

## برهم کنش تلقیح قارچ میکوریز *Glumus verciforme* و عنصر سلنیم بر شاخص‌های رشد و بیوشیمیایی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) در شرایط تنش خشکی

قباد سلیمی<sup>۱</sup>، محمد فیضیان<sup>۲\*</sup> و ناصر علی‌اصغرزاد<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، پست الکترونیک: Feizian.m@Lu.ac.ir

۳- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۷

تاریخ اصلاح نهایی: آذر ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۷

### چکیده

تنش خشکی منجر به کاهش رشد و تغییر شاخص‌های بیوشیمیایی گیاهان می‌شود. به منظور بررسی تأثیر تلقیح با قارچ میکوریز و سلنیم بر کاهش اثرهای مخرب تنش خشکی، این آزمایش به صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در شرایط گلخانه‌ای بر روی گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) اجرا شد. فاکتور اصلی شامل سه سطح خشکی براساس حداکثر تخلیه مجاز (Maximum Allowable Depletion) (بدون تنش، ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز و ۰/۵ حداکثر تخلیه مجاز) و فاکتورهای فرعی شامل سلنیم در سه سطح (صفر، ۱۰۰ میکروگرم به ازای هر بوته و ۲۰۰ میکروگرم به ازای هر بوته) و تلقیح با قارچ میکوریزای (*Glumus verciforme*) در دو سطح (بدون قارچ، دارای قارچ) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه و سطح برگ شد؛ به طوری که کمترین و بیشترین میزان این صفات، به ترتیب در تلقیح با قارچ در ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز و در شرایط بدون تنش خشکی حاصل شد. در شرایط بدون تنش، ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه و سطح برگ حاصل از تلقیح با قارچ و سلنیم به طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. در تمام سطوح تنش خشکی، میانگین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان تلقیح شده با قارچ همراه با سلنیم به طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۲۵/۰۶) و کمترین میزان پراکسیداز (۱۴/۸۱) در تیمار شاهد بدون قارچ و سلنیم در شرایط تنش ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز بدست آمد و بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۳/۶۲) در تیمار ۲۰۰ میکروگرم سلنیم و تلقیح با قارچ در شرایط بدون تنش و بیشترین میزان فعالیت پراکسیداز (۳۱/۵۹) در شرایط تنش ۰/۵ حداکثر تخلیه مجاز و تلقیح با قارچ و استفاده از ۲۰۰ میکروگرم سلنیم بود. همچنین تلقیح با قارچ همراه با کاربرد سلنیم موجب افزایش میزان پرولین در حدود ۱ تا ۱/۵ برابر و مالون دی‌آلدئید در حدود ۱/۳ تا ۱/۵ برابر نسبت به شاهد در شرایط تنش خشکی شده است. نتایج نشان داد که حضور میکوریزا و عنصر سلنیم در شرایط تنش خشکی تأثیر مثبتی بر رشد و خصوصیات بیوشیمیایی مورد مطالعه داشت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، سطح برگ، مالون دی‌آلدئید، وزن خشک.

## مقدمه

گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) گیاهی یکساله و علفی است، گل‌ها شهدآورند و رنگ آنها آبی بنفش و یا بندرت سفید یا صورتی است. منشأ آن جنوب سبیری و دامنه‌های هیمالیا گزارش شده است. قسمت مورد استفاده این گیاه، برگ و یا کلیه اندام‌های هوایی آن است و عموماً بویی معطر و مطبوع از تمامی اندام‌های هوایی استشمام می‌شود (Omidbaigi, 2005). مواد مؤثره پیکر رویشی این گیاه، آرام‌بخش و اشتهاآور است. اسانس آن دارای خاصیت ضدباکتریایی و ضدقارچی است (Yousefzadeh & Sefidkon, 2016; Hussein et al., 2006). بادرشبو در شمال غربی ایران (تبریز، ارومیه)، یزد، مازندران (در جنگل‌های مرطوب) و در رشته‌کوه‌های البرز یافت می‌شود (Borna et al., 2007).

تنش خشکی یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین تنش‌های غیرزنده می‌باشد که رشد گیاهان را در سراسر جهان و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌کند و منجر به کاهش در عملکرد گیاهان می‌گردد (Wang et al., 2014). خشکی محتوای پتاسیم، تعرق، توسعه و بهره‌وری محصول را کاهش می‌دهد. خشکی همچنین میزان فتوسنتز، تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ و دیگر فرایندهای بیوشیمیایی مرتبط با رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Fayez & Bazaid, 2014). در گیاهان عالی، فشار تورژسانس طی تنش خشکی با کاهش رشد و نمو سلول‌ها باعث کاهش رشد برگ، سطح برگ و سطح تعرق گیاه شده، در نتیجه کاهش سطح فتوسنتزی گیاه منجر به کاهش تولید ماده خشک و عملکرد آنها می‌شود (Shao et al., 2008). با توجه به مرحله فیزیولوژیک گیاه و شدت تنش، کم‌آبی اثرهای مختلفی بر گیاه می‌گذارد.

تحقیقات فراوانی در رابطه با نقش همزیستی میکوریزی بر افزایش رشد و عملکرد گونه‌های زراعی، باغی، زینتی و سبزیجات انجام شده است. ارزیابی اثر قارچ‌های میکوریزی بر مقدار و کیفیت ماده مؤثره گیاه دارویی گشنیز نشان داد که تلقیح این گیاه با دو گونه قارچ میکوریزی *Glomus fasciculatum* و *G. macrocarpum* سبب افزایش قابل

ملاحظه کمیّت اسانس گشنیز در مقایسه با گیاه شاهد شد؛ به طوری که میزان اسانس در گیاهان تلقیح شده با گونه های مذکور به ترتیب ۲۸٪ و ۴۳٪ در مقایسه با تیمار شاهد بیشتر بود (Kapoor et al., 2010).

سلنیم عنصری مفید برای گیاهان است و از عناصر ضروری برای گیاه نمی‌باشد. عناصر مفید هرچند به طور مستقیم در متابولیسم گیاهان و تکمیل چرخه زندگی آنها دخالت ندارند، ولی در بهبود رشد رویشی و زایشی به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی و یا زیستی نقش دارند. همچنین سلنیم نقش ضد پیری در گیاهان داشته و پیری ناشی از گلدهی در گیاهان یکساله را به تأخیر می‌اندازد. سلنیم موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در برخی از گیاهان شده و مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد (Lyons et al., 2009). تیمار با سلنیم باعث افزایش مقاومت نشاهای گوجه‌فرنگی به تنش خشکی شد (Hasanuzzaman et al., 2014). تیمار سلنیم با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و پروکسیده شدن لیپیدها، اثر تنش سرمای را در خیار کاهش داد (Lyons et al., 2009). اثر مفید سلنیم به‌طور عمده به افزایش ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان نسبت داده شده است (Zhu et al., 2009). سلنیم یکی از اجزای ضروری برای فعالیت آنزیم گلوکوتایون اکسیداز است که این آنزیم در زمان تنش اکسیداتیو ناشی از خشکی و تابش اشعه ماوراء بنفش و تشکیل رادیکال‌های آزاد می‌تواند باعث افزایش تحمل گیاهان و کاهش صدمات و نابودی سلول‌ها شود (Timothy, 2001).

در مورد تأثیر تنش‌های مختلف در گیاهان دارویی که در برخی موارد تأثیر مثبت نیز بر روی میزان مواد مؤثره گیاهان دارویی دارند، متأسفانه تحقیق‌های جامع و مفصل کمتر انجام شده است. با توجه به اهمیت گیاه دارویی بادرشبو و فراوانی مناطق خشک و نیمه‌خشک در کشور و همچنین به دلیل وجود تحقیقات اندک روی میزان رشد بادرشبو و تعیین شرایط بهینه برای کشت و کار بادرشبو، نیاز به اطلاعات و تحقیقات بیشتری در این زمینه وجود دارد. بنابراین، در این پژوهش سعی شده است تأثیر قارچ میکوریزی و تغذیه با سلنیم روی شاخص‌های رشد و

بیوشیمیایی بادرشبو در شرایط تنش خشکی مورد مطالعه قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ فاکتور، قارچ میکوریز در ۲ سطح (بدون قارچ و تلقیح با قارچ (*G. versiforme*))، ۳ سطح تنش خشکی (۰/۷۵) حداکثر تخلیه مجاز، ۰/۵ و بدون حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل استفاده) و فاکتور تغذیه با سلنیم در ۳ سطح (بدون سلنیم، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکروگرم سلنات سدیم به ازای هر بوته) به صورت گلدانی در ۴ تکرار انجام شد. بذر گیاه بادرشبو از شرکت پاکان بذر، سلنات سدیم از شرکت سیگمای آلمان با (S0883 SIGMA) و مایه تلقیح میکوریزی از آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشگاه تبریز تهیه گردید. برای انجام آزمایش، ابتدا از خاک پاستوریزه شده با رطوبت اولیه حدود ۱۰٪ به مقدار ۵ کیلوگرم در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر توزین شد؛ آنگاه قبل از کشت با توجه به تعداد اسپورها در مایه تلقیح قارچی به ازای هر کیلوگرم خاک به میزان ۱۰ گرم قارچ میکوریزی (*G. versiforme*) در عمق پنج سانتی‌متری زیر بذر به هر یک از گلدان‌های تیمار قارچی برای مایه‌کوبی (Inoculation) اضافه شد (Aliasgharzad et al., 2006). سپس در هر گلدان چهار عدد بذر گیاه بادرشبو کاشته شد. گلدان‌های کشت شده تحت شرایط کنترل شده در گلخانه با دمای  $22 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰-۶۰٪ قرار داده شدند و در فواصل زمانی دو روز یک‌بار آبیاری شدند. تیمار تنش خشکی در مرحله ۶-۴ برگی گیاه اعمال گردید. برای این منظور ابتدا

بافت خاک، چگالی ظاهری خاک، رطوبت خاک در نقطه پژمردگی، ظرفیت مزرعه و آب قابل نگهداری خاک در آزمایشگاه مرکز تحقیقات آب و خاک استان کرمانشاه تعیین شده (جدول ۱)، سپس تنش خشکی براساس تیمارهای ذکر شده به صورت وزنی اعمال گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. هنگامی که ۵۰٪ بوته‌ها به مرحله گلدهی رسیدند، صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، وزن خشک و صفات فیزیولوژیک شامل میزان پرولین برگ، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز، میزان پروتئین و مالون دی‌آلدئید اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، ابتدا نمونه‌های گیاهی به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۸ درجه سانتی‌گراد خشک شده و بعد توزین شدند (Mousavi et al., 2012). برای اندازه‌گیری سطح برگ، دستگاه سطح برگ‌سنج (Leaf area meter) (ADC Bioscientific Ltd) بکار برده شد. اندازه‌گیری مقدار پرولین با استفاده از معرف نین‌هیدرین براساس روش پیشنهادی Bates (۱۹۷۳) انجام و نتایج برحسب میکروگرم بر گرم وزن تازه گزارش گردید. اندازه‌گیری کمی پروتئین براساس روش Bradford (۱۹۷۶) انجام شد. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز با روش Kara و Mishra (۱۹۷۶) اندازه‌گیری و به‌ازای هر میکروگرم بر میلی‌گرم پروتئین بافت تازه گیاهی محاسبه شد. غلظت مالون دی‌آلدئید در طول موج ۵۳۲ نانومتر اندازه‌گیری شد (Valentovic, 2006). داده‌های مربوط به آزمایش‌های مختلف در این پژوهش با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه 9.1 تجزیه و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

جدول ۱- آنالیز خاک مورد استفاده برای کشت گیاه دارویی بادرشبو

EC ( $\text{dsm}^{-1}$ )	pH	K (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	P (%)	N (%)	بافت خاک	خصوصیات خاک
۰/۸۳	۷/۴	۲۴۷	۶/۶	۰/۰۴۹	لوم رس شنی	مقدار

## نتایج

نتایج آماری حاصل از داده‌های مربوط به تأثیر قارچ میکوریز و سلنیم بر روی صفات مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی در گیاه بادرشبو به شرح زیر می‌باشد.

### ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشته است (جدول ۲)، به طوری که ارتفاع بوته در گیاه بادرشبو در شرایط تنش ۲۷٪ کاهش را نسبت به شرایط عدم تنش نشان داد. کمترین میزان ارتفاع بوته در شرایط تنش ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز بدست آمد که به طور معنی‌داری کمتر از شرایط بدون تنش و تنش ۰/۵ حداکثر تخلیه مجاز بود (جدول ۳). اثر استفاده از غلظت‌های مختلف سلنیم بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). بالاترین میزان ارتفاع بوته در تیمار ۲۰۰ میکروگرم سلنیم به ازای هر بوته به میزان ۷۹/۰۲۴ سانتی متر و کمترین میزان ارتفاع بوته هم در تیمار شاهد با مقدار ۷۴/۳۷ سانتی متر بدست آمد.

### وزن خشک گیاه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن خشک گیاه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی، سلنیم و قارچ قرار گرفت. همچنین اثرهای متقابل تنش خشکی و قارچ معنی‌دار شد (جدول‌های ۳ و ۴). به نحوی که در تنش خشکی از میزان وزن خشک گیاه کاسته شد، اما تیمار تلقیح با قارچ میکوریز موجب افزایش میزان وزن خشک گیاه گردید.

### سطح برگ

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش خشکی، تلقیح با قارچ و سلنیم و نیز اثر متقابل تنش

خشکی و سلنیم قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین‌ها در جدول‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که بیشترین سطح برگ گیاه بادرشبو در شرایط تلقیح با قارچ بدست آمد و کمترین سطح برگ در شرایط بدون تلقیح با قارچ بدست آمد. بیشترین سطح برگ در شرایط بدون تنش خشکی در گیاه بادرشبو بدست آمد که به طور معنی‌داری بیشتر از بذرهای رشد کرده در تنش خشکی بود.

### میزان پرولین و پروتئین کل

محتوای پرولین به طور معنی‌داری تحت تأثیر واکنش متقابل قارچ و سلنیم و تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج این پژوهش نشان داد که تغذیه با سلنیم در شرایط تلقیح بذر با قارچ میکوریزی منجر به افزایش محتوای پرولین گردید. بیشترین میزان پرولین (۷۱/۳۲) در شرایط بدون تنش خشکی همراه با تلقیح قارچ و سلنیم ۲۰۰ میکروگرم به ازای هر بوته می‌باشد. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان پروتئین تحت تأثیر تنش خشکی، تلقیح با قارچ و سلنیم و همچنین اثرهای سه‌گانه تنش خشکی و قارچ و سلنیم قرار گرفت اما اثرهای دوگانه متقابل بر میزان پروتئین معنی‌دار نبود. تنش خشکی باعث کاهش پروتئین‌های محلول در گیاه بادرشبو شد. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان پروتئین (۹/۲۸) در شرایط تلقیح بذر با قارچ و بدون تنش خشکی و کاربرد سلنیم ۲۰۰ میلی‌گرم به ازای هر بوته بدست آمد که به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود.

### کاتالاز و پراکسیداز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه قارچ × سلنیم × تنش خشکی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود. با توجه به جدول ۳ در شرایط تنش میزان فعالیت آنزیم

گیاه همبستگی نزدیکی با سطح برگ و سرعت فتوسنتز آن داشته و برای بدست آوردن مقادیر بیشتر وزن خشک لازم است تا سرعت فتوسنتز، با حفظ سطح برگ در سراسر فصل رشد بالا نگه داشته شود؛ به طوری که تنش خشکی موجب القای تنش اکسیداتیو در گیاه و پیری برگ‌ها می‌شود (Andalibi & Nouri, 2014) و این امر می‌تواند از دلایل کاهش عملکرد گیاه به‌شمار آید. البته کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی در گیاه دارویی بابونه (Pirzad *et al.*, 2012) و کدوی پوست کاغذی (Eskandari Zanjani *et al.*, 2011) گزارش شده‌است.

از سوی دیگر، در این تحقیق تلقیح با قارچ میکوریز منجر به تعدیل اثر منفی تنش خشکی در عملکرد رویشی بادرشبو شد. قارچ‌های میکوریزی با تشکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آنها با خاک و رطوبت و همچنین جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر را افزایش داده و به این ترتیب گیاه توانایی بیشتری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود پیدا می‌کند (Sharma & Dubey, 2005). تلقیح میکوریزی موجب بهبود قابل ملاحظه عملکرد زیستی و عملکرد اسانس گیاه دارویی علف لیمو (*Cymbopogon martini*) Gupta *et al.*, 2002). کاربرد قارچ‌های *G. fasciculatum* و *G. mosseae* میزان رشد و زی توده (Biomass) را در گیاهان مختلف مانند پیاز، گشنیز، ریحان و سویا افزایش می‌دهد (Porcel & Ruiz-Basu & Srivastava, 1998). Lozano, 2004). مصرف دو سویه مختلف میکوریزی *G. intraradiceae* و *G. mosseae* در تنش خشکی شدید توانست عملکرد فیزیولوژیک و درصد اسانس بادرشبو را ۱۰۰-۴۵٪ افزایش دهد (Fadaee *et al.*, 2018).

کاتالاز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر تنش و سلنیم و قارچ و اثرهای دوگانه قارچ × سلنیم، خشکی × قارچ و خشکی × سلنیم و اثرهای سه‌گانه قارچ × سلنیم × خشکی قرار گرفت (جدول‌های ۳ و ۴). در شرایط تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز کاهش یافت.

#### مالون دی‌آلدئید

نتایج نشان داد که تنش خشکی، سلنیم و تلقیح با قارچ اثر معنی‌داری بر میزان مالون دی‌آلدئید داشت (جدول ۱)، همچنین میزان مالون دی‌آلدئید تحت تأثیر اثرهای دوگانه تنش خشکی × قارچ، تنش خشکی × سلنیم و نیز اثرهای سه‌گانه تنش خشکی × تلقیح با قارچ × سلنیم قرار گرفت (جدول ۴). به طوری که با افزایش تنش خشکی و سطوح سلنیم میزان مالون دی‌آلدئید نیز افزایش یافت. همچنین بیشترین میزان مالون دی‌آلدئید (۴۳/۲۱) نانو مول بر گرم وزن تازه در شرایط بدون تنش خشکی همراه با سلنیم ۱۰۰ میکروگرم و تلقیح با قارچ که تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز و ۲۰۰ میلی‌گرم سلنیم و تلقیح با قارچ نداشت و کمترین میزان مالون دی‌آلدئید (۱۷/۵۷) نانو مول بر گرم وزن تازه در شرایط تیمار تنش ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز و بدون تلقیح با قارچ و بدون سلنیم بدست آمد.

#### بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که رشد و عملکرد خشک گیاه بادرشبو تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت، به طوری که با افزایش تنش خشکی میزان این کاهش بیشتر شد. تنش کم‌آبی با تأثیر منفی بر باز و بسته شدن روزنه‌ها و فعالیت آنزیمی گیاه، فرایندهای فتوسنتزی، تنفس و تعرق گیاه را مختل می‌کند، در نتیجه رشد گیاه و تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد. تولید ماده خشک

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در شرایط تنش خشکی

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	وزن خشک گیاه	سطح برگ	پرولین	کاتالاز	پراکسیداز	پروتئین
تکرار	۳	۲۵/۳۴۹ ns	۴/۸۹۴ n.s	۱۲/۷۴۳ ns	۰/۴۰۲**	۰/۰۹۱**	۰/۰۳۶**	۱۰/۰۳ ns
خشکی	۲	۳۵۵۴/۹۸۶**	۶۳۹۸/۴۶۳**	۶۲۰۷/۲۳۲**	۰/۰۵۳*	۰/۰۲۵**	۰/۰۱۲**	۷/۳۵**
خطای اصلی	۳	۳۹/۷۹۶*	۱۲۴/۸۴۲**	۷۶/۲۵۵**	۰/۱۲۳ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۱۵ ns	۱۴/۵۵**
قارچ	۱	۱۰۲/۱۹۷**	۳۱۸/۰۹۷**	۱۱۵/۷۴۳**	۰/۳۵۲**	۰/۰۱۰*	۰/۰۳۹**	۱۴/۴۳**
خشکی × قارچ	۶	۴/۰۸۷ n.s	۱۰/۳۲۲**	۵/۲۲۴ n.s	۰/۰۴۹*	۰/۰۲۲*	۰/۰۴۲**	۶/۶۴ n.s
سلنیم	۲	۴۳/۹۶۲ *	۸۸/۹۶۵*	۱۱/۶۰۶**	۰/۱۲۸**	۰/۰۰۶۵**	۰/۰۲۵**	۲۳/۶۶ **
خشکی × سلنیم	۶	۰/۷۸۷**	۹/۷۳۵ n.s	۰/۱۹۳**	۰/۰۲۴ ns	۰/۰۸۱**	۰/۰۱۵*	۱/۱۳ n.s
قارچ × سلنیم × خشکی	۱۲	۰/۷۲۳ n.s	۲/۴۵۹ n.s	۰/۹۶۴ n.s	۰/۰۴۹*	۰/۰۴۶**	۰/۰۳۲*	۰/۵۶**
خطای فرعی	۱۰۵	۱۰/۴۵۱	۱۸/۸۰۵	۷/۱۹۹	۴/۶۶	۱۵/۸۷	۵/۶۳	۵/۲۱
ضریب تغییرات	-	۱۴/۳۳۱	۸/۲۸۸	۱۴/۹۶۶	۱۲/۹۸	۱۷	۴/۳	۱۰/۶۶

ns, \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تغذیه با سلنیم و تلقیح با قارچ (*G. versiforme*) بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی بادرشبو در شرایط تنش خشکی

عامل آزمایشی	ارتفاع بوته (cm)	وزن خشک گیاه (g)	سطح برگ (cm <sup>2</sup> )	پراکسیداز ( $\mu\text{M mint}^{-1} \text{mg}^{-1}$ ) (FW)	کاتالاز ( $\mu\text{M mint}^{-1} \text{mg}^{-1}$ ) (FW)	پرولین ( $\mu\text{gr g}^{-1}$ ) (FW)	پروتئین ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) (FW)	مالون دی آلدئید ( $\text{nM g}^{-1}$ ) (FW)
قارچ	شاهد	۷۱/۰۴ b	۲۹/۸۰ b	۲۹۳/۰۸b	۲۱/۰۴۱ b	۴۹/۰۸b	۶۱/۲۰ a	۳۱/۳۰ a
	دارای قارچ	۷۵/۶۵ a	۳۴/۲۱ a	۳۶۳/۶۲ a	۲۵/۶۶ a	۵۴/۳۲ a	۵۴/۳۲ b	۲۴/۳۵ b
تنش خشکی	شاهد	۷۶/۹۲ a	۳۰/۲۰ b	۴۰۳/۰۹ c	۲۳/۹۲ c	۵۰/۰۸ b	۶۲/۰۸ c	۳۲/۸۰ c
	تنش ۰/۷۵	۷۰/۴۵ c	۳۳/۸۲ a	۴۳۱/۳۲ b	۲۶/۰۴ a	۵۳/۳۲ a	۶۴/۱۱ a	۴۴/۱۱ a
	تنش ۰/۵	۷۲/۶۵ b	۳۳/۵۸ ab	۵۳۳/۴۹ a	۲۵/۶۵ b	۵۳/۴۸ a	۶۳/۴۸ b	۲۳/۲۹ b
سلنیم	بدون سلنیم	۷۴/۳۷ c	۳۲/۰۸ b	۵۰۶/۰۸ b	۲۴/۰۴ c	۵۰/۰۸ b	۶۵/۱۸ c	۱۵/۲۸ c
	۱۰۰ میکروگرم	۷۶/۰۵ b	۳۵/۳۱ a	۵۵۸/۳۲ a	۲۷/۷۵ a	۵۵/۸۵ a	۷۰/۵۱ a	۲۰/۵۱ a
	۲۰۰ میکروگرم	۷۷/۰۲۴ a	۳۵/۵۱ a	۵۴۵/۵۱ a	۲۶/۸۲ ab	۵۳/۵۱ a	۶۹/۵۱ b	۱۹/۵۲ b

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای متقابل تیمارهای آزمایش بر صفات مورد بررسی در شرایط تنش خشکی

عامل آزمایشی	ارتفاع بوته (cm)	وزن خشک گیاه (g)	سطح برگ (cm <sup>2</sup> )	پراکسیداز $\mu\text{M mint}^{-1} \text{mg}^{-1}$ (FW)	کاتالاز $\mu\text{M mint}^{-1} \text{mg}^{-1}$ (FW)	پرولین $\mu\text{g g}^{-1}$ (FW)	پروتئین $\mu\text{g g}^{-1}$ (FW)	مالون دی آلدئید $\text{nM g}^{-1}$ (FW)
بدون قارچ، بدون سلنیم	۷۲/۰۲ d	۳۰/۸۰f	۴۹۰/۰۸bc	۱۹/۰۴ e	۴۵/۸۱c	۶۲/۰۲ d	۳/۸۰ef	۲۰/۸۰fg
بدون قارچ + سلنیم ۱۰۰ میکروگرم	۷۴/۷ c	۳۳/۸۰e	۴۹۳/۰۷bc	۲۱/۰۴ d	۴۹/۰۸b	۶۴/۷۰ c	۳/۹de	۲۳/۸۰e
بدون قارچ + سلنیم ۲۰۰ میکروگرم	۷۸/۱۸ab	۴۱/۳۵b	۵۱۳/۶۲ab	۲۳/۶۵ c	۵۱/۶۲b	۶۶/۱۸b	۴/۷۶c	۳۱/۱۶d
تلقیح با قارچ بدون سلنیم	۷۶/۵۴b	۳۸/۲۰c	۵۰۳/۸۰b	۲۴/۹۲bc	۵۲/۰۸a	۶۶/۵۴c	۸/۲۰cd	۳۸/۲۰bc
تلقیح با قارچ + سلنیم ۱۰۰ میکروگرم	۷۹/۲۴a	۴۳/۵۹ab	۵۳۳/۴۹a	۲۵/۶۲b	۵۳/۴۸a	۶۹/۲۳b	۹/۲۶ab	۴۲/۵۸a
تلقیح با قارچ + سلنیم ۲۰۰ میکروگرم	۸۱/۳۱a	۴۵/۲۱a	۵۳۳/۶۲a	۲۷/۵۴ b	۵۳/۶۲a	۷۱/۳۲a	۹/۲۸a	۴۳/۲۱a
بدون قارچ بدون سلنیم	۷۱/۰۴ d	۳۴/۸۰e	۳۹۳/۰۸۰d	۱۸/۸۱e	۳۹/۱۰e	۶۱/۰۴ d	۵/۸۰e	۱۹/۸۰g
بدون قارچ + سلنیم ۱۰۰ میکروگرم	۷۵/۶۶ bc	۳۸/۲۱c	۴۲۳/۶۲d	۲۲/۲۳c	۴۲/۶۳d	۶۵/۶۳ c	۶/۲۱c	۳۸/۵۱bc
بدون قارچ + سلنیم ۲۰۰ میکروگرم	۷۶/۹۲b	۳۹/۲۰bc	۴۵۳/۰۸c	۲۳/۰۱c	۴۵/۰۹c	۶۶/۹۲bc	۷/۲۰bc	۳۹/۵۴b
تلقیح با قارچ بدون سلنیم	۷۲/۶۵d	۳۶/۵۵d	۵۱۳/۴۴ab	۲۰/۵۲d	۵۱/۴۹b	۶۲/۶۶d	۶/۴۳d	۳۶/۵۶c
تلقیح با قارچ + سلنیم ۱۰۰ میکروگرم	۷۴/۳۷c	۴۰/۰۸b	۵۱۳/۰۸ab	۲۳/۰۵c	۵۱/۰۷b	۶۴/۳۷c	۷/۲۸b	۴۰/۵۴b
تلقیح با قارچ + سلنیم ۲۰۰ میکروگرم	۷۶/۰۵b	۴۱/۵۸b	۵۲۳/۴۸a	۳۱/۵۹a	۵۲/۴۸a	۷۰/۰۵a	۸/۵۷a	۴۱/۵۶ab
بدون قارچ بدون سلنیم	۶۰/۳۷f	۲۲/۰۸g	۲۸۰/۰۸f	۱۴/۸۱f	۲۵/۰۶g	۵۰/۳۷fg	۱/۶۵f	۱۷/۵۷f
بدون قارچ + سلنیم ۱۰۰ میلی گرم	۶۲/۰۵ef	۲۴/۳۱h	۲۸۹/۳۲f	۱۸/۲۱e	۲۸/۳۳f	۵۲/۰۵f	۲/۳۱e	۲۰/۳۱fg
بدون قارچ + سلنیم ۲۰۰ میکروگرم	۶۴/۰۲e	۳۵/۵۱d	۳۶۰/۵۱e	۱۹/۲۰e	۳۶/۵۲e	۵۴/۰۲f	۴/۵۱c	۳۵/۵۱c
تلقیح با قارچ بدون سلنیم	۶۶/۶۷de	۲۹/۸۰f	۲۹۳/۰۸d	۱۶/۵۸d	۲۹/۰۷f	۵۶/۶۵ef	۳/۸۰d	۲۹/۸۶d
تلقیح با قارچ + سلنیم ۱۰۰ میکروگرم	۶۷/۳۷de	۳۴/۲۱e	۳۶۳/۶۲e	۲۰/۰۹d	۳۶/۶۱e	۵۷/۳۴e	۵/۲۱b	۳۶/۲۱c
تلقیح با قارچ + سلنیم ۲۰۰ میکروگرم	۶۹/۳۸d	۳۵/۲۰d	۴۰۳/۰۷d	۲۱/۵۹d	۵۰/۰۵b	۵۹/۳۷e	۶/۲۰a	۳۸/۲۰c

بدون  
تنش  
خشکی

حداکثر  
تخلیه  
مجاز  
۰/۵

تنش  
خشکی  
۰/۷۵  
MAD



مقاومت به خشکی در این ارقام می‌گردد (Gomes *et al.*, 2010؛ Johari-Pireivatlou, 2010).

در شرایط تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت که یکی از دلایل افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز این است که این آنزیم نقش مؤثری در پاکسازی پراکسید هیدروژن دارد (Sharma & Dubey, 2005). تحت تلقیح بذرها با سلنیم میزان آنزیم پراکسیداز افزایش یافت که با نتایج Narimani و همکاران (۲۰۱۸) روی گیاه بادرشبو مطابقت داشت. استفاده از سلنیم سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز می‌شود که این آنزیم‌ها فعالیت پراکسیداسیون لیپید را در طی جوانه‌زنی کاهش می‌دهند (Ansari & Sharif-Zadeh, 2013).

تنش خشکی باعث افزایش پروتئین‌های محلول در گیاه بادرشبو شد که با نتایج Ghorbanli و همکاران (۲۰۱۱) روی سیاهدانه مطابقت داشت. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود بیشترین میزان پروتئین در شرایط تلقیح بذر با قارچ و تنش خشکی ۰/۷۵ حداکثر تخلیه مجاز و کاربرد سلنیم ۲۰۰ میلی‌گرم به ازای هر بوته بدست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین حاصل می‌شود. افزایش مقدار پروتئین‌ها تحت تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل تحریک رشد مشاهده شده توسط سلنیم و نشان‌دهنده تحریک متابولیسم نیتروژن در کنار تحریک متابولیسم کربن در گیاهان تحت تیمار سلنیم باشد. افزایش فعالیت آنزیم نترات ردوکتاز در گندم تحت تأثیر سلنیم گزارش شده است (Nowak *et al.*, 2004).

میزان مالون دی‌آلدئید در این پژوهش در شرایط تنش خشکی افزایش یافت که در گزارش‌های گذشته نیز در گندم، خردل، جو و سویا نیز مالون دی‌آلدئید با افزایش تنش خشکی افزایش یافت (Davoodifar *et al.*, 2012). اینگونه به‌نظر می‌رسد که افزایش سطح مالون دی‌آلدئید در تیمار تنش آب و تحت تأثیر سلنیم به‌دلیل نقش

سلنیم دارای قابلیت تنظیم وضعیت آب گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد و اثر محافظتی سلنیم در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش ظرفیت جذب آب توسط سیستم ریشه بوجود می‌آید و رابطه مستقیمی بین ماده خشک و کاربرد سلنیم دیده شد؛ کاربرد سلنیم مقاومت به تنش خشکی را افزایش می‌دهد (Kuznetsov *et al.*, 2003). از سلنیم به‌عنوان یک راهکار مناسب برای افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان جهت افزایش عملکرد در شرایط کمبود آب و کاهش خسارت بر اکوسیستم زراعی می‌توان استفاده نمود (Diepenbrock, 2000). در این بررسی افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاهان در شرایط تنش خشکی در حضور سلنیم نیز نشان‌دهنده تأثیر این عنصر در افزایش تحمل گیاهان است. در یک تحقیق اثر تنش خشکی و کاربرد سلنیم را روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فیزیولوژیک جو مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد که گیاه کشت شده در شرایط تنش خشکی با کاربرد سلنیم در مقابل آسیب ناشی از تنش، تحمل بهتری به‌دلیل افزایش فعالیت کاتالاز و اکسیداز و کاهش پراکسید شدن لیپیدها نشان می‌دهد. این نتایج نشان داد که کاربرد این ماده سیستم دفاعی گیاه را در شرایط تنش افزایش می‌دهد (Habibi, 2013). علاوه‌براین، اثرهای مثبت سلنیم در تغییر فعالیت و نفوذپذیری غشای سلولی می‌باشد و این می‌تواند یکی از علائم تأثیر سلنیم روی گیاه باشد، همچنین سلنیم می‌تواند جذب و تجمع عناصر معدنی را تغییر دهد (Filek *et al.*, 2008).

در این تحقیق تنش خشکی باعث افزایش تجمع پرولین و کاهش پروتئین‌های محلول در بادرشبو شد. در بافت‌های برگ‌های بسیاری از گیاهان کمبود آب باعث افزایش ۱۰ تا ۱۰۰ برابری پرولین آزاد می‌شود. پرولین، پروتئین‌ها را در برابر آب‌زدایی حفظ می‌کند و در تنظیم اسمزی نقش دارد و باعث مقاومت به خشکی می‌شود. تنش خشکی باعث افزایش معنی‌داری در تجمع میزان پرولین در ارقام مختلف گندم می‌شود و این افزایش باعث

- Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 8(4): 253-261.
- Bates, L.S., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.
  - Basu, M. and Srivastava, N.K., 1998. Root endophytes in medicinal plants: their population and effect. 7th International Congress of Plant Pathology, Edinburgh, Scotland, 9-16 August: 19.
  - Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
  - Borna, F., Omidbaigi, R. and Sefidkon, F., 2007. The effect of sowing dates on growth, yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23(3): 307-314.
  - Cunhua, S., Joui-jie, S., Dan, W., Wei, B.L. and Dong, S., 2011. Effects on physiological and biochemical characteristic of medicinal plant pigweed by drought stress. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(17): 4041-4048.
  - Davoodifar, M., Habibi, D., Davoodifar, F.A., 2012. Effects of salinity stress on membrane stability, chlorophyll Content and yield components of wheat inoculated with plant growth promoting bacteria and humic acid. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 5(2): 61-72.
  - Diepenbrock, W., 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Field Crops Research*, 67: 35-49.
  - Eskandari Zanjani, K., Shirani Rad, A.H., Naeimi, M., Moradi, A. and Taherkhani, T., 2011. Effect of zeolite application and selenium spraying at drought stress conditions on undr in different moisture regimes. *Crop Production in Enviromental Stress*, 3(1): 71-85.
  - Fadaee, E., Parvizi, Y., Gerdakane, M. and Khanahmadi, M., 2018. The effects of mycorrhiza (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradiceae*) and phosphorus on growth and phytochemical traits of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Journal of Medicinal Plants*, 17(66): 100-112.
  - Fayez, K.A. and Bazaid, S.A., 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(1): 45-55.
  - Filek, M., Keskinen, R., Hartikainen, H., Szarejko, I., Janiak, A., Miszalski, Z. and Golda, A., 2008. The protective role of selenium in rape seedlings subjected to cadmium stress. *Journal of Plant Physiology*, 165(8): 833-844.
  - Ghorbanli, M., Adib hashemi, N. and Peyvandi, M., 2010. Study of salinity and ascorbic acid on some physiological responses of *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 8(4): 253-261.
- دفاعی و حفاظتی این مارکر زیستی در برابر تنش‌های اکسایشی است. به‌علاوه اینکه افزایش سطح مانع از آسیب رساندن اکسیژن به سلول در شرایط خشکی می‌گردد. وجود یک عنصر مانند سلنیم می‌تواند واکنش به تنش کمبود آب را تحریک کند، پس می‌توان نتیجه گرفت که مالون دی‌آلدئید در جلوگیری از تخریب و از بین رفتن سلولها در برابر تنش کمبود آب نقش دارد؛ به‌طوری که مالون دی‌آلدئید به‌عنوان یک منبع واکنش به گونه‌های اکسیژن به‌شمار می‌رود و افزایش فعالیت مالون دی‌آلدئید تحت تأثیر سلنیم عمدتاً به همین دلیل می‌باشد (Cunhua *et al.*, 2011). با توجه به نتایج بدست‌آمده از این پژوهش، به نظر می‌رسد کاربرد قارچ میکوریزا و سلنیم در مناطقی که در طی ماه‌هایی از سال در معرض تنش خشکی هستند، می‌تواند برای بهبود رشد و عملکرد گیاه مفید واقع شود.
- نتایج بدست‌آمده در این آزمایش نشان داد که به‌طورکلی تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع، سطح برگ، میزان وزن خشک گیاهچه و همچنین مالون دی‌آلدئید و پروتئین و سبب افزایش غلظت پرولین در اندام هوایی گیاه شد. ولی استفاده از تیمارهای سلنیم همراه با تلقیح قارچ میکوریزا، اثرهای مخرب تنش خشکی را به‌طور معنی داری کاهش داد و برای کاهش اثرهای نامطلوب تنش خشکی می‌توان از برهم‌کنش این تیمارها استفاده کرد.

#### منابع مورد استفاده

- Aliasgharzar, N., Neyshabouri, M.R. and Salimi, G., 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. *Biologia*, 61(19): 324-328.
- Andalibi, B. and Nouri, F., 2014. Effect of cycocel on photosynthetic activity and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 22: 91-104.
- Ansari, O. and Sharif-Zadeh, F., 2013. Osmo and hydro priming improvement germination characteristics and enzyme activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress.

- A. and Nemati, S.H., 2018. Effect of humic acid and ascorbate on growth and biochemical traits of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under salinity stress. *Plant Process and Function*, 7(23): 297-313.
- Nowak, J., Kaklewski, K. and Ligocki, M., 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(10): 1553-1558.
  - Omidbaigi, R., 2005. Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 1). Astan Quds Razavi Publications, 348p.
  - Pirzad, A., Fayyaz, M.A., Razban, M. and Raei, Y., 2012. The evaluation of dried flower and essential oil yield and harvest index of *Matricaria chamomilla* L. under varying irrigation regimes and amounts of super absorbent polymer (A200). *Journal of Agricultural Science*, 22(3): 85-99.
  - Porcel, R. and Ruiz-Lozano, J.M., 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 55(403): 1743-1750.
  - Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A. and Zhao, C.X., 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3): 215-225.
  - Sharma, P. and Dubey, R.S., 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 46(3): 209-221.
  - Timothy, P., 2001. Glutathione-related enzymes and selenium status: implications for oxidative stress. *Biochemical Pharmacology*, 62: 273-281.
  - Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L. and Gasparikova, O., 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment*, 52(4): 186-191.
  - Wang, X., Vignjevic, M., Jiang, D., Jacobsen, S. and Wollenweber, B., 2014. Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum* L. var. *vinjett*). *Journal of experimental botany*, 65(22): 6441-6456.
  - Yousefzadeh, S. and Sefidkon, F., 2016. Investigation of quantitative and qualitative traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in several habitats of East and West Azerbaijan provinces. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(4): 728-741.
  - Zhu, Z., Liang, Z., Han, R. and Wang, X., 2009. Impact of fertilization on drought response in the medicinal herb *Bupleurum chinense* DC. growth and saikosaponin production. *Industrial Crops and Products*, 29(2-3): 629-633.
  - Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26(3): 370-388.
  - Gomes, F.P., Oliva, M.A., Mielke, M.S., Almeida, A.A.F. and Aquino, L.A., 2010. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 126(3): 379-384.
  - Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M. and Kumar, S., 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology*, 81(1): 77-79.
  - Habibi, G., 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. *Acta Agriculturae Slovenica*, 101(1): 31-39.
  - Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M., 2014. Silicon and selenium: two vital trace elements that confer abiotic stress tolerance to plants. In *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*, 1: 377-422.
  - Hussein, M.S., El-Sherbeny, S.E., Khalil, M.Y., Naguib, N.Y. and Aly, S.M., 2006. Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plants in relation to compost fertilizer and planting distance. *Scientia Horticulturae*, 108(3): 322-331.
  - Johari-Pireivatlou, M., 2010. Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. *African Journal of Biotechnology*, 9(1): 036-040.
  - Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M.A., Amir, A. and Kumar, H., 2010. Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(3): 158-162.
  - Kara, M. and Mishra, D., 1976. Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activities rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57(2): 315-319.
  - Kuznetsov, V.V., Kholodova, V.P., Kuznetsov, V.V. and Yagodin, B.A., 2003, May. Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. *Doklady Biological Sciences*, 390(1): 266-268.
  - Lyons, G.H., Genc, Y., Soole, K., Stangoulis, J.C.R., Liu, F. and Graham, R.D., 2009. Selenium increases seed production in Brassica. *Plant and Soil*, 318(1-2): 73-80.
  - Mousavi, S., Seghatoleslami, M., Ansarinia, E. and Javadi, H., 2012. The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28(3): 493-508.
  - Narimani, R., Moghaddam, M., Ghasemi Pirbalouti,

**Interaction between arbuscular mycorrhizae fungi inoculation  
(*Glomus verciforme*) and selenium nutrition on growth and biochemical indices of  
Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.)  
under drought stress condition**

**Gh. Salami<sup>1</sup>, M. Feizian<sup>2\*</sup> and N. Aliasghar zad<sup>3</sup>**

1- Ph.D. student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

2\*- Corresponding author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

E-mail: Feizian.m@Lu.ac.ir

3- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

Received: July 2018

Revised: December 2018

Accepted: December 2018

**Abstract**

Drought stress causes reduction in growth and changes in biochemical indices of plants. In order to investigate the effect of arbuscular mycorrhizal fungi and selenium on reduction the detrimental effects of drought stress in Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.), a split plot-factorial experiment based on complete randomized block design with four replications was carried out under greenhouse condition. The main factor was three levels of drought [control, 0.75 Maximum Allowable Depletion (MAD) and 0.5 MAD] and sub factors included selenium at three levels (0, 100 µg per plant and 200 µg per plant) and inoculation with mycorrhizal fungi in two levels (non-inoculated as control and *Glomus.verciforme*). The results indicated that drought stress reduced height, dry weight and leaf area of plants. The lowest and highest value for all of these characteristics was obtained at 0.75 MAD and without drought stress, respectively. In non-stress condition, height, dry weight and leaf area of plants obtained from inoculation with mycorrhizal fungus and selenium were significantly higher than those of control. In all levels of drought stress, the content of catalase and peroxidase enzymes in plants inoculated with mycorrhizal fungus and selenium was significantly higher than that of control. The lowest content of catalase enzyme (25.06) was obtained in control and lowest content of peroxidase (14.81) was in the treatment with mycorrhizal fungus and selenium under 0.75 MAD drought stress. The highest content of catalase enzyme (53.62) was in inoculation with mycorrhizal fungus and 200µg selenium without stress, and the highest content of peroxidase (31.59) was obtained in 0.5 MAD stress and inoculation with mycorrhizal fungus and 200 µg selenium. Also, in condition of inoculation with fungus and selenium, the content of proline and MDA increased about 1 to 1.5 folds and about 1.3 to 1.5 folds, respectively, more than the control. Results showed that the presence of mycorrhiza and selenium in drought stress condition had a positive effect on growth and biochemical indices studied.

**Keywords:** Antioxidant enzymes, proline, leaf area dry, malon de aldehyd, weight.