

## **Effect of Selenium and Silicon Foliar Spraying on Some Physiological Traits and Yield Parameters of *Origanum vulgare* L. under Drought Stress**

S.R. Mahdavi<sup>1</sup>, K. Kamali Aliabad<sup>2\*</sup>, H. Sodaeizadeh<sup>2</sup>, F. Dehghani<sup>4</sup>

1. Ph.D. Candidate, Combating Desertification, Department of Arid Land and Desert Management, Faculty of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
  2. Associate professor, Department of Arid Land and Desert Management, Faculty of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.
  3. Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.
- \* Corresponding Author: [kkamali@yazd.ac.ir](mailto:kkamali@yazd.ac.ir)

Received date: 25/08/2021

Accepted date: 26/10/2021

 [10.22034/JDMAL.2021.537458.1346](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.537458.1346)

### **Abstract**

Selenium (Se) and silicon (Si) are identified to affect plant physiological attributes and yield parameters. Se and Si's effective roles in reducing various environmental stresses in plant of *Origanum vulgare* L. are unknown and need to be investigated. This study aimed to examine the role of Si and Se application on *O. vulgare* under drought stress and the effect of these two elements on physiological traits and yield parameters of *O. vulgare*. The impact of the foliar spraying of Se and Si under drought stress conditions was studied through a split factorial experiment with three replications in greenhouse conditions at the Yazd University. Drought, as the first factor in three stress levels of 30, 70 and 100% of field capacity, and nutrient factors including Se in three levels of control, 15 and 30 mg/l, and Si in three levels of control, 150 and 300 mg/l were sprayed. Foliar spraying of Se 30 mg/l had a significant effect on the increase in proline, soluble sugar, chlorophyll, carotenoids, phenolics compounds, and fresh and dry shoot weights. The foliar spraying of Si 150 mg/l had a significant effect on the increase in proline compared to the control traits. The change in foliar spray quantity of Si has no significant impact on changes in yield parameters. The combined foliar spraying of Se and Si to reduce the effects of drought stress has been more effective than applying just one of these elements in improving the physiological attributes of *O. vulgare*. The solution of 30 mg/l Se and 15 mg/l Si has a higher yield under drought stress conditions of 70% of the field capacity.

**Keywords:** Shoot; Environmental stress; Proline; Nutrient factor; Field capacity





## تأثیر محلول پاشی سلنیوم و سیلیسیوم بر برخی صفات‌های فیزیولوژیک و عملکردی گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare L.*) در شرایط تنش خشکی

سیدرضا مهدوی اردکانی<sup>۱</sup>، کاظم کمالی علی‌آباد<sup>۲\*</sup>، حمید سودایی‌زاده<sup>۳</sup>، فرهاد دهقانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۳. استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

\* نویسنده مسئول: [kkamali@yazd.ac.ir](mailto:kkamali@yazd.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۴

doi [10.22034/JDMAL.2021.537458.1346](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.537458.1346)

### چکیده

سلنیم (Se) و سیلیکون (Si) از عناصر تأثیرگذار بر روی ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکردی گیاه هستند. نقش مؤثر Se و Si بر کاهش تأثیر تنش‌های محیطی بر روی گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare L.*) ناشناخته و نیاز به بررسی دارد. هدف از پژوهش حاضر بررسی نقش Si و Se بر روی گیاه مرزنجوش در شرایط تنش خشکی و نحوه تأثیر این دو عنصر بر روی صفات‌های فیزیولوژیک و عملکردی گیاه بود. تأثیر محلول پاشی Se و Si تحت شرایط تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه مرزنجوش به صورت آزمایش طرح کرت‌های خرد شده با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای در دانشگاه یزد بررسی شد. خشکی به عنوان عامل اول در سه سطح تنش ۳۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، عامل تغذیه‌ای شامل عنصر Se در سه سطح شاهد، ۱۵ mg/l و ۳۰ mg/l، و Si در سه سطح شاهد، ۱۵۰ mg/l و ۳۰۰ mg/l به صورت محلول پاشی بررسی شد. محلول پاشی Se به مقدار ۳۰ mg/l تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان پرولین، قند محلول، کلروفیل، کارتنوئید، ترکیبات فنلی و وزن تر و خشک اندام هوایی داشت. محلول پاشی Si به مقدار ۱۵۰ mg/l تأثیر معنی‌داری بر افزایش مقدار پرولین نسبت به نمونه شاهد داشت. با این وجود تغییر در مقدار محلول پاشی Si تأثیر معنی‌داری را در تغییر عملکرد نشان نداد. محلول پاشی توأم Se و Si برای کاهش تأثیرهای تنش خشکی اثربخشی بیشتری را در بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک مرزنجوش نسبت به کاربرد هر یک از این عناصر به تنهایی داشت. استفاده از محلول Se ۳۰ mg/l و Si ۱۵۰ mg/l کارایی بهتری را تحت شرایط تنش خشکی ۷۰٪ ظرفیت زراعی دارد.

**واژگان کلیدی:** اندام هوایی؛ تنش محیطی؛ پرولین؛ عوامل تغذیه‌ای؛ ظرفیت زراعی



## ■ مقدمه

گیاهان دارویی منبعی غنی از مواد مؤثره اساسی برای ساخت بسیاری از داروها هستند. ساخت این مواد با هدایت فرایندهای ژنتیکی تحت تأثیر عوامل محیطی انجام می‌گیرد. با این وجود، کیفیت و مقدار متابولیت‌های یک گیاه با توجه به نوع رویشگاه در مناطق مختلف و عوامل تنش‌های محیطی، متفاوت است (۶). در بیشتر موارد، عوامل محیطی ابتدا بر روی متابولیسم اولیه گیاه تأثیر می‌گذارند و بعد از آن متابولیسم ثانویه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این تأثیرها به صورت تغییر در تناسب اندام‌های گیاهی، عملکرد متابولیت‌ها در واحد وزن خشک و نسبت اجزای متابولیت‌های ثانویه در گیاه نشان داده می‌شود (۱۸، ۴۱). خشکی دومین عامل محیطی تنش‌زا و محدود کننده اصلی کاهش عملکرد گیاهان بعد از عوامل بیماری‌زا است (۲۳، ۳۴). به‌طور کلی گیاهان به وسیله راهکارهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک تکامل پیدا کرده‌اند تا بتوانند تنش خشکی را تحمل کنند (۱۱). تغییر صفت‌های از مهم‌ترین سازوکارهای سازگاری گیاه به شرایط تنش خشکی است (۴۰) که با القای پاسخ‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک، سازگاری گیاه را به شرایط جدید امکان‌پذیر می‌سازد (۵۸).

گیاه مرزنجوش *Origanum vulgare* L. از خانواده نعنائیان<sup>۱</sup> گیاهی چندساله، با میانگین ارتفاع ۱۰۰ cm، پوشیده از کرک‌های خوابیده و یا کرک‌های زیر خارمانند و یا کم و بیش بدون کرک است. شاخه‌های آن دو تا سه بار منشعب شده است. برگ‌های آن دم‌برگدار است. پهنک تخم‌مرغی، بیضوی و یا تقریباً دایره‌ای با نوک تیز یا نوک گرد مشاهده می‌شود، که پوشیده از غده‌های ترشحی بدون پایک و یا بدون غده است. گل‌آذین *O. Vulgare* سنبله‌ای، افراشته و به طول ۳ تا ۳۰ mm و عرض ۲ تا ۸ mm است، و جام گل قرمز تا ارغوانی است (۳۲، ۴۴). زمان گل‌دهی این گیاه در بهار و تابستان و رویشگاه آن در منطقه خزری و جنگل‌های خشک، مناطق جنگلی، حاشیه جنگل و حاشیه مزارع و در منطقه ایرانی تورانی، دامنه‌های صخره‌ای است (۳۲). اندام هوایی گیاه دارای بوی معطر، طعم نافذ و

پسندیده و با احساس گرما همراه است. در عهد باستان، مرزنجوش به عنوان ادویه مهم و گیاهی اهلی و با ارزش به ویژه در مشرق زمین استفاده می‌شده است (۲، ۹، ۲۷، ۴۹، ۶۲). از نظر پراکنش جغرافیایی *O. vulgare* کشورهای ایران، ترکیه، اروپا، غرب، شرق و مرکز آسیا و تایوان رویشگاه این گیاه است (۳۲). جنس *Origanum* در ایران دارای سه گونه مستقل است که به تازگی آن‌ها را به‌عنوان زیر گونه‌های *O. vulgar* نوشته‌اند (۲۲). نواحی شمال، شمال‌غرب، شمال‌شرق، شرق و غرب رویشگاه *O. vulgare* در ایران معرفی شده است (۳۲). با وجود رشد گونه مرزنجوش در ایران، وجود آب کافی در طی دوره رشد گیاه یکی از عوامل محدودکننده در کاشت آن به حساب می‌آید. به‌طوری‌که این موضوع می‌تواند به طور معنی‌داری عملکرد، درصد اسانس و ماده خشک را تحت تأثیر قرار دهد (۴).

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که برخی از عناصر این قابلیت را دارند که قدرت تحمل گیاه را به تنش‌های محیطی افزایش دهند. به عنوان مثال Si دومین عنصر از لحاظ فراوانی در سطح کره زمین است که مقدار آن بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ mmol/m<sup>3</sup> است. این عنصر، در گروه عناصر اساسی برای گیاه محسوب نمی‌شود و نقش آن در زیست‌شناسی گیاهان به‌طور کامل درک نشده و ناشناخته است. با این وجود، Si در فرم‌های مختلف مانند Si(OH)<sub>4</sub> توسط گیاه به‌طور مستقیم جذب می‌شود.

با از دست دادن آب از طریق تعرق در اندام‌هوایی، وجود Si در گیاه، موجب ایجاد H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> غلیظ شده و تبدیل به فرم ژل سیلیس (SiO<sub>2</sub> nH<sub>2</sub>O) می‌شود، و به این صورت گیاه قادر به تحمل تنش خشکی می‌شود (۳۵). گزارش‌های متعددی در مورد کاهش اثرات تنش‌های مختلف مانند سمیت فلزات سنگین، خشکی، شوری با تغذیه Si مناسب وجود دارد. اگرچه Si به‌عنوان عنصری ضروری برای رشد بیشتر گیاهان معرفی نشده است، اما اثرات سودمندی برای رشد و نمو گیاه (۱۶) همچون، تعدیل تأثیر مضر آلومینیوم و سمیت منگنز (۲۸) بهبود کارایی مصرف آب (۳۰) و افزایش تحمل شوری (۳۸) دارد.

علی‌رغم اهمیت و جایگاه گیاه مرزنجوش وحشی به- عنوان گیاه دارویی در ایران، بررسی‌های اندکی در ارتباط با تأثیرهای زیست‌شناختی و فارماکولوژیک این گیاه، و همچنین واکنش آن به شرایط تنش‌های محیطی در مواجهه با تغذیه با دو عنصر Si و Se، انجام شده است. با توجه به اینکه، بررسی واکنش‌های رشدی این گیاه در پاسخ به عناصر Si و Se در شرایط تنش خشکی ضروری به نظر می‌رسد، هدف از پژوهش حاضر بررسی نقش عناصر Si و Se بر روی گیاه دارویی مرزنجوش *O. vulgare* در شرایط تنش خشکی، بر روی عملکرد گیاه است.

### ■ مواد و روش‌ها

تأثیر محلول پاشی Se و Si بر پارامترهای عملکردی نظیر وزن تر و وزن خشک و برخی صفات فیزیولوژیک شامل پرولین ساقه، قندهای محلول، کلروفیل کارتنوئید و ترکیبات فنلی گیاه دارویی مرزنجوش تحت تنش خشکی، از طریق آزمایشی به صورت طرح کرت‌های خرد شده با ۳ تکرار در شرایط گلخانه‌ای در سال ۱۳۹۸ در محل گلخانه دانشگاه یزد انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح تنش خشکی ۱۰۰٪، ۷۰٪ و ۳۰٪ ظرفیت زراعی و Se به عنوان عوامل تغذیه‌ای اول در سه سطح شاهد، ۱۵ mg/l و ۳۰ mg/l Si به عنوان عوامل تغذیه‌ای دوم در سه سطح شاهد، ۱۵۰ mg/l و ۳۰۰ mg/l و به صورت محلول پاشی مورد بررسی قرار گرفتند. بوته‌های اولیه گیاه دارویی مرزنجوش *O. vulgare* در اندازه تقریبی ۲۰×۲۰ cm از بوته‌های با سن دو سال، از مزارع کشت این گیاه در منطقه خضرآباد یزد تهیه گردید. سپس هر بوته به قسمت‌های کوچکتر به ابعاد ۱۰×۵ cm تقسیم گردید و در گلدان‌های زهکش دار ۵ kg از جنس PVC که دارای قطر ۱۹ cm و ارتفاع ۲۰ cm بودند در تاریخ ۷ اردیبهشت ۹۸ کشت گردیدند (شکل ۱). تعداد گلدان‌ها با توجه به طرح آزمایش ۸۱ عدد در نظر گرفته شد. برای تهیه خاک، از خاک مزرعه با بافت لومی شنی و مقدار EC ۵/۲۵ ds/m استفاده گردید. بعد از کشت و استقرار بوته‌های اولیه، تمام گلدان‌ها یکسان آبیاری و بعد از ۱۰ روز تنش خشکی به روش وزنی اعمال شد (۳۶).

Se دیگر عنصر مؤثر در افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان، حیوانات و انسان است (۴۷). Se متالوئید (شبه فلز) است؛ به عبارت دیگر هم خاصیت فلزی و هم خاصیت غیرفلزی دارد (۵۱). هر چند Se عنصری ضروری برای گیاهان محسوب نمی‌شود اما مدارکی دال بر ضروری بودن آن برای گیاهان سلنیوم‌دوست مانند گونه‌های جنس *Astragalus* وجود دارد (۵۷). همچنین مشخص شده است که Se برای رشد جلبک سبز *Chlamydomonas reinhardtii* PA Dang مورد نیاز است (۲۱). به تازگی مشخص شده است که Se به کار رفته در غلظت‌های اندک موجب افزایش رشد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان تک لپه و دو لپه مانند کاهو *Lactuca sativa* L. و سویا *Glycine Max* L. Merrill می‌شود (۱۴، ۲۵). اگرچه سمیت Se در غلظت‌های بالا بر روی گیاهان محرز است و نوعی تنش محسوب می‌شود، با این وجود اثرات سودمند غلظت‌های پایین Se در حفاظت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی و فعال‌سازی سازوکارهای کاهنده تنش‌های اکسیداتیو در پژوهش‌های متفاوتی گزارش شده است (۵۴). مقدار بهینه Se می‌تواند موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش پرتو ماوراء بنفش و تأخیر پیری در گیاهان شود (۶۰). غلظت‌های بالای Se موجب تحریک واکنش‌های استرس اکسیداتیو نظیر افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها در گیاهان می‌گردد (۲۵). توانایی انباشت‌کنندگی و مقاومت به سطوح بالای Se به تفاوت در متابولیسم Se بین گونه‌های مختلف گیاهی مرتبط است (۵۹). علاوه بر  $SO_4^{2-}$ ، تقابل بین Se و سایر عناصر غذایی مانند  $PO_4^{3-}$  دسترسی Se در خاک را کاهش و از جذب و تجمع Se در گیاه کاسته می‌شود (۲۹). مقدار Se گیاهان با مقدار کم تا متوسط Se خاک همبستگی ندارد زیرا عامل‌های متعددی مانند شکل شیمیایی Se، pH، مقدار رس، اکسیدهای آهن، O.M و همچنین رقابت آنیونی بر میزان فراهمی Se در خاک اثرگذار است، به طوری که همبستگی مثبت بین غلظت Se در گیاه و فعالیت آنزیم گلوکاتاتیون پراکسیداز<sup>۱</sup> دیده می‌شود (۱۲).



شکل ۱. نمایی از گلدان‌های کشت شده با گیاه دارویی مرزنجوش *O. vulgare* در محل گلخانه دانشگاه یزد در سال ۱۳۹۸

اندازه‌گیری وزن تر برگ و ساقه‌ها، برای تعیین وزن خشک نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی قرار گرفته به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای  $70^{\circ}\text{C}$  خشک شد. سپس وزن خشک نمونه‌ها با ترازوی Sartorius مدل BPSIID با دقت  $0.001\text{g}$  اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری مقدار کلروفیل و کاروتنوئید از روش لیچتنتالر<sup>۵</sup> (۱۹۸۷) انجام شد (۳۹). به این منظور،  $0.2\text{g}$  از برگ‌های فریز شده انتهایی گیاه با  $15\text{ mL}$  استون  $80\%$  سائیده شده و بعد از صاف کردن، مقدار جذب آن‌ها با اسپکتروفوتومتر در طول موج‌های  $646/8\text{ nm}$ ،  $663/20\text{ nm}$  و  $470\text{ nm}$  خوانده شد و غلظت رنگیزه‌ها بر حسب  $\mu\text{g/g}$  وزن تر محاسبه گردید. محتوی پرولین اندام هوایی از روش‌های بیتس<sup>۶</sup> و همکاران (۱۹۷۳) (۱۰) محتوای ترکیب‌های فنلی با بهره‌گیری از روش سونالد و لایما<sup>۷</sup> (۱۹۹۹) (۲۰)، و سنجش قندهای محلول به روش فالز<sup>۸</sup> و همکاران (۱۹۵۱) (۱۷)، اندازه‌گیری شد، و برای محاسبه مقدار پرولین، غلظت ترکیبات فنلی و غلظت قندهای محلول، از منحنی استاندارد بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد. واریانس داده‌ها برای سطوح مختلف تیمارها تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه میانگین‌ها، آزمون چند دامنه‌ای دانکن در دو سطح احتمال  $95\%$  ( $p < 0.05$ ) و  $99\%$

ویژگی‌های فیزیکی خاک از قبیل وزن مخصوص ظاهری<sup>۱</sup> به روش استوانه<sup>۲</sup> (۴۳)، درصد رطوبت وزنی در نقطه ظرفیت زراعی<sup>۳</sup>  $29/3\%$  و حد رطوبت نقطه پژمردگی<sup>۴</sup>  $9\%$  با استفاده از دستگاه سلول فشار در آزمایشگاه مرکز ملی تحقیقات شوری تعیین شد. با در نظر گرفتن تخلیه مجاز رطوبتی، وزن خاک خشک و وزن خاک مرطوب درون گلدان‌ها، وزن هر گلدان در نقاط تنش رطوبتی مورد نظر تعیین و با توزین روزانه گلدان‌ها کسر رطوبتی مشخص و میزان آب مورد نیاز به گلدان‌ها اضافه شد. به طوری که گلدان‌ها در هر روز یک نوبت در ساعت ۸ صبح، با ترازوی مناسب توزین گردید و در صورت نیاز به آبیاری بر اساس تنش در نظر گرفته شده، میزان آب مورد نیاز به گلدان اضافه شد. برای اعمال تیمار محلول پاشی Si و Se به ترتیب از  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  و  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  استفاده شد. غلظت‌های مورد مطالعه ۴۵ روز بعد از اعمال تنش خشکی و قبل از گلدی در فواصل ۱۰ روز در ۵ مرحله با استفاده از دستگاه اسپری دستی محلول پاشی شد. ۱۰ روز بعد از آخرین محلول پاشی نسبت به برداشت بوته‌ها اقدام گردید. به طوریکه از آغاز آزمایش تا برداشت کامل ۱۲۰ روز طول کشید. بوته‌ها از روی سطح خاک قطع شده و در داخل پاکت پلاستیکی قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از

5 Lichtenthaler  
6 Bates  
7 Sonald & Laima  
8 Fales

1 Bulk density  
2 Core Method  
3 Field capacity (FC)  
4 Permanent Wilting Point (PWP)

تنش خشکی تا مقدار  $F_c 70\%$  موجب افزایش پرولین در اندام هوایی شد و با افزایش تنش تا  $F_c 30\%$  مقدار پرولین در گیاه کاهش یافت به طوری که با شاهد  $F_c 100\%$  دارای اختلاف معنی دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که گیاه مرزنجوش تحت شرایط کم آبی، تجمع پرولین را در اندام هوایی خود افزایش داد. محققان گزارش کرده اند که پرولین یکی از مهمترین اسیدهای آمینه پایدار در شرایط تنش های محیطی است (۸). البته نقش فیزیولوژیک پرولین در همه گیاهان مشابه است، که احتمالاً در شرایط تنش کم آبی در گیاه مرزنجوش تجمع پیدا می کند. به طور مثال مشاهده شده است که مقدار پرولین در گیاه دارویی گشنیز *Coriandrum sativum* L. با افزایش شدت تنش خشکی افزایش می یابد (۴۵). همچنین در گیاه دارویی زنیان *Trachyspermum copticum* L. با افزایش سطح تنش خشکی، غلظت پرولین و قندهای محلول در برگ های گیاه افزایش یافته است (۴۸). در بررسی اثر سطوح تنش خشکی روی گیاه آویشن *Thymus vulgaris* L. با افزایش تنش خشکی مقدار پرولین افزایش یافته است (۵). اسید آمینه پرولین در گستره وسیعی از گیاهان در پاسخ به تنش های مختلف نظیر شوری و خشکی تجمع می یابد.

( $p < 0.01$ ) به کار گرفته شد. در ادامه، ضریب تغییرات (رابطه ۱) و مدل آماری (رابطه ۲) برای تجزیه و تحلیل نتایج محاسبه شد.

$$CV = \left( \frac{\sqrt{MSE}}{\bar{X}} \right) 100 \quad (1)$$

$$X_{ijk} = \mu + \delta_j + \varepsilon_{ij} + \delta_k + \delta_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

### نتایج و بحث

یافته های حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که تأثیر خشکی بر صفتهای فیزیولوژیک مورد بررسی شامل پرولین ساقه، قندهای محلول، کلروفیل کارتنوئید و ترکیبات فنلی معنی دار بود (جدول ۱). همچنین مشاهده شد اثر اصلی Se و Si بر صفتهای فیزیولوژیک و پارامترهای عملکردی وزن تر و وزن خشک اندام هوایی *O. vulgare* معنی دار بود. در مورد متغیرهای عملکردی گیاه، استفاده از Si بر هیچیک از آنها تأثیر معنی داری نداشت و محلول پاشی با Se تنها بر وزن تر اندام هوایی تأثیر معنی دار داشت. نتایج نشان داد که اثرات متقابل سه گانه بین خشکی، Se و Si بر میزان پرولین اندام هوایی، کلروفیل، کارتنوئید، ترکیبات فنلی معنی دار بود (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفتهای مختلف مرزنجوش تحت تأثیر خشکی، Se و Si.

| منابع تغییر          | درجه آزادی | پرولین ساقه (mg/gr) | قندهای محلول (mg/gr) | کلروفیل کل (µg/gr) | کارتنوئید فنلی (µg/gr) | ترکیب های (mg/gr) | وزن تر اندام هوایی (gr) | وزن خشک اندام هوایی (gr) |
|----------------------|------------|---------------------|----------------------|--------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| خشکی                 | ۲          | ۰/۰۱**              | ۱۵۳/۷۶**             | ۴/۱۶**             | ۴۳/۸۹**                | ۰/۴۱**            | ۴۲۳/۸۶**                | ۵۵/۶۰**                  |
| Se                   | ۲          | ۰/۰۰**              | ۴/۷۹*                | ۱۳/۳۰**            | ۶/۶۷**                 | ۰/۰۲**            | ۱۵۲/۵۲**                | ۲۰/۱۰ ns                 |
| Si                   | ۲          | ۰/۰۰**              | ۱۹/۰۲**              | ۲۰/۵۱**            | ۴/۰۸**                 | ۰/۰۱**            | ۳۷/۲۶ ns                | ۵/۱۷ ns                  |
| اثر متقابل خشکی × Se | ۴          | ۰/۰۰**              | ۱/۱۸ ns              | ۳/۴۷**             | ۳/۰۳**                 | ۰/۰۱**            | ۹۹/۵۹ ns                | ۱۹/۵۵*                   |
| خشکی × Si            | ۴          | ۰/۰۰**              | ۱۳/۶۷**              | ۳/۷۲**             | ۰/۷۸*                  | ۰/۰۰**            | ۵۷/۵۲ ns                | ۹/۲۸ ns                  |
| Si × Se              | ۴          | ۰/۰۰**              | ۱/۲۴ ns              | ۱/۷۸*              | ۲/۰۷**                 | ۰/۰۱**            | ۷۲/۶۵ ns                | ۹/۲۶ ns                  |
| خشکی × Se × Si       | ۸          | ۰/۰۰**              | ۲/۰۲ ns              | ۳/۲۴**             | ۰/۶۳*                  | ۰/۰۰**            | ۷۳/۲۹ ns                | ۱۳/۳۴ ns                 |
| خطا                  | ۵۲         | ۰/۰۰                | ۱/۱۷                 | ۰/۵۷               | ۰/۲۲                   | ۰/۰۰              | ۴۰/۰۰                   | ۶/۴۹                     |
| ضریب تغییرات         |            | ۲/۸۹                | ۱/۳۵                 | ۱/۸۷               | ۳/۴۵                   | ۴/۱۳              | ۲۸/۵۱                   | ۲۸/۰۹                    |

\*\* معنی داری در سطح ۰/۰۱ \* معنی داری در سطح ۰/۰۵ ns فاقد معنی داری

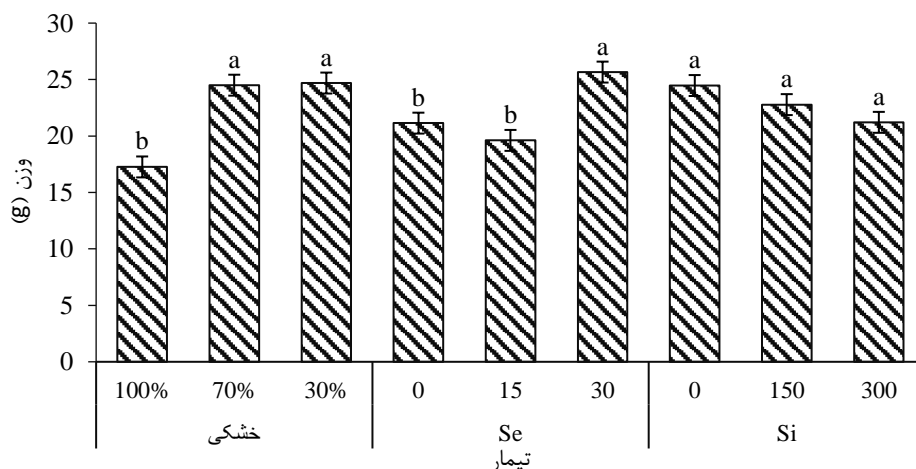
موجب کاهش پرولین شد و اختلاف معنی داری را نشان نداد (جدول ۲).

تأثیر اصلی سطوح تنش خشکی بر پارامترهای عملکردی وزن تر و وزن خشک اندام هوایی *O. vulgare* معنی دار بود (جدول ۱) به طوری که افزایش تنش افزایش عملکرد را نشان داد. با این وجود در دو تیمار ۷۰٪ FC و ۳۰٪ اختلاف معنی داری وجود نداشت. کاربرد Se افزایش معنی دار در وزن تر و خشک اندام هوایی را نشان داد. بیشترین مقدار متغیرهای عملکردی در سطح تیمار Se ۳۰ mg/l بود و وزن خشک اندام هوایی تیمار Se ۳۰ mg/l تنها با تیمار ۱۵ mg/l Se اختلاف معنی دار داشت. در مورد محلول پاشی Si، تفاوت معنی داری در ارتباط با وزن تر (شکل ۲) و خشک اندام هوایی (شکل ۳) مشاهده نشد.

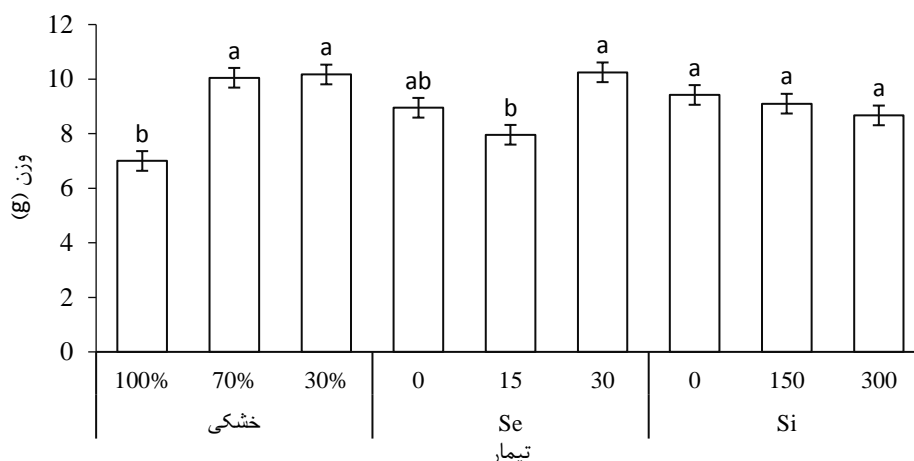
پرولین علاوه بر نقش خود به عنوان اسمولیت<sup>۱</sup> در تنظیم و حفاظت اسمزی، در ثبات بخشیدن به ساختارهای سلولی نظیر غشاها، پروتئین‌ها و DNA، جاروب کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن، خاموش کردن اکسیژن یکتایی، حفظ پتانسیل ردوکس سلول و حفظ تعادل NADP+/NADPH، تنظیم pH سلول و حفاظت از دستگاه فتوسنتزی مهار تولید اتیلن و کند کردن روند پیری نقش مؤثری دارد. به علاوه پرولین به عنوان منبعی از C، N و انرژی در طی دوره بهبودی بعد از تنش است (۳۳). مقدار پرولین در گیاه با افزایش مقدار Se تا ۳۰ mg/l دارای افزایش معنی دار با دیگر سطوح بود. محلول پاشی Si تا سطح ۱۵۰ mg/l افزایش معنی داری را در مقدار پرولین ساقه نشان داد و افزایش غلظت Si تا سطح ۳۰۰ mg/l

جدول ۲. اثرات اصلی خشکی، Se و Si بر صفت‌های فیزیولوژیک مرزنجوش

| اثرات اصلی | تنش      | پرولین ساقه (mg/gr) | قندهای محلول (mg/gr) | کلروفیل کل (µg/gr) | کارتونوئید (µg/gr) | ترکیب‌های فنلی (mg/gr) |
|------------|----------|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| خشکی       | ۱۰۰٪ FC  | ۰/۰۵۳ <sup>c</sup>  | ۷۱/۳۵ <sup>c</sup>   | ۳۹/۹۹ <sup>b</sup> | ۱۲/۹۴ <sup>b</sup> | ۰/۶۳ <sup>c</sup>      |
|            | ۷۰٪ FC   | ۰/۰۹۵ <sup>a</sup>  | ۸۶/۲۵ <sup>b</sup>   | ۳۹/۸۴ <sup>b</sup> | ۱۲/۷۸ <sup>b</sup> | ۰/۸۸ <sup>a</sup>      |
|            | ۳۰٪ FC   | ۰/۰۷۵ <sup>b</sup>  | ۸۰/۸۳ <sup>a</sup>   | ۴۰/۵۸ <sup>a</sup> | ۱۵/۰۶ <sup>a</sup> | ۰/۷۸ <sup>b</sup>      |
| Se         | ۰ mg/l   | ۰/۰۷۰ <sup>b</sup>  | ۷۹/۱۹ <sup>b</sup>   | ۳۹/۶۹ <sup>b</sup> | ۱۳/۳۱ <sup>b</sup> | ۰/۷۵ <sup>b</sup>      |
|            | ۱۵ mg/l  | ۰/۰۷۰ <sup>b</sup>  | ۷۹/۲۷ <sup>b</sup>   | ۳۹/۷۸ <sup>b</sup> | ۱۳/۳۰ <sup>b</sup> | ۰/۷۵ <sup>b</sup>      |
|            | ۳۰ mg/l  | ۰/۰۸۳ <sup>a</sup>  | ۷۹/۹۶ <sup>a</sup>   | ۴۰/۹۵ <sup>a</sup> | ۱۴/۱۷ <sup>a</sup> | ۰/۸۰ <sup>a</sup>      |
| Si         | ۰ mg/l   | ۰/۰۷۴ <sup>b</sup>  | ۸۰/۲۸ <sup>a</sup>   | ۴۰/۷۴ <sup>a</sup> | ۱۳/۷۳ <sup>a</sup> | ۰/۷۸ <sup>a</sup>      |
|            | ۱۵۰ mg/l | ۰/۰۷۶ <sup>a</sup>  | ۷۹/۵۳ <sup>b</sup>   | ۴۰/۵۴ <sup>b</sup> | ۱۳/۹۰ <sup>a</sup> | ۰/۷۷ <sup>a</sup>      |
|            | ۳۰۰ mg/l | ۰/۰۷۲ <sup>b</sup>  | ۷۸/۶۰ <sup>c</sup>   | ۳۹/۱۴ <sup>b</sup> | ۱۳/۱۶ <sup>b</sup> | ۰/۷۵ <sup>b</sup>      |



شکل ۲. تأثیر اصلی خشکی، Se و Si بر متغیر عملکرد وزن تر اندام هوایی مرزنجوش



شکل ۳. تأثیر اصلی خشکی، Si و Se بر متغیر عملکرد وزن خشک اندام هوایی مرزنجوش.

(جدول ۲). بررسی تأثیر کمبود آب بر صفتهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی زوفا *Hyssopus officinalis* L. نتایج مشابهی را نشان می‌دهد، به طوری که غلظت کاروتنوئید با تشدید کمبود آب به طور معنی‌دار افزایش یافته است، در حالیکه در این شرایط غلظت کلروفیل کل در مقایسه با شاهد کاهش یافته است. مطالعات نشان می‌دهد که کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی می‌تواند به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول باشد که این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگدانه می‌شوند (۵۳). در تنش‌های شدید، میزان کاروتنوئید به عنوان عامل محافظت کننده کلروفیل در برابر اکسیداسیون نوری، افزوده می‌شود تا از تخریب بیشتر کلروفیل جلوگیری کند. این رنگیزه با جذب رادیکال‌های فعال اکسیژن سبب محافظت کلروفیل در مقابل تنش‌ها می‌شود (۳۱، ۵۸). کاروتنوئیدها در کلروپلاست نقش رنگیزه کمکی را دارند، اما فعالیت مهم‌تر آن‌ها نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها است (۱۵). با این وجود، نتایج مطالعه گیاه آویشن دناپی *Thymus daenensis* Celak. نشان می‌دهد که با افزایش شدت تنش، میزان کاروتنوئید در مقایسه با شاهد کاهش یافته است، به طوری که کمترین مقدار کاروتنوئید در تنش میانگین (۵۰٪ ظرفیت زراعی) مشاهده شده است (۷). نتایج مطالعه تأثیر محلول پاشی Se تحت تنش خشکی در گیاه رزماری، نشان می‌دهد که میزان پرولین، کلروفیل، کاروتنوئید، و ترکیبات فنلی در شرایط تنش خشکی کاهش

در بررسی اثر متقابل خشکی با Se و Si، استفاده از Se نسبت به Si سبب افزایش بیشتر پرولین شد (جدول ۳). تأثیر متقابل سه جانبه خشکی، Se و Si بر میزان پرولین، کلروفیل، کاروتنوئید، و ترکیبات فنلی معنی‌دار بود، ولی بر وزن تر و خشک اندام هوایی اثر غیر معنی‌دار داشت (جدول ۱). بیشترین میزان پرولین در تیمار FC ۷۰٪ به همراه ۳۰ mg/l Se و ۱۵۰ mg/l Si مشاهده شد (جدول ۴). در شرایط مواجهه گیاه با تنش‌های مختلف، فعالیت آنتی‌اکسیدانی برای کاهش رادیکال‌های آزاد نامطلوب رشد گیاه مانند سوپراکسید و پراکسید افزایش می‌یابد (۴۶). بنابراین تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به عنوان شاخصی مفید برای ارزیابی پاسخ به تنش در گیاهان است (۵۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش سطح Se، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ بالنگوی شهری *Lallemantia iberica* Fisch. & C.A. Mey. افزایش می‌یابد و تحت تأثیر تنش کم‌آبی، محلول پاشی برگی Se میزان پرولین و فنول کل برگ را به طور معنی‌داری بهبود می‌بخشد (۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اعمال تنش خشکی در سطح آماری یک درصد تأثیر معنی‌داری بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در برگ‌های گیاه مرزنجوش داشت (جدول ۱). بر اساس نتایج به دست آمده تنش شدید موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل و کاروتنوئید در مقایسه با شاهد و تنش میانگین به ترتیب به مقدار ۱/۱۷٪ و ۸/۱۷٪ شد. از طرف دیگر بین تیمار تنش متوسط و شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر میزان کلروفیل و کاروتنوئید مشاهده نشد



در بررسی تأثیر متقابل خشکی با Se و Si، به کارگیری Se نسبت به Si موجب افزایش بیشتر کلروفیل شد (جدول ۳). Se دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است و در شرایط تنش سبب خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود (۳۷، ۶۰) و از تخریب مولکول کلروفیل در شرایط تنش جلوگیری می‌کند (۵۴). در پژوهش حاضر بیشترین مقدار کلروفیل در تیمار خشکی ۳۰٪ ظرفیت زراعی به همراه Se ۳۰ mg/l و نمونه شاهد Si مشاهده شد (جدول ۴).  
 محلول پاشی Se به میزان ۳۰ mg/l در شرایط تنش شدید باعث افزایش میزان عملکرد وزن تر و وزن خشک اندام هوایی گردید که با شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بود. در ارتباط با محلول پاشی Si اختلاف معنی‌داری در میزان عملکرد وزن تر و وزن خشک اندام هوایی بین هیچ یک از سطوح تیماری مشاهده نشد (شکل ۴ و ۵).

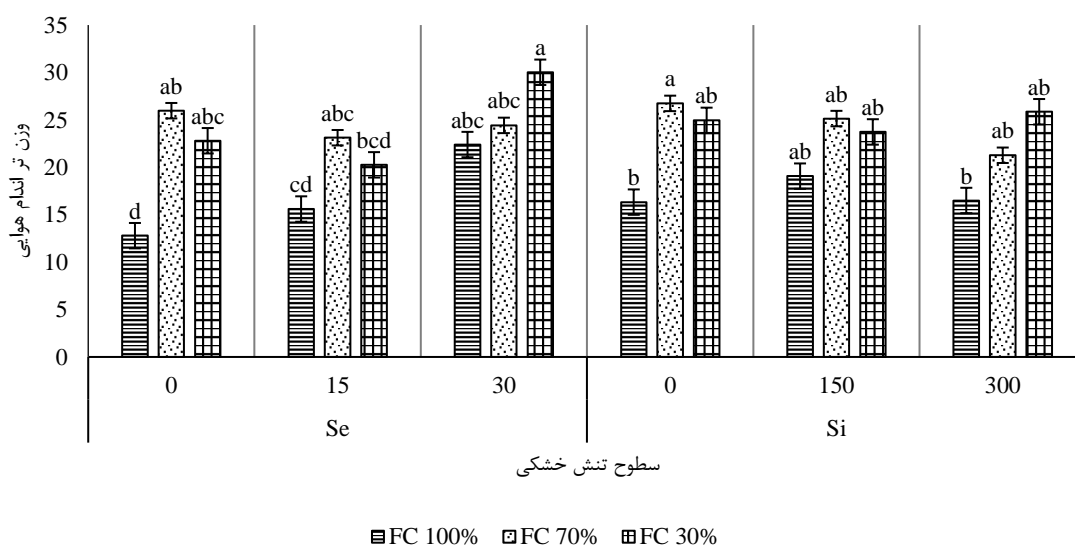
می‌یابد و با محلول پاشی Se و شرایط تنش، میزان فاکتورهای مذکور در سطح معنی‌داری افزایش می‌یابد (۵۵). تأثیر محلول پاشی Se و Si بر میزان کلروفیل و کارتنوئید مرزنجوش معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین میزان کلروفیل و کارتنوئید در محلول پاشی Se با غلظت ۳۰ mg/l به دست آمد به طوری که با دو سطح دیگر اختلاف معنی‌دار داشت. در مورد Si محلول پاشی با افزایش غلظت باعث کاهش میزان کلروفیل شد و در مورد کارتنوئید غلظت Si ۱۵۰ mg/l باعث افزایش بدون اختلاف معنی‌دار گردید. با افزایش غلظت Si تا ۳۰۰ mg/l کاهش معنی‌داری در این صفت در مقایسه با دو سطح دیگر مشاهده شد (جدول ۲). تأثیر متقابل تنش خشکی به همراه تیمار Se و تیمار Si به‌طور مجزا ارائه شد (جدول ۳).

جدول ۳. تأثیرهای متقابل خشکی و Se/Si بر صفتهای مختلف مرزنجوش

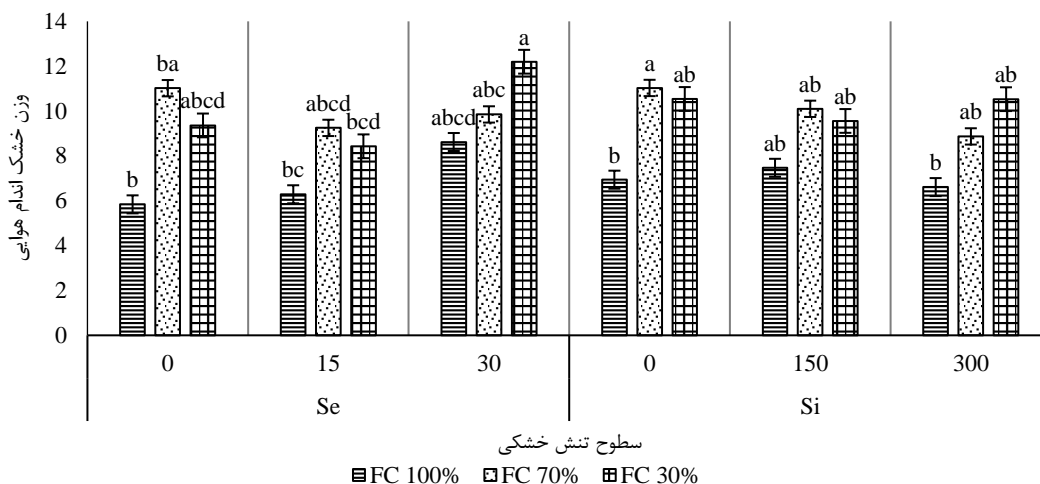
| ترکیبات فنلی       | کارتنوئید           | کلروفیل کل            | پرولین             | مقدار (mg/l) | تیمار | سطوح خشکی |
|--------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|--------------|-------|-----------|
| ۰/۶۶ <sup>d</sup>  | ۱۳/۲۹ <sup>b</sup>  | ۴۱/۰۰ <sup>ab</sup>   | ۰/۰۵ <sup>d</sup>  | .            |       |           |
| ۰/۶۴ <sup>ed</sup> | ۱۳/۳۴ <sup>b</sup>  | ۴۰/۲۹ <sup>abc</sup>  | ۰/۰۵ <sup>d</sup>  | ۱۵۰          |       | ٪۱۰۰ FC   |
| ۰/۶۱ <sup>e</sup>  | ۱۲/۱۹ <sup>b</sup>  | ۳۸/۶۹ <sup>d</sup>    | ۰/۰۵ <sup>d</sup>  | ۳۰۰          |       |           |
| ۰/۸۸ <sup>a</sup>  | ۱۲/۷۰ <sup>b</sup>  | ۳۹/۹۲ <sup>bcd</sup>  | ۰/۰۹ <sup>ab</sup> | .            |       |           |
| ۰/۸۷ <sup>a</sup>  | ۱۲/۹۵ <sup>b</sup>  | ۳۹/۹۶ <sup>bcd</sup>  | ۰/۱۰ <sup>a</sup>  | ۱۵۰          | Si    | ٪۷۰ FC    |
| ۰/۸۸ <sup>a</sup>  | ۱۲/۷۰ <sup>b</sup>  | ۳۹/۶۴ <sup>cd</sup>   | ۰/۰۹ <sup>ab</sup> | ۳۰۰          |       |           |
| ۰/۷۹ <sup>bc</sup> | ۱۵/۲۱ <sup>a</sup>  | ۴۱/۲۹ <sup>a</sup>    | ۰/۰۸ <sup>c</sup>  | .            |       |           |
| ۰/۸۱ <sup>b</sup>  | ۱۵/۴۱ <sup>a</sup>  | ۴۱/۳۷ <sup>a</sup>    | ۰/۰۸ <sup>c</sup>  | ۱۵۰          |       | ٪۳۰ FC    |
| ۰/۷۵ <sup>c</sup>  | ۱۴/۵۸ <sup>a</sup>  | ۳۹/۱۰ <sup>cd</sup>   | ۰/۰۷ <sup>c</sup>  | ۳۰۰          |       |           |
| ۰/۶۲ <sup>d</sup>  | ۱۲/۸۱ <sup>cd</sup> | ۳۸/۸۱ <sup>d</sup>    | ۰/۰۵ <sup>c</sup>  | .            |       |           |
| ۰/۶۲ <sup>d</sup>  | ۱۲/۸۴ <sup>cd</sup> | ۴۰/۰۱ <sup>abcd</sup> | ۰/۰۵ <sup>c</sup>  | ۱۵           |       | ٪۱۰۰ FC   |
| ۰/۶۶ <sup>d</sup>  | ۱۳/۱۶ <sup>c</sup>  | ۴۱/۶۳ <sup>a</sup>    | ۰/۰۵ <sup>c</sup>  | ۳۰           |       |           |
| ۰/۸۵ <sup>b</sup>  | ۱۲/۰۷ <sup>e</sup>  | ۳۹/۷۲ <sup>bcd</sup>  | ۰/۰۸ <sup>a</sup>  | .            |       |           |
| ۰/۸۴ <sup>b</sup>  | ۱۲/۱۵ <sup>de</sup> | ۳۹/۰۳ <sup>cd</sup>   | ۰/۰۸ <sup>a</sup>  | ۱۵           | Se    | ٪۷۰ FC    |
| ۰/۹۵ <sup>a</sup>  | ۱۴/۱۳ <sup>b</sup>  | ۴۰/۷۶ <sup>ab</sup>   | ۰/۱۱ <sup>a</sup>  | ۳۰           |       |           |
| ۰/۷۷ <sup>c</sup>  | ۱۵/۰۶ <sup>a</sup>  | ۴۰/۵۴ <sup>ab</sup>   | ۰/۰۷ <sup>b</sup>  | .            |       |           |
| ۰/۷۹ <sup>c</sup>  | ۱۴/۹۲ <sup>a</sup>  | ۴۰/۲۹ <sup>abc</sup>  | ۰/۰۷ <sup>b</sup>  | ۱۵           |       | ٪۳۰ FC    |
| ۰/۷۹ <sup>c</sup>  | ۱۵/۲۲ <sup>a</sup>  | ۴۰/۹۱ <sup>ab</sup>   | ۰/۰۸ <sup>b</sup>  | ۳۰           |       |           |

جدول ۴. تأثیر متقابل خشکی، Se و Si بر صفتهای فیزیولوژیک و متغیرهای عملکردی مرزنجوش

| ترکیبات فنلی         | کارتونوئید             | کلروفیل کل             | پرولین              | Si (mg/l) | Se(mg/l) | سطوح خشکی |
|----------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-----------|----------|-----------|
| ۰/۶۲ <sup>k</sup>    | ۱۲/۷۱ <sup>hijk</sup>  | ۴۰/۶۴ <sup>bcdef</sup> | ۰/۰۵ <sup>mn</sup>  | .         | .        |           |
| ۰/۶۲ <sup>k</sup>    | ۱۳/۰۲ <sup>ghij</sup>  | ۳۸/۱۸ <sup>Hi</sup>    | ۰/۰۵ <sup>n</sup>   | ۱۵۰       | .        |           |
| ۰/۶۲ <sup>k</sup>    | ۱۲/۷۱ <sup>hijk</sup>  | ۳۷/۶۱ <sup>i</sup>     | ۰/۰۵ <sup>n</sup>   | ۳۰۰       | .        |           |
| ۰/۶۷ <sup>j</sup>    | ۱۳/۳۴ <sup>fghi</sup>  | ۴۰/۳۵ <sup>bcdef</sup> | ۰/۰۵ <sup>m</sup>   | .         | .        |           |
| ۰/۶۰ <sup>k</sup>    | ۱۳/۴۲ <sup>fgh</sup>   | ۴۱/۳۲ <sup>abcd</sup>  | ۰/۰۵ <sup>n</sup>   | ۱۵۰       | ۱۵       | %۱۰۰ FC   |
| ۰/۶۰ <sup>k</sup>    | ۱۱/۷۵ <sup>lmn</sup>   | ۳۸/۳۸ <sup>hi</sup>    | ۰/۰۵ <sup>n</sup>   | ۳۰۰       | .        |           |
| ۰/۶۹ <sup>ij</sup>   | ۱۳/۸۰ <sup>efg</sup>   | ۴۲/۰۲ <sup>ab</sup>    | ۰/۰۶ <sup>m</sup>   | .         | .        |           |
| ۰/۶۹ <sup>j</sup>    | ۱۳/۵۸ <sup>efgh</sup>  | ۴۱/۳۷ <sup>abcd</sup>  | ۰/۰۵ <sup>mn</sup>  | ۱۵۰       | ۳۰       |           |
| ۰/۵۹ <sup>k</sup>    | ۱۲/۱۳ <sup>klmn</sup>  | ۴۰/۰۹ <sup>defg</sup>  | ۰/۰۵ <sup>m</sup>   | ۳۰۰       | .        |           |
| ۰/۸۳ <sup>cde</sup>  | ۱۱/۳۹ <sup>n</sup>     | ۳۹/۳۵ <sup>fgh</sup>   | ۰/۰۸ <sup>fg</sup>  | .         | .        |           |
| ۰/۸۷ <sup>bc</sup>   | ۱۲/۵۳ <sup>ijkl</sup>  | ۴۰/۳۰ <sup>def</sup>   | ۰/۰۹ <sup>de</sup>  | ۱۵۰       | .        |           |
| ۰/۸۶ <sup>bc</sup>   | ۱۲/۲۹ <sup>jiklm</sup> | ۳۹/۵۲ <sup>efgh</sup>  | ۰/۰۹ <sup>de</sup>  | ۳۰۰       | .        |           |
| ۰/۸۸ <sup>b</sup>    | ۱۳/۰۷ <sup>ghij</sup>  | ۳۹/۹۹ <sup>defg</sup>  | ۰/۰۹ <sup>d</sup>   | .         | .        |           |
| ۰/۸۰ <sup>def</sup>  | ۱۱/۹۲ <sup>klmn</sup>  | ۳۸/۷۹ <sup>ghi</sup>   | ۰/۰۸ <sup>ef</sup>  | ۱۵۰       | ۱۵       | %۷۰ FC    |
| ۰/۸۳ <sup>cde</sup>  | ۱۱/۴۷ <sup>lmn</sup>   | ۳۸/۳۱ <sup>hi</sup>    | ۰/۰۸ <sup>fgh</sup> | ۳۰۰       | .        |           |
| ۰/۹۴ <sup>a</sup>    | ۱۳/۶۳ <sup>efg</sup>   | ۴۰/۴۳ <sup>bcdef</sup> | ۰/۰۹ <sup>c</sup>   | .         | .        |           |
| ۰/۹۵ <sup>a</sup>    | ۱۴/۴۰ <sup>cde</sup>   | ۴۰/۷۸ <sup>bcdef</sup> | ۱/۱۳ <sup>a</sup>   | ۱۵۰       | ۳۰       |           |
| ۰/۹۶ <sup>a</sup>    | ۱۴/۳۴ <sup>cde</sup>   | ۴۱/۰۸ <sup>abcd</sup>  | ۰/۱۲ <sup>b</sup>   | ۳۰۰       | .        |           |
| ۰/۷۵ <sup>gh</sup>   | ۱۴/۷۱ <sup>bcd</sup>   | ۴۰/۳۹ <sup>cdef</sup>  | ۰/۰۷ <sup>k</sup>   | .         | .        |           |
| ۰/۷۷ <sup>fgh</sup>  | ۱۵/۲۹ <sup>ab</sup>    | ۴۰/۶۹ <sup>bcdef</sup> | ۰/۰۷ <sup>ij</sup>  | ۱۵۰       | .        |           |
| ۰/۷۸ <sup>efgh</sup> | ۱۵/۱۸ <sup>abc</sup>   | ۴۰/۵۵ <sup>bcdef</sup> | ۰/۰۷ <sup>j</sup>   | ۳۰۰       | .        |           |
| ۰/۷۹ <sup>defg</sup> | ۱۵/۲۸ <sup>ab</sup>    | ۴۰/۹۹ <sup>bcde</sup>  | ۰/۰۸ <sup>ghi</sup> | .         | .        |           |
| ۰/۸۴ <sup>bcd</sup>  | ۱۵/۱۲ <sup>abc</sup>   | ۴۱/۵۲ <sup>abcd</sup>  | ۰/۰۸ <sup>gh</sup>  | ۱۵۰       | ۱۵       | %۳۰ FC    |
| ۰/۷۳ <sup>hi</sup>   | ۱۴/۳۶ <sup>cde</sup>   | ۳۸/۳۶ <sup>hi</sup>    | ۰/۰۶ <sup>l</sup>   | ۳۰۰       | .        |           |
| ۰/۸۳ <sup>bcd</sup>  | ۱۵/۶۳ <sup>a</sup>     | ۴۲/۵۰ <sup>a</sup>     | ۰/۰۸ <sup>ef</sup>  | .         | .        |           |
| ۰/۸۱ <sup>def</sup>  | ۱۵/۸۲ <sup>a</sup>     | ۴۱/۵۲ <sup>abc</sup>   | ۰/۰۷ <sup>hi</sup>  | ۱۵۰       | ۳۰       |           |
| ۰/۳۳ <sup>hi</sup>   | ۱۴/۲۰ <sup>def</sup>   | ۳۸/۳۵ <sup>hi</sup>    | ۰/۰۷ <sup>ij</sup>  | ۳۰۰       | .        |           |



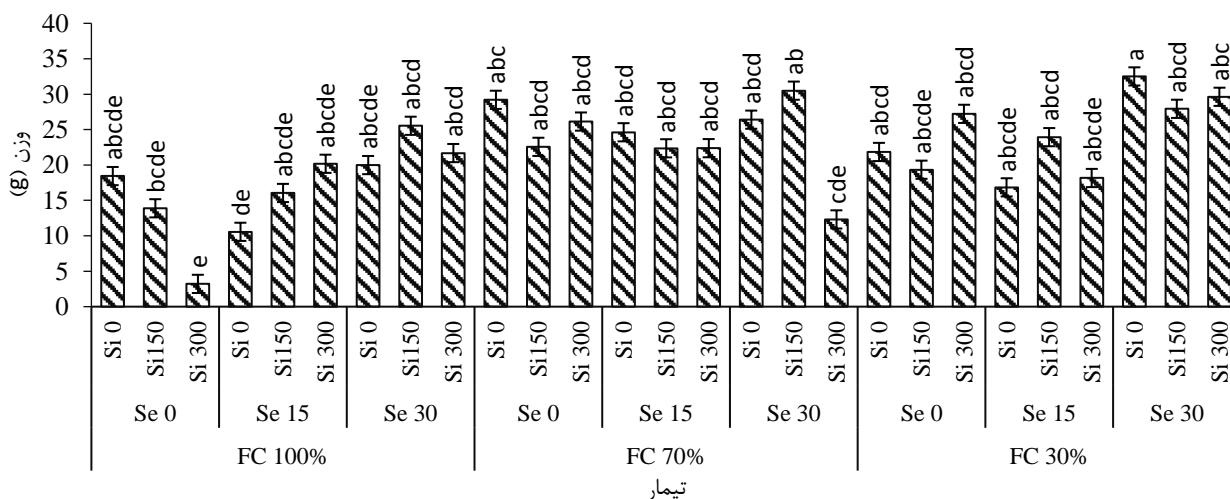
شکل ۴. اثر متقابل خشکی - Se/Si بر عملکرد وزن تر اندام هوایی مرزنجوش



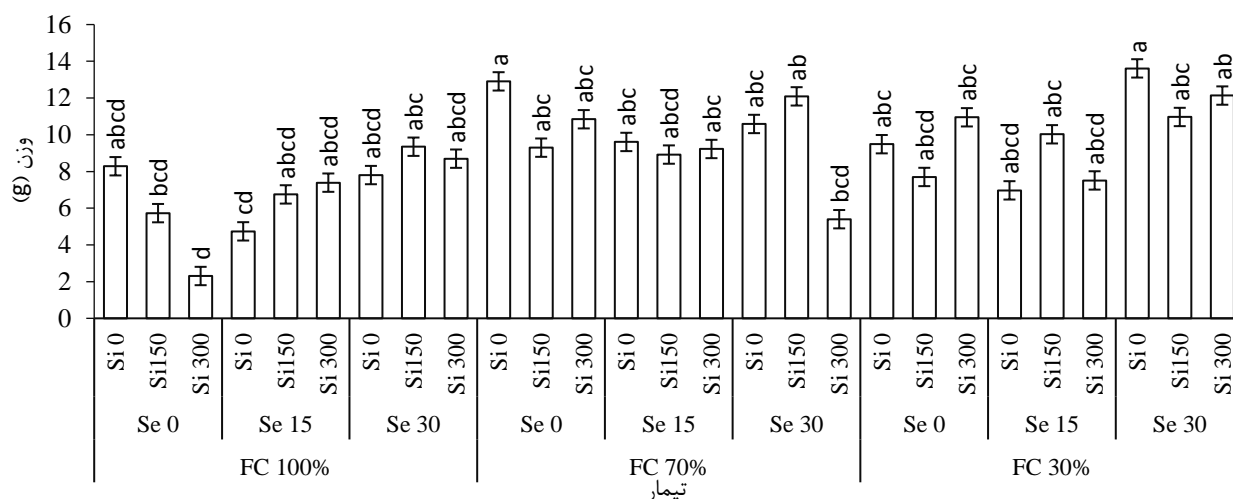
شکل ۵. تأثیر متقابل خشکی - Se/Si بر عملکرد وزن خشک اندام هوایی مرزنجوش

از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیک مرزنجوش، بیشترین مقدار پرولین در تنش خشکی ۷۰٪ با تیمار ۳۰ mg/l Se و کمترین میزان پرولین، در تنش خشکی ۱۵۰ mg/l Si و ۱۰۰٪ با تیمار ۱۵ mg/l Se و ۳۰۰ mg/l Si بود. بیشترین میزان کلروفیل در تنش خشکی ۳۰٪ با تیمار ۳۰ mg/l Se و Si صفر و کمترین مقدار کلروفیل در تنش خشکی ۱۰۰٪ با تیمار Se صفر mg/l و ۳۰۰ mg/l Si مشاهده شد. از نظر میزان کارتنوئید، بهترین تیمار، تنش خشکی ۳۰٪ با تیمار ۳۰ mg/l Se و ۱۵۰ mg/l Si بود. کمترین میزان کارتنوئید در تنش خشکی ۷۰٪ با تیمارهای شاهد Se و Si مشاهده شد. در مورد میزان ترکیب‌های فنلی، بیشترین مقدار مربوط به تنش خشکی ۷۰٪ با تیمار Se

۳۰ mg/l و ۳۰۰ mg/l Si بود، در حالیکه کمترین مقدار ترکیب‌های فنلی در تنش خشکی ۳۰٪ با تیمارهای Se و Si ۳۰۰ mg/l و ۳۰ mg/l مشاهده شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر نبود معنی‌داری متغیرهای عملکردی در اثر متقابل سه گانه بین خشکی و تیمار Se و Si بود، و بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی، Se و Si بر وزن تر و خشک اندام هوایی بین تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت. بیشترین وزن تر و وزن خشک اندام هوایی، در تنش خشکی ۳۰٪ با تیمار ۳۰ mg/l Se و Si صفر mg/l مشاهده شد. کمترین مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی در تنش خشکی ۱۰۰٪ با تیمار Se و ۳۰۰ mg/l Si وجود داشت (شکل ۶ و ۷).



شکل ۶. اثرهای متقابل خشکی، Se و Si بر پارامتر عملکردی وزن تر اندام هوایی مرزنجوش



شکل ۷. اثرهای متقابل خشکی، Se و Si بر پارامتر عملکردی وزن خشک اندام هوایی مرزنجوش

به دست آمده در پژوهش حاضر، گزارش‌های موجود نشان می‌دهد که کاربرد مجزای Se و Si از طریق کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن اثر خشکی را کاهش می‌دهند و می‌تواند پاسخی برای خاموش شدن رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد (۴۲، ۶۱). Se و Si از تخریب مولکول کلروفیل جلوگیری کرده و سبب افزایش فتوسنتز و افزایش محتوی نسبی آب برگ می‌شوند (۲۶).

#### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، محلول پاشی Se و Si بر روی گیاه مرزنجوش تحت شرایط تنش خشکی نشان داد، به طوری که افزایش تنش خشکی در سطح ۷۰٪ از نظر فیزیولوژیک بیشترین افزایش را در مقدار پرولین، قند محلول و ترکیب‌های فنلی، و کاهش در مقدار کلروفیل و کارتنوئید را داشت. افزایش تنش خشکی منجر به افزایش ویژگی‌های عملکردی شامل وزن تر و خشک اندام هوایی گردید. محلول پاشی Se به میزان ۳۰ mg/l تأثیر معنی‌داری بر افزایش مقدار پرولین، قند محلول، کلروفیل، کارتنوئید، ترکیبات فنلی و وزن تر و خشک اندام هوایی داشت. محلول پاشی Si به میزان ۱۵۰ mg/l تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان پرولین نسبت به نمونه شاهد داشت. با این وجود تغییر در میزان محلول پاشی Si تأثیر معنی‌داری را در تغییر پارامترهای عملکردی نشان نداد. بیشترین میزان کلروفیل در تیمار ۳۰٪ ظرفیت زراعی به همراه Se mg/l ۳۰ و تیمار شاهد Si بود، و بیشترین میزان ترکیبات فنلی

تنش خشکی در ارتباط با کاهش شرایط اسمزی است که منجر به کمبود آب در سیتوپلاسم سلول و به دلیل آسیب رساندن به پروتئین‌های فتوشیمی سبب کاهش کارایی شبکه فتوسنتز و کاهش وزن گیاه می‌شود (۱۳). به طور کلی، تنش خشکی منجر به تولید آنتی‌اکسیدان‌هایی می‌شود که تنش اکسیداتیو را تحت شرایط کمبود آب ایجاد می‌کند و باعث کاهش جذب و کاهش صفت‌های ساقه و ریشه می‌شود (۱۹). کاربرد Se و Si به طور معنی‌داری توانسته است طول ریشه، اندام هوایی و حجم بذر گیاهی گندم *Triticum aestivum* L. را افزایش دهد. این افزایش، به دلیل وجود Si در تقویت دیواره سلولی است، و نگهداشت مکانیکی از طریق افزایش بافت‌های چوب پنبه‌ای، چوب‌شدگی و سیلیکاسیون را به همراه داشته و منجر به افزایش رشد ریشه و ساقه می‌شود (۲۴). در پژوهش حاضر کاربرد ترکیبی Se و Si تحت تنش خشکی، بالاتر از کاربرد مجزای هر یک از این عناصر و یا اعمال تنش خشکی به تنهایی بود. یافته‌های به دست آمده با نتایج بررسی تأثیر کاربرد Se و Si تحت تنش خشکی بر روی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم (*T. aestivum*) هم‌خوانی دارد (۵۲). مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی و کمبود آب در مقایسه با شرایط بدون تنش به طور معنی‌داری افزایش یافته است. با این وجود در برخی از پژوهش‌های صورت گرفته بر روی محصول‌های مختلفی مانند گندم، کاهش در میزان کلروفیل به دلیل تنش خشکی مشاهده شده است (۱، ۱۳، ۵۲). در تأیید یافته‌های

خشک اندام هوایی، در تنش خشکی ۳۰٪ با محلول پاشی ۳۰ mg/l Se و Si شاهد وجود داشت. با توجه به یافته‌های به‌دست آمده، محلول پاشی توأم Se و Si برای کاهش تأثیرهای تنش خشکی اثربخشی بیشتری را در ارتباط با بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکردی مرزنجوش نسبت به کاربرد هر یک از این عناصر به تنهایی دارد. در این ارتباط استفاده از محلول ۳۰ mg/l Se و ۱۵۰ mg/l Si ظرفیت کارآیی بهتری را تحت شرایط تنش خشکی ۷۰٪ ظرفیت زراعی دارد.

در تنش خشکی ۷۰٪ با تیمار ۳۰ mg/l Se نشان داده شد. بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار دارای ۳۰٪ تنش خشکی به همراه ۳۰ mg/l Se وجود داشت. از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیک مرزنجوش، بیشترین مقدار پرولین در تنش خشکی ۷۰٪ با محلول پاشی ۳۰ mg/l Se و ۱۵۰ mg/l Si، مشاهده شد. از نظر مقدار کارتنوئید، بهترین تیمار، تنش خشکی ۳۰٪ با تیمار ۳۰ mg/l Se و ۱۵۰ mg/l Si بود. در مورد میزان ترکیب‌های فنلی، بیشترین مقدار مربوط به تنش خشکی ۷۰٪ با تیمار ۳۰ mg/l Si و ۳۰۰ mg/l Se بود. بیشترین وزن تر و وزن

## ■ References

- Alachew, E., Muhammad, H., Azamal, H., Samuel, S., & Kasim, M. (2016). Differential sensitivity of *Pisum sativum* L. cultivars to water-deficit stress: changes in growth, water status, chlorophyll fluorescence and gas exchange attributes. *Agronomy*, 15(2), 45-57.
- AliGiannis, N., Kalpoutzakis, E., Mitaku, S., & Chinou, I. B. (2001). Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two *Origanum* species. *Agricultural and Food Chemistry*, 49(9), 4168-4170.
- Amerian, M., Zebarjadi, A., & Mehrabi, J. A. (2020). Effect of Different Concentrations of Selenium on Some Morphological and Physiological Characteristics of Dragons Head (*Lallemantia iberica*) under Different Irrigation Regimes. *Water Research in Agriculture*, 34.3(3), 415-431. (in Farsi)
- Azizi, A., Yan, F., & Honermeier, B. (2009). Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (*Origanum vulgare* L.) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. *Industrial Crops and Products*, 29(2-3), 554-561.
- Babae, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S. A. M., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, proline content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 239-251. (in Farsi)
- Babakhanlu, P., Hoseynzadeh, A., Mirzaei nodushan, H., Hajnajari, H., Jalili, A., & Masumi, A. A. (1999). *Medicinal and Aromatic Plants Research* (Vol. 1): Research Institute of Forest and Rangeland. (in Farsi)
- Bahreyninezhad, B., Razmjou, J., & Jaber Alansav, Z. (2013). *Evaluation of the effects of moisture stress on photosynthetic pigments in two species of Thymus carmanicus (Thymus carmanicus) and T. daenensis thyme T. Daenensis*. Paper presented at the The first regional conference on medicinal plants in the north of the country, Golestan Agricultural and Natural Resources Research Center, Gorgan. (in Farsi)
- Balibrea, M. E., Parra, M., Bolarín, M. C., & Pérez-Alfocea, F. (1999). PEG-osmotic treatment in tomato seedlings induces salt-adaptation in adult plants. *Functional Plant Biology*, 26(8), 781-786.
- Barazandeh, M. M. (2001). Essential Oil Composition of *Origanum majorana* L. *Medicinal and Aromatic Plants*, 10(1), 65-74. (in Farsi)
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Blum, A. (2010). *Plant breeding for water-limited environments*, Springer Science & Business Media.

12. Cartes, P., Gianfreda, L., & Mora, M. (2005). Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. *Plant and Soil*, 276(1), 359-367.
13. Chen, D., Cao, B., Wang, S., Liu, P., Deng, X., Yin, L., & Zhang, S. (2016). Silicon moderated the K deficiency by improving the plantwater status in sorghum. *Sci Rep* 6: 22882.
14. Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, J. A., & Bangarusamy, U. (2005). Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*, 272(1), 77-86.
15. Egert, M., & Tevini, M. (2002). Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). *Environmental and Experimental Botany*, 48(1), 43-49.
16. Epstein, E. (1999). SILICON. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50(1), 641-664.
17. Fales, F. W. (1951). The assimilation and degradation of carbohydrates by yeast cells. *Biological Chemistry*, 193(1), 113-124.
18. Farhadpurasli Ardeh, M., & Bakhshi, S. (2011). *The effect of environmental stresses on the production of secondary metabolites in medicinal plants*. Paper presented at the National Conference on New Achievements in Agriculture, Islamic Azad University. Ghods Branch. Tehran. (in Farsi)
19. Filek, M., Łabanowska, M., Kościelniak, J., Biesaga-Kościelniak, J., Kurdziel, M., Szarejko, I., & Hartikainen, H. (2015). Characterization of barley leaf tolerance to drought stress by chlorophyll fluorescence and electron paramagnetic resonance studies. *Agronomy and Crop science*, 201(3), 228-240.
20. Fletcher, R. S., & Kott, L. S. (1999). *Phenolics and cold tolerance of Brassica napus*. Paper presented at the Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress.
21. Fu, L.-H., Wang, X.-F., Eyal, Y., She, Y.-M., Donald, L. J., Standing, K. G., & Ben-Hayyim, G. (2002). A selenoprotein in the plant kingdom: mass spectrometry confirms that an opal codon (UGA) encodes selenocysteine in *Chlamydomonas reinhardtii* glutathione peroxidase. *Biological Chemistry*, 277(29), 25983-25991.
22. Ghahraman, A. (1994). Iranian cormophytes (plant systematic) (Vol. third volume). University Publishing Center Publications, Tehran. (in Farsi)
23. Grevsen, K., Frette, X. C., & Christensen, L. P. (2009). Content and Composition of Volatile Terpenes, Flavonoids and Phenolic Acids in Greek Oregano (*Origanum vulgare* L. ssp *hirtum*) at different Development Stages during Cultivation in Cool Temperate Climate. *European Journal of Horticultural Science*, 74(5), 193-203.
24. Guerriero, G., Hausman, J.-F., & Legay, S. (2016). Silicon and the plant extracellular matrix. *Frontiers in Plant Science*, 7, 463.
25. Hartikainen, H., Xue, T., & Piironen, V. (2000). Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant and Soil*, 225(1), 193-200.
26. Hawrylak-Nowak, B., Matraszek, R., & Szymańska, M. (2010). Selenium modifies the effect of short-term chilling stress on cucumber plants. *Biological trace element research*, 138(1), 307-315.
27. Healthcare, T. (2004). PDR for herbal medicines: Montvale: Thomson Healthcare.
28. Hodson, M. J., & Evans, D. E. (1995). Aluminium/silicon interactions in higher plants. *Experimental Botany*, 46(2), 161-171.
29. Hopper, J. L., & Parker, D. R. (1999). Plant availability of selenite and selenate as influenced by the competing ions phosphate and sulfate. *Plant and Soil*, 210(2), 199-207.

30. Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 541-549.
31. Inze, D., & Van Montagu, M. (1995). Oxidative stress in plants. *Current opinion in Biotechnology*, 6(2), 153-158.
32. Jamzad, Z. (2012). Flora Of Iran, Research Institute of Forests and Rangelands. (in Farsi)
33. Jithesh, M., Prashanth, S., Sivaprakash, K., & Parida, A. K. (2006). Antioxidative response mechanisms in halophytes: their role in stress defence. *Genetics*, 85(3), 237.
34. Kafi, M., & Mahdavi damghani, A. (2000). Mechanisms of plant resistance to environmental stresses (Vol. Fifth Edition), Mashhad Ferdowsi University. (in Farsi)
35. Karmollachaab, A., Gharineg, M. H., Bakhshandeh, A., Moradi Telvat, M., & Fathi, G. (2013). Effect of silicon application on physiological characteristics and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress condition. *Agroecology*, 5(4), 430-442. (in Farsi)
36. Khalid, K. A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs [*Ocimum sp.*]. *International Agrophysics*, 20(4), 289-296.
37. Lan, C.-Y., Lin, K.-H., Huang, W.-D., & Chen, C.-C. (2019). Protective Effects of Selenium on Wheat Seedlings under Salt Stress. *Agronomy*, 9(6), 272.
38. Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., & Ding, R. (2003). Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare*L.). *Plant Physiology*, 160(10), 1157-1164.
39. Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382.
40. Liu, H., Wang, X., Wang, D., Zou, Z., & Liang, Z. (2011). Effect of drought stress on growth and accumulation of active constituents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Industrial Crops and Products*, 33(1), 84-88.
41. Mahajan, M., Kuiry, R., & Pal, P. K. (2020). Understanding the consequence of environmental stress for accumulation of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants. *Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 100255.
42. Malik, J. A., Goel, S., Kaur, N., Sharma, S., Singh, I., & Nayyar, H. (2012). Selenium antagonises the toxic effects of arsenic on mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) plants by restricting its uptake and enhancing the antioxidative and detoxification mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, 77, 242-248.
43. Millar, C. E., Turk, L. M., & Foth, H. D. (1958). Fundamentals of soil science. *Soil Science*, 86(3), 168.
44. Mozaffarian, V. (1966). A Dictionary of Iranian Plant Names: Latin - English - Persian: Farhang Mo'aser. (in Farsi)
45. Nourzad, S., Ahmadian, A., & Moghaddam, M. (2015). Proline, Total Chlorophyll, Carbohydrate Amount and Nutrients Uptake in Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) under Drought Stress and Fertilizers Application. *Field Crops Research*, 13(1), 131-139. (in Farsi)
46. Rahimizadeh, M., Habibi, D., Madani, H., Mohammadi, G. N., Mehraban, A., & Sabet, A. M. (2007). The effect of micronutrients on antioxidant enzymes metabolism in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. *Helia*, 30(47), 167-174. (in Farsi)

47. Rayman, M. P. (2002). The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the nutrition Society*, 61(2), 203-215.
48. Razavizadeh, R., Shafeghat, M., & Najafi, S. (2014). Effect of water deficit on morphological and physiological parameters of *Carum copticum*. *Plant Biology*, 6(22), 25-38. (in Farsi)
49. Said-Al Ahl, H., & Hussein, M. (2010). Effect of water stress and potassium humate on the productivity of oregano plant using saline and fresh water irrigation. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3(1), 125-141.
50. Sajedi, N. A., Ardakani, M. R., Madani, H., Naderi, A., & Miransari, M. (2011). The effects of selenium and other micronutrients on the antioxidant activities and yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17(3), 215-222. (in Farsi)
51. Salmani Nodoushan, M., Abedi, M., & Vakilli, M. (2013). Selenium and Human Health. *The Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences*, 21(1), 101-112. (in Farsi)
52. Sattar, A., Cheema, M. A., Sher, A., Ijaz, M., Ul-Allah, S., Nawaz, A., . . . Ali, Q. (2019). Physiological and biochemical attributes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings are influenced by foliar application of silicon and selenium under water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41(8), 146.
53. Schutz, M., & Fangmeier, A. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO<sub>2</sub> and water limitation. *Environmental Pollution*, 114(2), 187-194.
54. Seppanen, M., Turakainen, M., & Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*, 165(2), 311-319.
55. Shamsai, A. A., Aran, M., & Fakheri, B. (2021). The effect of foliar application of selenium on physiological and biochemical characteristics of rosemary under drought stress. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 2(2), 127-139. (in Farsi)
56. Tas, S., & Tas, B. (2007). Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. *Agriculture Science*, 3, 178-183.
57. Trelease, S. F., & Trelease, H. M. (1938). Selenium as a stimulating and possibly essential element for indicator plants. *American Journal of Botany*, 372-380.
58. Wang, Z., & Huang, B. (2004). Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. *Crop science*, 44(5), 1729-1736.
59. Whanger, P. (2002). Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *Journal of the American College of Nutrition*, 21(3), 223-232.
60. Xue, T., Hartikainen, H., & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237(1), 55-61.
61. Yao, X., Chu, J., Cai, K., Liu, L., Shi, J., & Geng, W. (2011). Silicon improves the tolerance of wheat seedlings to ultraviolet-B stress. *Biological trace element research*, 143(1), 507-517.
62. Zargari, A. (1993). *Iranian Medicinal Plants*: University of Tehran. (in Farsi)