ۵ نیز مشاهده می‌شود، بیشترین میزان میانگین کارتنوئید در تیمار تنش کم DS<sub>2</sub> با  $۰/۰۰۲۳$  میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد. درحالی‌که کمترین میزان آن، مربوط به تیمار تنش شدید DS<sub>6</sub> با  $۰/۰۰۱۴$  میلی‌گرم بر گرم بود. همچنین بیشترین میزان کارتنوئید در تیمار سیلیکات پتاسیم S<sub>2</sub> با  $۰/۰۰۲۰$  میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد و کمترین میزان آن، مربوط به تیمار شاهد با  $۰/۰۰۱۶$  میلی‌گرم بر گرم بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین میزان شاخص سبزیگی در تیمارهای تنش کم DS<sub>1</sub> و DS<sub>2</sub> به ترتیب با  $۳۳/۱$  و  $۳۲/۲$  میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد. درحالی‌که کمترین میزان آن، مربوط به تیمارهای تنش متوسط DS<sub>4</sub> و تنش شدید DS<sub>5</sub> و DS<sub>6</sub> به ترتیب با  $۲۹/۵$  و  $۲۸/۵$  میلی‌گرم بر گرم بود. همچنین اثرات ساده سیلیکات پتاسیم بر شاخص سبزیگی معنی‌دار نبود و تفاوت چندانی میان غلظت‌های سیلیکات پتاسیم وجود نداشت (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات ساده تنش خشکی و غلظت‌های سیلیکات پتاسیم بر فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی خرفه

غلظت‌های سیلیکات پتاسیم			سطوح تنش خشکی						صفت
S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	DS <sub>6</sub>	DS <sub>5</sub>	DS <sub>4</sub>	DS <sub>3</sub>	DS <sub>2</sub>	DS <sub>1</sub>	
۰/۰۳۳ a	۰/۰۳۲ ab	۰/۰۲۹ b	۰/۰۲۵ d	۰/۰۳۰ cd	۰/۰۳۲ bc	۰/۰۳۰ cd	۰/۰۳۷ a	۰/۰۳۶ ab	کلروفیل a (میلی‌گرم/گرم)
۰/۰۶۲ a	۰/۰۶۲ a	۰/۰۶۰ a	۰/۰۵۰ d	۰/۰۵۲ d	۰/۰۵۷ cd	۰/۰۶۴ bc	۰/۰۷۶ a	۰/۰۶۹ ab	کلروفیل b (میلی‌گرم/گرم)
۰/۰۱۰ a	۰/۰۰۹ ab	۰/۰۰۸ b	۰/۰۰۸ d	۰/۰۰۸ cd	۰/۰۰۹ bcd	۰/۰۰۹ abc	۰/۰۱۰ a	۰/۰۱۱ ab	کلروفیل کل (میلی‌گرم/گرم)
۰/۰۲۰ a	۰/۰۱۸ ab	۰/۰۱۶ b	۰/۰۱۴ d	۰/۰۱۵ cd	۰/۰۱۷ bcd	۰/۰۱۹ abc	۰/۰۲۳ a	۰/۰۲۰ ab	کارتونوئید (میلی‌گرم/گرم)
۳۱/۶ a	۳۰/۸ a	۳۰/۳ a	۲۸/۵ b	۲۹/۹ b	۳۰ b	۳۰/۸ ab	۳۳/۲ a	۳۳/۱ a	شاخص سبزینگی (درصد)

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ردیف، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار ندارند

ژانگ و همکاران، دلیل کاهش میزان کلروفیل a را افزایش تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن عنوان کردند که باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌شوند (Zhang et al., 2018). یافته‌های فاطمی و همکاران (۱۴۰۲)، نشان داد که در شرایط بروز تنش خشکی، فعالیت کلروفیل بالاتری در گیاه ریحان آفریقایی مشاهده شد. بر اساس نتایج شمس‌آبادی و همکاران (۱۴۰۲)، بروی نعنا فلفلی حاکی از آن بود که با افزایش سطح تنش خشکی از میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتونوئیدها کاسته شد. یافته‌های جلیل زاده و همکاران (۱۳۹۷)، حاکی از این بود که محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم بر روی گیاه رز رقم بورلی واتسون، بیشترین میزان کلروفیل a را در پی داشت. همچنین بیشترین میزان کلروفیل b و کارتونوئید در کاربرد سیلیکات کلسیم به‌دست آمد. ملک‌پور و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که در شرایط تنش خشکی با کاهش میزان منیزیم برگ، مقدار کلروفیل گیاه دارویی ریحان نیز کاهش یافت. نتایج امامی بیستگانی و همکاران (۱۴۰۰) نیز حاکی از آن بود که میزان کلروفیل گیاه آویشن باغی، کوهی و دناپی در شرایط بروز تنش متناسب با شدت تنش، کاهش یافت. هم‌سنجی نتایج این پژوهش با بسیاری از این مطالعات مبنی بر کاهش میزان و کارتونوئیدها در شرایط بروز تنش خشکی همخوانی داشت.

### ویژگی‌های فیتوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه خرفه معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ). به‌طوریکه فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل و فلاونوئید

تنش خشکی به‌عنوان یک عامل ایجادکننده اختلال در فیزیولوژی گیاه، بر رشد گیاه اثر می‌گذارد. از علائم تنش‌های محیطی در گیاهان، کاهش در میزان کلروفیل است که وابستگی بسیار زیادی به ژنوتیپ و نوع گونه گیاه دارد (مرشدلو و همکاران، ۱۳۹۴). در شرایط تنش خشکی، دستگاه فتوسنتزی تحت تأثیر قرار گرفته و فعالیت فتوسیستم II نیز در گیاه کاهش می‌یابد. یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان میزان کلروفیل است. کاهش مقدار کلروفیل مشاهده شده در پیاز سیر در شرایط تنش کم‌آبی، احتمالاً به دلیل تأثیر تنش بر پیش‌سازهای سنتز کلروفیل یا تخریب کلروفیل موجود است (Jianguo et al., 2018). نتایج عزیزیان و عبدالهی مندولکانی (۱۳۹۷)، مؤید آن بود که کاهش مقدار آب، باعث کاهش مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل در گیاه دارویی شیر تیغک وحشی (*Sonchus arvensis L.*) شد ولی میزان کلروفیل b و کارتونوئید افزایش یافت. سرینواسلو و همکاران بیان نمودند که کاهش میزان کلروفیل در شرایط بروز تنش خشکی شدید بسیار قابل توجه بود. و دلیل آن را افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز دانستند (Sreenivasulu et al., 2012). همچنین زیگائوی و همکاران، نیز نشان دادند که با افزایش شدت خشکی، به همان نسبت نیز از میزان کلروفیل کاسته شد. بر پایه نتایج بدست آمده، کاهش تجمع ۵- آمینو لوولیپیک اسید که به‌عنوان یک پیش‌ساز که با قرا گرفتن در معرض نور پروتوکلروفیلید را به کلروفیل تبدیل می‌کند، باعث کاهش سنتز کلروفیل شد (Zegaoui et al., 2017). نتایج مطالعه اسماعیل‌پور و همکاران (۱۴۰۴)، بر روی گیاه ریحان در شرایط تنش کم‌آبی حاکی از آن بود که صفات بیوشیمیایی شامل کلروفیل a و کلروفیل b کاهش یافت.

خرفه تحت تأثیر سطوح تنش خشکی و غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم دچار تغییرات قابل توجه و محسوس شد. بر اساس نتایج به دست آمده، اثر برهمکنش سیلیکات پتاسیم و تنش خشکی بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی معنی‌دار نبود (جدول ۶).

جدول ۶ - نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و سیلیکات پتاسیم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی خرفه

میانگین مربعات		درجه آزادی		منبع تغییرات
فلانونوئید	فنل	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	df	S.O.V
۵/۷۱۹۴ **	۳۳/۶۲۸۹ **	۰/۳۲۴۱ **	۵	تنش خشکی
۰/۷۰۷۲ **	۹/۱۸۸۷ **	۰/۱۳۳۴ **	۲	سیلیکات پتاسیم
۰/۰۱۴۲۲ ns	۱/۰۹۶۹ ns	۰/۰۰۹۱ ns	۱۰	تنش × سیلیکات پتاسیم
۰/۰۶۶۳	۰/۹۹۵۶	۰/۰۱	۵۴	خطا
-	-	-	۷۱	کل
۶/۵	۷/۰۲	۱۰/۴	-	ضریب تغییرات

\*\*، \* و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطوح ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند (دانکن،  $P \leq 0.05$ ).

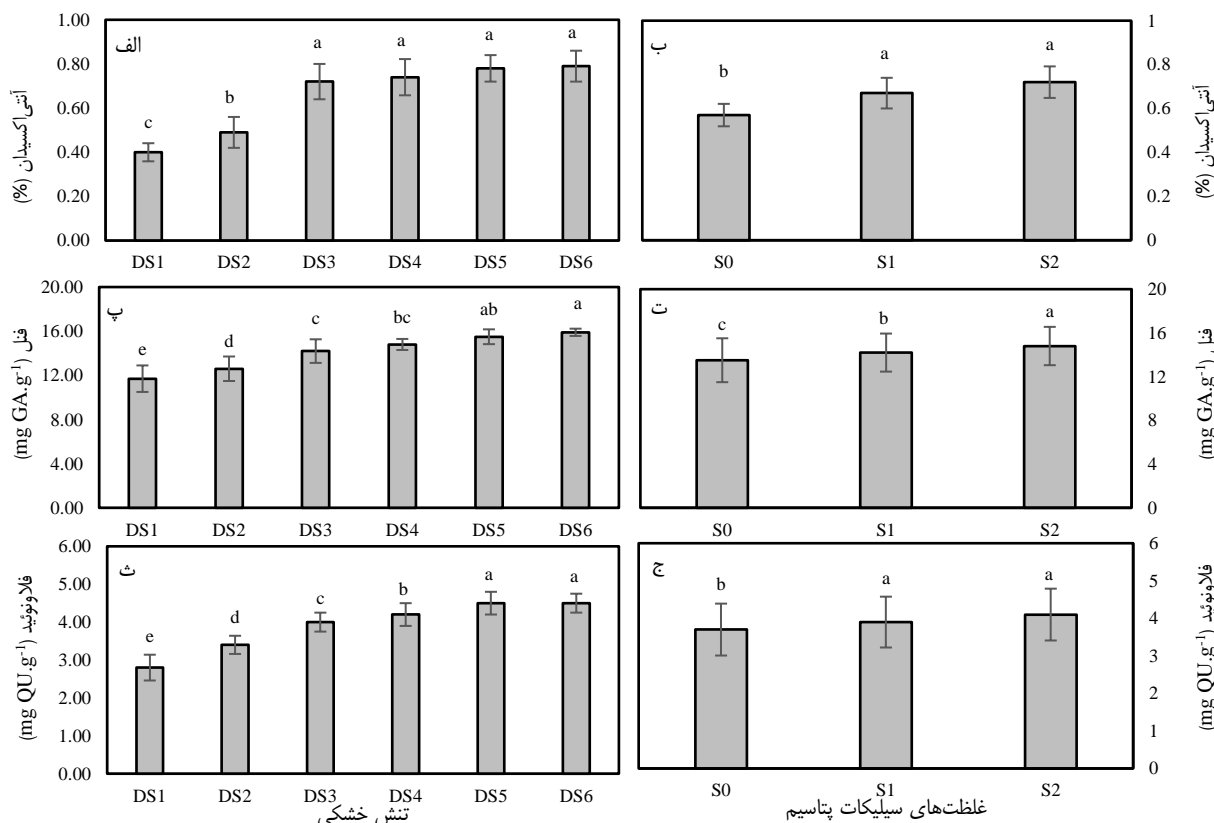
آن، در تیمار شاهد با ۳/۷ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم مشاهده شد (شکل ۳-ج).

ترکیبات فنلی که دارای واحدهای OH یا  $OCH_3$  می‌باشند، گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه هستند که می‌توان آن‌ها را به‌وفور بافت‌های گیاهی مشاهده کرد. این ترکیبات دارای نقش‌های متعددی و فیزیولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند نقش‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی می‌باشند (Lin et al., 2016). بسیاری از ترکیبات فنلی که به میزان قابل توجهی بیشتر در گونه‌های گیاهان خانواده نعناعیان قابل مشاهده هستند، از فنیل آلانین مشتق می‌شوند که دارای منشأ گیاهی بوده و نقش بسیار حائز اهمیتی را در تغذیه جوامع انسانی ایفا می‌کنند. دسته مهمی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در گیاهان را تشکیل می‌دهند و به‌طور مستقیم به خاصیت آنتی‌اکسیدانی گیاه کمک می‌کنند (امامی بیستگانی و همکاران، ۱۴۰۰). جیانگو و همکاران، بیان نمودند که هنگامی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، مقدار زیادی از گونه‌های فعال اکسیژن مانند رادیکال هیدروکسیل ( $OH^\cdot$ ) و پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) و رادیکال سوپر اکسید ( $O_2^-$ ) تولید می‌شود، چرا که در شرایط تنش کمبود آب، روزنه‌ها در گیاه بسته می‌شوند و به دنبال آن غلظت دی‌اکسید کربن در بافت مزوفیل دچار کاهش محسوس شده و اختلال در واکنش‌های تاریکی فتوسنتز را در پی خواهد داشت و در نهایت، باعث عدم مصرف فرآورده‌های حاصل از محصولات حاصل از واکنش‌های روشنایی می‌شود (Jianguo

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای تنش متوسط  $DS_3$  و  $DS_4$  و تنش شدید  $DS_5$  و  $DS_6$  به ترتیب با ۰/۷۲، ۰/۷۴، ۰/۷۸ و ۰/۷۹ درصد مشاهده شد. در حالیکه کمترین آن، مربوط به تیمارهای تنش کم  $DS_1$  و  $DS_2$  به ترتیب با ۰/۴۰ و ۰/۴۹ درصد بود (شکل ۳-الف). همچنین براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای سیلیکات پتاسیم  $S_1$  و  $S_2$  به ترتیب با ۰/۶۷ و ۰/۷۲ درصد مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین میزان آن، مربوط به تیمار شاهد با ۰/۵۷ درصد بود (شکل ۳-ب). بر پایه یافته‌ها، بیشترین میزان فنل کل در تیمار تنش شدید  $DS_6$  با ۱۵/۹ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم مشاهده شد؛ و کمترین میزان آن، مربوط به تیمار تنش کم  $DS_1$  با ۱۱/۷۰ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم بود (شکل ۳-پ). همچنین بر پایه نتایج به دست آمده، بیشترین میزان فنل کل مربوط به تیمار  $S_2$  با ۱۴/۸ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم و کمترین آن، در تیمار شاهد با ۱۳/۵ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم مشاهده شد (شکل ۳-ت). همچنین بیشترین میزان میانگین فلاونونوئید مربوط به تیمارهای تنش خشکی شدید  $DS_5$  و  $DS_6$  به ترتیب با ۴/۵ و ۴/۵ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بود؛ و کمترین آن در تیمار تنش کم  $DS_1$  با ۲/۸۰ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم مشاهده شد (شکل ۳-ث). همچنین بر پایه نتایج بدست آمده، بیشترین میزان فلاونونوئید کل مربوط به تیمار  $S_1$  و  $S_2$  به ترتیب با ۳/۹ و ۴/۱ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بود و کمترین

ژنی و گسترش تومورهای سرطانی دارد. به‌طورکلی، مقدار فلاونوئیدها در شرایط تنش‌های محیطی افزایش یافته و در محافظت گیاه در برابر این تنش‌ها نقش دارد (Raffa et al., 2017).

(et al., 2018). فلاونوئیدها از آنتی‌اکسیدان‌های قوی هستند که اثرات مهمی را در بیولوژی سلولی دارند. از این اثرات مهم جمع-آوری گونه‌های واکنشگر است که علاوه بر آسیب به سلول‌ها، در گسترش تومورهای سرطانی نقش بسزائی دارند. رافا و همکاران، نشان دادند که این ماده نقش مهمی در جلوگیری از جهش‌های



شکل ۳- بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی (الف، پ و ت) و غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم (ب، ت و ج) بر فعالیت آنتی-اکسیدانی، محتوای فنل و فلاونوئید گیاه خرفه

را تضعیف می‌نماید و در نهایت منجر به کاهش وزن دانه خواهد شد (Du et al., 2020). بحرالعلومی و همکاران (۱۳۹۸)، نشان دادند که در شرایط بروز تنش خشکی ملایم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت و پیامد آن، کاهش آسیب گونه‌های فعال اکسیژن بود که نقش حفاظتی بسیار مؤثری در مراحل فتوسنتزی گیاه را بازی می‌کند. سارکر و اوبا، گزارش کردند که در شرایط بروز تنش خشکی میزان ترکیبات فنلی، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه تاج‌خروس را تحت تأثیر قرار داده و در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید، میزان آن‌ها افزایش یافت (Sarker

یافته‌های پوئنت گارزا و همکاران (۲۰۱۷) حاکی از آن بود که تحت شرایط تنش خشکی محتوای فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی گیاه ریحان افزایش یافت؛ که دلیل افزایش در این ترکیبات را نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در مقابل گونه‌های واکنشگر اکسیژن بیان نمودند. امامی بیستگانی و همکاران (۱۴۰۰) گزارش نمودند که گیاهان ظرفیت خود را برای بیسوتنز ترکیبات فنلی در پاسخ به تنش و تغییرات زیست‌محیطی، افزایش می‌دهند. دو و همکاران، گزارش کردند که تنش خشکی به‌ویژه در بلندمدت، تخصیص زیست‌توده به اندام‌های زایشی را کاهش و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

بر پایه یافته‌ها، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل و فلاونوئید گیاه خرفه در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید نسبت به سطوح تنش خشکی کم، مؤید آن بود که متناسب با افزایش میزان تنش در گیاه خرفه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل و فلاونوئید گیاه خرفه به‌ویژه در تیمارهای سیلیکات پتاسیم در غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار افزایش یافت؛ بنابراین کاربرد سیلیکات پتاسیم به‌ویژه با غلظت ۲ میلی‌مولار، می‌تواند تا حدی اثرات نامطلوب تنش خشکی را تعدیل نماید. لذا کاربرد سیلیکات پتاسیم در سطوح تنش خشکی کم در کشت گیاه خرفه، می‌تواند راهکاری عملی و قابل توصیه در جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه خرفه باشد.

### منابع

اسماعیل‌پور، ب.، مرادی، م.، علیپور، س. و ترابی، م. ۱۴۰۴. تأثیر سلنیوم بر رشد، فیزیولوژی و متابولیت‌های ثانویه گیاه ریحان در شرایط تنش کم‌آبی. دانش کشاورزی و تولید پایدار. انتشار آن‌لاین.

امامی بیستگانی، ز. و بخشنده، ا. ۱۴۰۰. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان دارویی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش و ترویج کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی، ۴۴۴ صفحه.

اورعی، ع.، شور، م.، مروی، آ.، ابراهیمی، س.، عمرانی، ف.، حسین زاده، ر.، شریعتی، پ. و شکوری‌فر، ف. ۱۴۰۲. تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر رشد و نمو همیشه‌بهار در شرایط تنش کم‌آبی. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۱۲ (۵۶): ۳۲۵-۳۴۱

بحرالعلوم، س. م. ج.، رائینی سرجاز، م. و پیردشتی، ه. ۱۳۹۸. تأثیر تنش خشکی بر فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی، مقادیر مالون دی‌آلدئید، پروتئین محلول و نیتروژن کل برگ سویا (*Glycine max L.*). تنش‌های محیطی در علوم زراعی.

۱۲(۱): ۱۷-۲۸.

پورمیدانی، ع.، باقری، ح. و توکلی‌نکو، ح. ۱۴۰۳. اثر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و ترکیبات اسانس سه

(and Oba, 2018). فرجی و همکاران (۱۳۹۸)، بیان نمودند که تیمار تنش خشکی ملایم به‌عنوان سطح متعادلی از تنش در راستای دستیابی به سطح قابل‌پذیرش از متابولیت‌های ثانویه و عملکرد میوه در منطقه ساوه معرفی می‌شود. قربانی و سلطانی (۱۳۹۳)، بیان کردند که میزان آنتوسیانین، ترکیبات فنلی و پرولین گیاه دارویی کتان (*Linum usitatissimum L.*) با افزایش تنش خشکی افزایش یافت. همچنین میزان فلاونوئید در شرایط تنش خشکی ۲/۳ FC و ۱/۳ FC ابتدا افزایش و بعد کمی کاهش یافت، اما به‌هرحال در مقایسه با تیمار شاهد (شرایط FC) میزان فلاونوئید افزایش یافت. هم‌سنجی نتایج پژوهش حاضر با نتایج مذکور، کاملاً همسو بود. نتایج شیخی و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که در شرایط ایجاد کم‌ترین تنش، میزان محتوای فلاونوئید، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان به‌ترتیب با کاهش ۶۳/۳، ۳۲/۸، ۴۰/۷، ۴۵/۸، ۴۶/۳، ۵۵/۵ و ۹/۸ درصدی نسبت به شرایط تنش شدید خشکی، روبه‌رو شد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به وقوع تنش خشکی در طول دوره رشد و نمو گیاه خرفه، کمبود منابع آب و چالش کم‌آبی در طی سالیان اخیر که ناشی از تغییر در الگوهای بارش و عدم توزیع یکنواخت بارندگی در منطقه مورد مطالعه است، لزوم ارزیابی پاسخ گیاهان به‌ویژه گیاهان دارویی نظیر خرفه بسیار ضروری به نظر می‌رسد. بر پایه یافته‌ها، با افزایش شدت تنش خشکی، صفات مورفولوژیک و رویشی گیاه خرفه دستخوش کاهش محسوسی شد. به‌طوری‌که بیشترین میانگین ارتفاع، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی و محتوای نسبی آب برگ گیاه خرفه در تیمارهای سطوح تنش خشکی کم  $DS_1$  و  $DS_2$  مشاهده شد و با افزایش شدت تنش، میزان آن‌ها کاهش قابل‌توجهی یافت. همچنین نتایج گویای آن بود که افزایش شدت تنش خشکی، باعث کاهش فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم در غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار تا حدی اثرات نامطلوب تنش خشکی را در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد سیلیکات پتاسیم) جبران نمود.

شیوخی سوغانلو، س.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و قاسمی، ی. ۱۴۰۱. تأثیر تنش آبی و پساب شهری بر غلظت فلزات سنگین، عملکرد و ویژگی‌های کیفی ریحان. علوم باغبانی. ۳(۳): ۷۲۳-۷۳۹

عزیزیان، ر. و عبدالهی مندولکانی، ب. ۱۳۹۷. تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیتوشیمیایی و بیوشیمیایی گیاه دارویی شیرتیغک وحشی (*Sonchus arvensis* L.). پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۱۵(۴۷): ۴۱-۵۵

فاطمی، ح.، عزیزی، م. و روانبخش، م. ح. ۱۴۰۲. بررسی تأثیر خشکی بر رشد، خواص کیفی و عناصر در گیاه ریحان آفریقایی. دو فصلنامه علوم سبزی‌ها. ۹(۱۷): ۱۶۹-۱۷۸  
فخرآبادی، ح. و خوش‌سیمای‌چنار، م. ۱۴۰۰. اثر کم‌آبیاری و بیوپار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵(۴): ۹۵۴-۹۶۱

فرجی، س.، حدادی‌نژاد، م.، عبدوسی، و.، بساکی، ط. و کرمی، ث. ۱۳۹۸. اثر تنش خشکی بر محتوی فنل، فلاونوئید و سیانیدین-۳-گلوکوزاید آب‌میوه و عملکرد میوه در ژنوتیپ‌های بومی انار (*Punica granatum* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۵(۶): ۹۰۱-۸۸۹

قائمی، م.، زارع، ز. و نصیری، ی. ۱۳۹۷. اثر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و میزان تولید اسانس در گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در مراحل مختلف رشد و نمو. زیست‌شناسی تکوینی. ۱۱(۱): ۱۵-۲۶

قربانی، خ. و سلطانی، ا. ۱۳۹۳. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا در منطقه گرگان. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۱(۲): ۶۷ - ۸۵

مالمیر، ر.، متشرعزاده، ب.، تبریزی، ل. و بخردی، ف. ۱۳۹۹. تأثیر منابع مختلف سیلیسیم و نانو سیلیسیم بر برخی پاسخ‌های مورفو فیزیولوژیکی گیاه استویا. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱(۲): ۲۸۱-۲۹۵

گونه آویشن. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران). انتشار آنلاین.

جلیل زاده، ا.، جبارزاده، ز. و نوروزی، پ. ۱۳۹۷. تأثیر محلول‌پاشی با منابع و غلظت‌های مختلف سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه رز رقم پورلی واتسون. روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای). ۹(۳): ۶۵-۷۷

حاجی پور، ه.، جبارزاده، ز. و رسولی‌صدقیانی، م. ح. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های رشدی، بیوشیمیایی، زایشی و میزان عناصر برگ گل داوودی (*Dendranthema × grandiflorum* cv. Fellbacher Wein). روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای). ۱۰(۱): ۲۹-۴۶

خراسانی‌نژاد س.، بهشتی، ف.، داوریان، ف. و کیخا، ح. ۱۴۰۲. اثر محلول‌پاشی سیلیسیم بر اجزای عملکرد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) در بسترهای کشت مختلف. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۱۲(۵۷): ۹۱-۱۰۸

سعیدی‌نیا، م.، حسینیان، س. ح. و بیرانوند، ف. ۱۳۹۸. اثر تنش آبی بر میزان تبخیر و تعرق، اسانس و برخی صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی مرزه. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰(۸): ۲۰۶۳-۲۰۷۲

شمس‌آبادی، و.، بانژاد، ح.، انصاری، ح. و نعمتی، س. ح. ۱۴۰۲. بررسی تأثیر کاربرد تنش خشکی و شوری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر نعنای فلفلی (*Mentha Piperita*) L در شرایط سلنیوم. مدیریت آب در کشاورزی. ۱۰(۱): ۹۵-۱۱۰

شیوخی سوغانلو، س.، غلامی سفیدکوهی، م. ع. و عارف‌راد، م. ۱۴۰۳. ارزیابی تأثیر تنش خشکی و مدیریت آبیاری بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن خاک، بهره‌وری آب و عملکرد سویا (*Glycine max* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۲۲(۳): ۳۴۳-۳۵۷

- Ebrahimzadeh, M. A., Hosseinimehr, S. J., Hamidinia, A. and Jafari, M. 2008. Antioxidant and free radical scavenging activity of Feijoa sallowiana fruits peel and leaves. *Pharmacologyonline*. 1: 7-14.
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A. and Huang, J. 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in plant science*. 8: 1147.
- Forieri, I., Hildebrandt, U. and Rostás, M. 2016. Salinity stress effects on direct and indirect defense metabolites in maize. *Environ. Experimental Botany*. 122: 68-77.
- Ghasemi, K., Ghasemi, Y. and Ebrahimzadeh, M. A. 2008. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pakistan Journal of Pharm. Science*. 22: 3. 277-281.
- Iqbal, M. S., Singh, A. K. and Ansari, M. I. 2020. Effect of drought stress on crop production. *New frontiers in stress management for durable agriculture*. 35-47.
- Jiang, A., McBean, E. and Wang, Y. 2024. Sustainable Environments Require Sustainable Water—A Review of Some Challenging Issues of Water for Urban Regions. doi: 10.20944/preprints202401.1982.v1
- Jianguo, Q.L., Simin, S., Lin, Y., Mingjun, L. I., Fengwang, M. A and Yangjun, ZOU. 2018. Potassium uptake and transport in apple roots under drought stress. *Horticultural Plants Journal*.
- Jin, T. Y., Li, S. Q., Jin, C. R., Shan, H., Wang, R. M., Zhou, M. X. and Xiang, L. 2018. Catecholic isoquinolines from *Portulaca oleracea* and their anti-inflammatory and  $\beta$ 2-adrenergic receptor agonist activity. *Journal of natural products*. 81(4): 768-777.
- Lin, D., Xiao, M., Zhao, J., Li, Z., Xing, B., Li, X., Kong, M., Li, L., Zhang, Q., Liu, Y., Chen, H., Qin, W., Wu, H. and Chen, S. 2016. An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes Molecules. 21: 1374.
- Ma, Y., Bao, Y., Zhang, W., Ying, X. and Stien, D. 2020. Four lignans from *Portulaca oleracea* L. مرشدلو، م.ر.، سلامی، ع.، ناظری، و. و کریکر، ل. ۱۳۹۴. ارزیابی فیتوشیمیایی، فیزیولوژیکی و بیان برخی ژن‌های دخیل در مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) تحت شرایط تنش کم‌آبی. پایان-نامه دکتری دانشگاه تهران. ۳۰۰ صفحه.
- ملک‌پور، ف.، سلیمی، ا. و قاسمی‌پیر بلوطی، ع. ۱۳۹۴. اثر الیسیتورهای کیتوزان و جاسمونات بر خصوصیات فیزیولوژیکی، فیتوشیمیایی و بیان ژن چاویکول -O-متیل ترانسفراز در ریحان ایرانی تحت تنش خشکی. پایان‌نامه دکتری فیزیولوژی گیاهی. دانشگاه خوارزمی تهران، ۲۷۲ صفحه.
- مهرگان، ب.، موسوی‌فرد، ص. و رضایی‌نژاد، ع. ۱۳۹۷. تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آلترنانتر تحت تنش خشکی. به زراعی کشاورزی. ۲۰(۱): ۳۱۴-۲۹۹
- نوری، م.، فرزانه، س.، شریفی، س.ر. و شهریاری، ع. ر. ۱۴۰۱. ارزیابی عملکرد کمی و کیفی خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تأثیر ورمی‌کمپوست، کودهای شیمیایی و نانو در شرایط اقلیمی مختلف. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲(۳۲): ۴۷-۶۷
- Basal, O. and Szabó, A. 2020. Physiology, yield and quality of soybean as affected by drought stress, *Asian Journal of Agriculture and Biology*. 8: 247-252.
- Carter, A. G. and Knapp, K. A. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany*. 88(4): 677-684.
- Devnarain, N., Crampton, B.G., Chikwamba, R., Becker, J.V.W. and O'Kennedy, M. M. 2016. Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and rewatering. *South African Journal of Botany*. 103: 61-69.
- Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., and Xie, F. 2020. Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. *Agronomy*. 10(2):1-21.

- of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of 'Katahdin'-derived potato cultivars. *Breeding science*. 66(2): 328-331.
- Sreenivasulu, N., Harshavardhan, V. T., Govind, G., Seiler, C. and Kohli, A. 2012. Contrapuntal role of ABA: Does it mediate stress tolerance or plant growth retardation under long-term drought stress? *Gene*. 506: 265-27.
- Teles, G. C., Medici, L. O., Valença, D. D. C., Cruz, E. S. D. and Carvalho, D. F. D. 2023. Morphophysiological changes in black pepper under different water supplies. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 45: e59460.
- Wang, X., Wu, Z., Zhou, Q., Wang, X., Song, S. and Dong, S. 2022. Physiological Response of Soybean Plants to Water Deficit. *Frontiers in Plant Science*. 12:809692.
- Yang, B., Liu, H., Yang, J., Gupta, V. K. and Jiang, Y. 2018. New insights on bioactivities and biosynthesis of flavonoid glycosides. *Trends in food science and technology*. 79: 116-124.
- Zegaoui, Z., Planchais, S., Cabassa, C., Djebba, R., Belbachir, O. A. and Carol, P. 2017. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought *Journal of Plant Physiology*. 218: 26-34.
- Zhang, S., Xu, X. F., Sun, Y. M., Zhang, L. and Zhou, C. 2018. Influence of drought haedening on the resistance physiology of potato seedling under drought stress. *Journal of Integrative Agriculture*. 17: 336-347.
- and its antioxidant activities. *Natural product research*. 34(16): 2276-2282.
- Montoya-García, C. O., Volke-Haller, V. H., Trinidad-Santos, A. and Villanueva-Verduzco, C. 2018. Change in the contents of fatty acids and antioxidant capacity of purslane in relation to fertilization. *Scientia Horticulturae*. 234: 152-159.
- Nabavi, S.M., Ebrahimzadeh, M. A., Nabavi, S. F., Hamidinia, A. and Bekhradnia A. R. 2008. Determination of antioxidant activity, phenol and flavonoids content of *Parrotia persica* Mey. *Pharmacology online*. 2: 560-567.
- Nakata, Y., Ueno, M., Kihara, J., Ichii, M., Taketa, S. and Arase, S. 2008. Rice blast disease and susceptibility to pests in a silicon uptake deficient mutant. *Crop Protection*. 27: 865-868.
- Pant, P., Pandey, S. and Dall'Acqua, S. 2021. The influence of environmental conditions on secondary metabolites in medicinal plants: A literature review. *Chemistry and Biodiversity*. 18(11): e2100345
- Raffa, D., Maggio, B., Raimondi, V., Plescia, F. and Daidone, G. 2017. Recent discoveries of anticancer flavonoids. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 142: 213-228.
- Rai, A. C. and Rai, K. K. 2020. Drought stress and its mitigation and management strategies in crop plants. *Sustainable Agriculture in the Era of Climate Change*. 4: 143-168.
- Sarker, U. and Oba, S. 2018. Drought Stress Enhances Nutritional and Bioactive Compounds, Phenolic Acids and Antioxidant Capacity of Amaranthus Leafy Vegetable. *BMC Plant Biology*. 18: 258. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1484-1>
- Soltys-Kalina, D., Plich, J., Strzelczyk-Żyta, D., Śliwka, J. and Marczewski, W. 2016. The effect

## Evaluation of the Effect of Potassium Silicate Application on the Quantitative and Qualitative Yield of Purslane (*Portulaca oleracea L.*) under Drought Stress

P. Asadi<sup>1</sup>, H. Moradi<sup>2</sup> and S. Shiukhy-Soqanloo<sup>\*3</sup>

### Abstract

In order to investigate the effect of potassium silicate application on the quantitative and qualitative yield of purslane under drought stress conditions, a factorial experiment based on a completely randomized design (CRD) was conducted at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Mazandaran, Iran. Experimental treatments included drought stress at six levels comprising mild stress (DS<sub>1</sub>: 12hr (125ml), DS<sub>2</sub>: 24hr (250ml)), moderate stress (DS<sub>3</sub>: 48hr (250ml), DS<sub>4</sub>: 72hr (500ml)) and severe stress (DS<sub>5</sub>: 72hr (250ml), DS<sub>6</sub>: 48hr (125ml)) and potassium silicate at three levels (S<sub>0</sub>: Control, S<sub>1</sub>: 1 mM, S<sub>2</sub>: 2 mM), with four replications. The results showed that increasing drought stress intensity caused a significant reduction in plant height, fresh and dry weights of roots and shoots. However, this reduction was alleviated in treatments S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub>. The highest water productivity was observed in DS<sub>1</sub> by 71.9, while the lowest values were recorded in DS<sub>5</sub> and DS<sub>6</sub>, with 70.2 and 69.9 kg m<sup>-3</sup>, respectively. In addition, treatments S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub> showed a noticeable superiority of 0.030 and 0.031, respectively, compared with the control. The highest antioxidant activity was observed under moderate and severe drought stress, whereas the lowest activity was recorded in DS<sub>2</sub> and DS<sub>1</sub> treatments. Moreover, compared with the control, S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub> treatments resulted in higher antioxidant activity, total phenolic content, and fruit flavonoid content. Overall, the application of potassium silicate, particularly at a concentration of 2 mM, can partially mitigate the adverse effects of different levels of drought stress.

**Keywords:** Antioxidant, Drought Stress, Morphologic traits, Photosynthetic Pigments, Water Productivity

<sup>1</sup> Graduated in Horticultural Science and Engineering - Medicinal Plants, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agronomy Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Mazandaran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agronomy Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Mazandaran, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor of Agro-Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Mazandaran, Iran (\*Corresponding Author Email: Saeid.Shiukhy@gmail.com)

Received: 27 Feb 2025

Accepted: 22 Apr 2025