نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، ص. ۱۷۷-۱۶۹

Journal of Agroecology
Vol. 5, No. 2, Summer 2013, p. 169-177

تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.)

بهروز اسماعیل پور[1*]، پریسا جلیل‌وند[2] و جواد هادیان[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۲۰

چکیده

تنش کمبود آب به‌طور دائم یا موقت، در رشد و توزیع پوشش طبیعی گیاهان بیشتر از سایر عوامل محیطی محدودکننده است. به‌منظور بررسی تأثیر قارچ های آربوسکولارمایکوریزا (AM) و تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) (توده بومی شهرری) آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در مزرعه پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۸۹ انجام شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل دو گونه قارچ مایکوریزا (*Glomus etunicatum* و *G.versiformi*) و تنش خشکی در سه سطح (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به عنوان شاهد، ۳۰ و۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) بود. نتایج حاصل نشان داد که هشت هفته پس از آغاز تیمارهای خشکی، خصوصیات رویشی مانند ارتفاع ساقه، تعداد و مساحت سطح برگ، طول ریشه، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه با افزایش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. روابط آبی تمام گیاهان از جمله محتوای نسبی آب برگ در اثر خشکی به شدت تحت تأثیر قرار گرفت و کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان فسفر برگ کاهش و مقدار پتاسیم برگ افزایش یافت. در پاسخ به تنش خشکی، فرآیندهای تنظیم اسمزی در گیاهان مرزه فعال شد و میزان پرولین در برگ ها افزایش یافت. تلقیح با قارچ میکوریزا شاخص‌های رشد رویشی، محتوای نسبی آب گیاه و محتوای فسفر و پتاسیم برگ گیاه مرزه را در شرایط تنش خشکی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده به طور معنی‌داری افزایش، ولی میزان پرولین برگ را کاهش داد. به‌طور کلی، کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش مقاومت به تنش خشکی در گیاه مرزه شد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، پرولین، ظرفیت مزرعه، فراهمی فسفر، گیاه دارویی

مقدمه

مرزه با نام علمی *Satureja hortensis* L. گیاهی است از خانواده نعناع که در بسیاری از نقاط دنیا به عنوان سبزی، گیاهی ادویه‌ای و آشپزخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. اندام هوایی گل‌دار مرزه در طب سنتی با اثرات شناخته شده ضد نفخ، ضد دل درد، ضد کرم، مقوی معده، محرک و خلط‌آور به کار می‌رود (Hajhashemi et al., 2000). از اسانس مرزه در صنایع کنسروسازی و نوشابه‌سازی استفاده می‌شود، عطر قوی این گیاه به خاطر وجود روغن‌های فرار مخصوصاً تیمول است (Deans & Svoboda, 1989). تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین باعث کاهش جذب آب توسط سیستم ریشه گیاه، کاهش تعرق، کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز و همچنین به هم خوردن موازنه هورمونی در گیاه می‌گردد (Khalafallah & Abo-Ghalia, 2008). وقتی پتانسیل آب خاک کاهش می‌یابد، گیاهان برای حفظ قدرت جذب آب باید پتانسیل آب درونی را به قدری کاهش دهند تا به یک شیب مطلوب برسد. برای ایجاد جریان آب از خاک به داخل ریشه‌ها، مهم‌ترین مکانیسم، تنظیم اسمزی نامیده می‌شود که گیاه پتانسیل اسمزی را توسط انباشتگی فعال یون‌های آلی یا مواد محلول کاهش می‌دهد. مواد محلولی که در تنظیم اسمزی نقش دارند، شامل یون‌های غیرآلی (مثل پتاسیم، کلسیم و کلر) یا ترکیبات غیربردار آلی مثل پرولین و یا کربوهیدرات-ها هستند (Aliasgharzad et al,.2006).

قارچ میکوریزای وزیکولار– آربوسکولار یکی از انواع کودهای زیستی است. میکوریزا همزیستی مسالمت‌آمیز انواعی از قارچ‌های خاکزی و ریشه گیاهان است، انتقال مواد بین سلول‌های کورتکس

۱، ۲ و ۳- به ترتیب به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی و استادیار گروه کشاورزی دانشگاه شهید بهشتی تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: behsmaiel@yahoo.com)

ریشه گیاه کلونیزه شده با قارچ و آربوسکول‌های قارچ، مهمترین مشخصه‌ی همزیستی میکوریزآربوسکولار می‌باشند. همزیستی قارچی مواد کربوهیدارتی را عمدتاً به شکل ساکارز از گیاه دریافت می‌کند و عناصر غذایی (عمدتاً فسفر) را در اختیار گیاه قرار می‌دهد. به این ترتیب که عناصر غذایی از غشاء آربوسکول از طریق حامل‌های غشایی که با شیب پروتون عمل می‌کنند به صورت فعال در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و مواد کربوهیدراتی موجود در آوند آبکش گیاه ابتدا توسط قارچ به گلوکز و فروکتوز تبدیل شده و سپس توسط حامل‌ها جذب می‌گردد (Smith et al., 2010). قارچ‌های میکوریزای وزیکولار– آربوسکولار در سال‌های اخیر برای مقابله با کم آبی و تنش‌های خشکی در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است (Song, 2005). مطالعات بوم‌شناسی و فیزیولوژیکی اثبات کرده است که اغلب همزیستی میکوریزای باعث جذب بهتر آب از خاک می‌شود. قارچ های میکوریزا، باعث افزایش سطح جذب ریشه می‌شوند که به گیاه میزبان کمک می‌کنند تا میزان آب بیشتری از خاک جذب نماید (Auge et al,2001). قارچ‌های میکوریزا در گیاهانی که دارای ریشه های بدون انشعاب هستند، کارایی بیشتری دارند. همزیستی میکوریزا اغلب منجر به تغییر سرعت حرکت آب در خارج و داخل گیاهان میزبان شده و روی آب‌گیری بافت و فیزیولوژی برگ تأثیر می‌گذارد (Auge et al., 2001). گاهی اوقات رابطه همزیستی میکوریزا از طریق اجتناب از خشکی، گیاهان را در مقابل تنش حفظ می کند و این کار را با افزایش جذب عناصر فسفر و سایر عناصر ضروری برای رشد و توسعه گیاه انجام می‌هد (Auge et al., 2001). پانوار (Panwar, 1993) گزارش کرد که همزیستی میکوریزا، کاهش در محتوای نسبی آب برگ گندم (*Triticum aestivum* L.) در طول تنش خشکی را به تاخیر می‌اندازد و به برگ‌ها اجازه می‌دهد تا روزنه‌های خود را در محتوای نسبی آب برگ پایین، باز نگه دارند. عبدالناصر (Abdul-Naser, 1998) گزارش کرد که کدو (*Lagenaria vulgaris* L.) تلقیح شده با قارچ (*Glomus intraradices* L.) بهتر از گیاهان شاهد، خشکی را تحمل نمود. وقوع خشکسالی‌های مداوم در سال‌های اخیر که پهنه عظیمی از کشور را تحت تأثیر قرار داد، زنگ خطر مکرری را برای تولیدات کشاورزی و ثبات تولید به صدا درآورد. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد مرزه در شرایط تنش کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۸۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا *Glomus etunicatum*، *G. versiformis* و بدون تلقیح به عنوان شاهد و سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری کامل (نگهداری رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) به‌عنوان شاهد و آبیاری به میزان ۳۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه در خاک به‌عنوان دو سطح تنش در نظر گرفته شد. بذر مرزه از توده بومی شهرری از پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی و دو گونه قارچ میکوریزا از آزمایشگاه بیولوژی خاک دانشگاه تبریز تهیه شد. بستر خاکی مورد استفاده شامل نسبت ۲:۱ خاک به ماسه بود که دارای بافت لومی رسی بود. ابتدا خاک مورد استفاده به منظور ضدعفونی به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر اتوکلاو گردید. سپس برای مایه‌کوبی هر کیلوگرم از خاک، مقدار ۵۰ گرم از هر یک از دو گونه قارچ میکوریزا استفاده شد. هشت کیلوگرم از این خاک داخل هر یک از گلدان‌ها ریخته شد. محلول غذایی (۱۵۰ گرم سولفات پتاسیم، ۳۵ گرم فسفات پتاسیم و ۱۵۰ گرم اوره) تهیه شده و از این محلول حدود ۱۳ میلی‌لیتر به ۴۰۰ میلی‌لیتر آب اضافه گردیده و به خاک هر گلدان به‌طور جداگانه اضافه گردید تا به حد ظرفیت زراعی برسد و بعد بذرها کشت گردیدند. پس از سبز شدن بذرها، تنک کردن گیاهچه‌ها در چند مرحله انجام گردید و در نهایت، داخل هر گلدان دو بوته نگهداری شد.

برای اعمال تنش خشکی ابتدا آب قابل نگهداری در آزمایشگاه و با رسم منحنی رطوبتی خاک محاسبه و بقیه ی تیمارهای خشکی بر مبنای آن محاسبه گردید. ۱/۵ ماه بعد از کشت (مرحله شش برگی شدن) تیمارهای خشکی بر گلدان‌ها اعمال شد. تیمارهای خشکی در سه سطح بدون تنش، ۶۰ درصد (تنش خشکی ملایم) و ۳۰ درصد (تنش خشکی شدید) ظرفیت مزرعه اعمال گردید. رطوبت خاک در محدوده ظرفیت مزرعه ۲۶ درصد بود. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار تنش خشکی، از طریق وزن نمودن گلدان‌ها انجام گرفت (Jacob & clarck, 2002).

در مرحله گلدهی کامل، پارامترهای رویشی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، طول ریشه، سطح برگ، وزن خشک ساقه و ریشه اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه گیاهی به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن شدند. مساحت سطح برگ (در پایان دوره رشد و پس از جدا کردن برگ‌ها از ساقه) با دستگاه سنجش سطح برگ تعیین گردید و مقدار کلروفیل کل به وسیله دستگاه کلروفیل‌سنج دستی مدل CCM200 اندازه‌گیری شد.

محتوای نسبی آب برگ: برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ از هر گلدان پنج عدد دیسک برگی به قطر یک سانتی‌متر تهیه شد. دیسک‌های برگی پس از توزین، در داخل لوله‌های آزمایشی

محتوی آب مقطر قرار داده شدند. درب لوله‌های آزمایشی با فویل پوشیده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به حداکثر وزن اشباع خود برسند. سپس با ترازوی دقیق، وزن آماس نمونه‌ها محاسبه شد. دیسک‌ها در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. وزن خشک دیسک‌ها با ترازویی به دقت ۰/۰۰۰۱ بدست آمد. محتوی نسبی آب برگ در نهایت از معادله (۱) محاسبه گردید (Barrs &Weatherly, 1962).

$$RWC = \frac{LWF - LWD}{LWT - LWD}$$ معادله (۱)

که در این معادله، RWC: محتوی نسبی آب برگ LWF: وزن تر، LWT: وزن آماس و LWD: وزن خشک برگ‌هاست.

تنظیم‌کننده‌های اسمزی: برای تعیین غلظت عناصر غذایی فسفر و پتاسیم موجود در بخش هوایی، نمونه گیاهی از زیست‌توده گیاه به‌طور تصادفی از هر تکرار تهیه گردید. نمونه‌های فراهم شده را پس از خشک کردن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت به‌وسیله آسیاب در تاریکی پودر کرده و در نهایت، به روش هضم توسط اسید سولفوریک، اسید سالیسیک، آب اکسیژنه و سلنیم، عصاره آنها تهیه شد. پتاسیم کل به روش نورسنجی شعله با دستگاه فیلم فتومتر و فسفر کل به روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Jenway اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

اندازه‌گیری میزان پرولین با استفاده از روش (Bates et al., 1973) انجام گرفت. به این منظور، مقدار ۰/۱ گرم بافت برگی نگهداری شده در فریزر در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد سائیده و همگنای حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و با سرعت ۴۰۰۰ rpm در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید و در لوله جداگانه دیگری، به دو میلی‌لیتر از عصاره، دو میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین (۱/۲۵ گرم پودر اسید ناین هیدرین را در ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلایسیال حل نموده و سپس ۲۰ میلی-لیتر اسید فسفریک شش مولارآماده شده به آن اضافه گردید) و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص اضافه گردید. لوله‌ها به مدت یک ساعت در بن‌ماری قرار گرفته و پس از اضافه کردن چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر کدام از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردیدند. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز بالایی رنگی، با دقت جدا و در دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. پرولین در قسمت بالایی لوله به رنگ زرد متمایل به قرمز دیده شد. به کمک رسم منحنی و تهیه معادله خطی منحنی استاندارد غلظت پرولین تعیین و بر حسب میکروگرم بر گرم محاسبه شد. داده‌های مربوط به آزمایش‌های مختلف در این پژوهش با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.1 تجزیه شده و مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Amirabadi et al., 2012) صورت گرفت. نمودار نیز با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

خصوصیات رویشی: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر صفات تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، وزن خشک برگ و ساقه، طول ریشه، سطح برگ، معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بدست آمد. اثر قارچ میکوریزا نیز بر صفات تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، طول ریشه، وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد و بر صفات وزن خشک برگ و ساقه، سطح برگ و ارتفاع بوته معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بدست آمد (جدول ۱). با توجه به مقایسه میانگین تأثیر تیمارها (جدول ۲) ملاحظه می‌گردد که با افزایش شدت تنش خشکی تمام صفات رویشی از قبیل تعداد برگ، مساحت سطح و وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک ساقه، طول و وزن خشک ریشه در گیاه مرزه کاهش یافت؛ به‌طوری که بیشترین مقادیر برای تمامی این صفات در تیمار آبیاری کامل حاصل شد و کمترین مقادیر نیز در شرایط تنش آبی شدید (درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) به‌دست آمد. پسراکلی و همکاران (Pessarakli et al., 1989)، حسنی و امید بیگی (Hassani & Omidbaigi, 2002) و باهر و همکاران (Baher et al., 2001) کاهش وزن خشک ریشه، ساقه و برگ و ارتفاع بوته گیاهان لوبیا (*Phasaeolous vulgaris* L.)، ریحان (*Ocimum) (basilicum* L.) و مرزه (*Satureja hortensis* L.) را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. پیشنهاد شده است که رشد کم، یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است، به این دلیل که گیاه، مواد غذایی و انرژی را به جای استفاده برای رشد شاخساره، به سمت مولکول‌های نگهداری‌کننده در برابر تنش، هدایت می‌کند (Khalid, 2006). تأثیر تنش خشکی بر کاهش ماده خشک گیاهان را می‌توان این گونه بیان داشت که به طور کلی، کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه، جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد که پیامد آن کم شدن ذخیره کربن و کاهش ماده خشک می‌باشد (Hu & Schmidhalter, 2005). تلقیح با قارچ میکوریز آربوسکولار در افزایش شاخص‌های رویشی گیاه در شرایط تنش خشکی مؤثر بود به‌طوری که بیشترین مقادیر تعداد برگ، مساحت سطح و وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک ساقه، طول و وزن خشک ریشه در تلقیح گیاه مرزه با قارچ ورسی فورمیس به دست آمد و کمترین مقدار برای این صفات در تیمار شاهد (بدون قارچ میکوریزا) حاصل شد (جدول ۲). نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های (Khalied & Elkhider, 1993) در گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum* Mill.)، (Wu & Xia, 2006) در نارنج سه برگ (*Poncirus triliantus* L.) و (Sensoy et al., 2007) در فلفل (*Capsicum Annuum* L.) همسویی دارد.

مکانیسم‌های مختلفی در ارتباط با تأثیر میکوریزا بر رشد رویشی گیاهان ذکر شده است. یکی از مهم ترین این مکانیسم‌ها، تأثیر میکوریزا بر جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک است (Abdelhafez & Abdel-Monsief, 2006). به‌طور کلی تحرک فسفر در خاک کم می‌باشد و زمانی‌که تنش خشکی ایجاد می‌شود، از تحرک این عنصر بیشتر کاسته شده و سرعت انتشار آن در خاک محدود می‌شود. قارچ‌های میکوریزا قادرند با استفاده از گسترش ریسه‌های خارجی و تغییر مورفولوژی ریشه گیاهان، سطح جذب ریشه و انتقال مواد غذایی به ریشه را افزایش دهند (James et al., 2008). همچنین تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های میکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول در آید و برای ریشه قابل جذب گردد (Song, 2005). همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه از طریق جذب آب و عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود رشد، نظیر ارتفاع گیاه می‌گردد (Khalvati et al., 2005).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورفولوژیک مرزه تلقیح شده با میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی

Table 1- Analysis variance (means of squares) of some morphological of savory inoculated with mycorrhiza under drought stress condition

وزن خشک ریشه Root dry weight	طول ریشه Root length	وزن خشک ساقه stem dry weight	تعداد شاخه فرعی Lateral branches	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک برگ leaf dry weight	سطح برگ Leaf area	تعداد برگ Leaf number	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
0.46**	229.95**	4.4**	124.69**	423.13**	1.06**	38639.06**	29090.86**	2	تنش خشکی (D) Drought stress (D)
0.32**	36.23**	1.26*	57.69**	91.05*	0.18*	9254.10*	10712.53**	2	قارچ میکوریزا (M) Mycorrhizae fungi (M)
0.01 ns	37.85 ns	0.25 ns	8.44 ns	11.83 ns	0.08 ns	1541.27 ns	1398.11 ns	4	D×M
0.0326	3.496	0.308	3.175	10.15	0.04	1256.53	1513.03	27	اشتباه آزمایش Error
25.47	9.42	23.84	11.4	7.9	21.15	12.2	13.7		ضریب تغییرات (٪) CV (٪)

ns، * و**: به ترتیب نمایانگر غیرمعنی‌داربودن و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: are non- significant and significant at 5 and 1 % probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیک مرزه تلقیح شده با میکوریزا تحت شرایط بروز تنش خشکی

Table 2- Mean comparisons of some morphological traits in savory with mycorhiza inoculation affected by drought stress

وزن خشک ریشه Root dry weight	طول ریشه Root length	وزن خشک ساقه Stem dry weight	تعداد شاخه فرعی Lateral branches	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک برگ Leaf dry weight	سطح برگ Leaf area	تعداد برگ Leaf number	تیمار Treatment	
0.79a	24.04 a	45.87 a	18.67 a	2.88 a	1.3 a	341.6 a	328.58a*	100	تنش خشکی برحسب (٪) F.C Drought stress based on FC (%)
0.62b	20.21 b	41.25 b	16 b	2.42 b	1.2 b	300.6 b	292.33 b	60	
0.39c	15.31 c	33.95 c	12.25 c	b1.68	0.72 c	229.47c	231.17 c	30	
0.54 b	17.58 b	37.41 b	13.66c	1.5 b	0.87 b	278.8 a	250.25 b	noun-mycorrhizae	میکوریزا Mycorrhiza
0.64 a	20.96 a	42.87 a	18 b	2.46 a	1.3 a	297.32 a	298.50 a	*g.versiformis l.*	
0.62 a	20.75 a	40.79 a	15.25 a	2.41a	1.07 a	295.57 a	290.33 a	*g.etunicatum* l	

* در هرستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

*Means with the same letter(s) in each column and for each component are not significantly different at p≤0.05 probability level

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیک مرزه تلقیح شده با میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی
Table 3- Analysis of variance (means of squares) of some physiological traits of savory inoculated with mycorrhiza under drought stress condition

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فسفر phosphorous	پتاسیم Potassium	کلروفیل Chlorophyll	محتوای نسبی آب Relative watwer content	پرولین Proline
تنش خشکی Drought stress(D)	2	0.008**	321.85**	445.12**	0.045**	0.0053**
قارچ میکوریزا Mycorrhiz(M) fungi	2	0.0028*	112.53*	91.69*	0.033**	0.0003**
D× M	4	0.009 ns	37.42 ns	15.96 ns	0.003 ns	0.0034*
اشتباه آزمایش Error	27	0.0007	27.684	10.519	0.004	0.0003
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		19.90	10.77	8.7	8.44	21.7

ns، * و**: به ترتیب نمایانگر غیرمعنی‌داربودن و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.
ns, * and **: are non- significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

محتوای فسفر و پتاسیم برگ: بر اساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا بر محتوای فسفر و پتاسیم برگ‌ها درگیاه مرزه معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح با قارچ میکوریزا برای این صفات معنی‌دار به‌دست نیامد (جدول ۳). با افزایش تنش خشکی مقدار فسفر در اندام‌های هوایی گیاه مرزه کاهش یافت. بیشترین میزان فسفر در تیمار آبیاری کامل و کمترین میزان فسفر برگ در گیاهان پرورش یافته تحت تیمار ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه حاصل شد (جدول ۴). بیشترین میزان پتاسیم در گیاهان تحت تیمار تنش خشکی شدید ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای حاصل شد که با تیمار ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی از مقدار این صفت برای تیمار بدون تنش (آبیاری کامل) به طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۴). پتاسیم یکی از مهمترین کاتیون‌های مورد نیاز گیاه می‌باشد که تجمع آن در هنگام تنش اسمزی در تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ای نقش ایفا می‌کند. سانتوز و آلجو (Santos & Alejo, 1994) با بررسی اثر تنش خشکی بر فلفل مشاهده نمودند که تنش رطوبتی سبب افزایش درصد جذب پتاسیم می‌شود که این امر را به دلیل تنظیم فشار اسمزی می‌دانند. البته تیمار با قارچ میکوریزا آربوسکولار در افزایش جذب فسفر و پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی مؤثر بود؛ به‌طوری که بیشترین مقدار برای این دو عنصر معدنی در تیمار تلقیح با قارچ *ورسی فورمیس* به‌دست آمد (جدول ۴). قارچ‌های میکوریزا بوجود آورنده یکی از همزیستی‌های مفید در ریشه اکثر گیاهان بوده و نقش کلیدی در چرخه عناصر غذایی و همچنین مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی دارند) (Azcon-Aguilar & Barea, 1997. زاکرینی (Zuccarini, 2007) نیز گزارش کرد که تلقیح با میکوریزا در شرایط تنش شوری باعث افزایش جذب فسفر و پتاسیم در کاهو گردید و بیشترین کارآیی قارچ میکوریزا در سطوح بالای شوری حاصل گردید. سابرامانیان و چارست (Subramanian & Charest, 1997) نیز گزارش نمودند که تحت شرایط تنش رطوبتی در گیاهان ذرت تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا، مقدار عناصر نیتروژن، پتاسیم، منگنز، منیزیم و روی در دانه‌های ذرت به صورت معنی‌داری افزایش یافت. نتایج این تحقیق با یافته‌های (Al-Karaki et al.,1998) و (Ruiz-Lozano et al., 1995 مطابقت دارد.

محتوی کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی بر میزان کلروفیل معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود (جدول ۳). با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل در برگ گیاهان مرزه کاهش یافت و حداکثر مقدار کلروفیل در گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد و کمترین میزان کلروفیل نیز در گیاهان پرورش یافته در شرایط تنش ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای حاصل شد (جدول ۴). حسنی و امیدبیگی (Hassani & Omidbaigi, 2002) و اصلانی et (Aslani al., 2011) اظهار داشتند که تنش آبی اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل ریحان داشت به‌طوریکه با کاهش مقدار آب خاک، مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل کاهش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد قارچ میکوریزا آربوسکولار باعث افزایش مقدار کلروفیل در شرایط تنش خشکی شد. بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل به ترتیب در تیمار با قارچ ورسی‌فورمیس و تیمار بدون قارچ به‌دست آمد (جدول ۴). وو و زیا (Wu & Xia, 2006) گزارش کردند که محتوای کلروفیل در گیاهچه‌های تانجرین آمیخته شده با قارچ تحت شرایط آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری با محتوای کلروفیل درگیاهچه‌های بدون قارچ داشت و در شرایط بدون تنش آبی نیز کلروفیل در گیاهچه‌های حاوی قارچ ۲۳ درصد بیشتر از گیاهچه‌های بدون قارچ بود.

محتوی نسبی آب برگ: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثرات میکوریزا و خشکی بر محتوای نسبی آب برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش تنش خشکی محتوای آب

نسبی گیاه کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار برای این صفت در تیمار آبیاری کامل و کمترین میزان آب در گیاهان تحت تنش ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای به‌دست آمد. نتایج آزمایش‌های تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف گیاه *Vigna radiata* در هند نشان داد که تنش خشکی در کلیه ژنوتیپ‌ها، موجب کاهش محتوی نسبی آب برگ گردید (Nadiu & Naraly, 2001). تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا *آربوسکولار گلوموس ورسی‌فورمیس* و *گلوموس اتونیکاتوم* باعث افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب در گیاه مرزه نسبت به تیمار بدون قارچ شد (جدول ۴). میسلیوم قارچ میکوریزا آربوسکولار در خاک نقش مهمی در تأثیر قارچ بر رابطه آبی گیاه میزبان دارد و باعث جذب آب از منافذ بسیار ریز خاک می‌شود (Bearden, 2001). وو و همکاران (Wu et al., 2007) اظهار داشتند که صرف‌نظر از تیمارهای آبی (تنش آبی و آبیاری کامل) میزان تعرق، میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در گیاهان آمیخته شده با قارچ میکوریزا آربوسکولار بیشتر از گیاهان بدون قارچ بود، همچنین در شرایط تنش آبی پتانسیل آبی گیاهچه‌های آمیخته شده با قارچ، ۲۱ درصد بیشتر از گیاهچه‌های بدون قارچ بود. اوگه (Auge, 2001) بیان کرد که میکوریزا احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل کردن سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریسه‌های قارچ، میزان آب بیشتری جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاه میزبان می‌گردد.

میزان پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل میکوریزا و خشکی بر پرولین برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳ و شکل ۱). قارچ میکوریزا در سطوح بالای تنش خشکی در کاهش میزان پرولین از کارآیی بیشتری برخوردار بوده و میزان انباشت پرولین را دربافت برگ به مقدار زیادی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده کاهش داده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی میزان تجمع پرولین افزایش یافت ولی تیمار با قارچ میکوریزا از میزان تجمع پرولین کاست؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان پرولین در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و تیمار بدون تلقیح با قارچ میکوریزا به‌دست آمد. کلونیزه شدن قارچ میکوریزا آربوسکولار تحمل به خشکی را در گیاهان میزبان افزایش می‌دهد، که این افزایش تحمل به خشکی با پرولین وابستگی ندارد، ولی با سطوح پتاسیم، کلسیم و منیزیم مرتبط است. پورسل و همکاران (Porcel et al., 2004) تجمع سطوح بالایی از پرولین در ریشه‌ها و پرولین کمتر را در شاخساره‌های گیاه سویای آمیخته شده با قارچ میکوریزا در مقایسه با گیاهان بدون قارچ تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند. وو و همکاران (Wu et al., 2007) گزارش کردند که برگ‌های گیاهان نارنج سه برگ حاوی قارچ میکوریزا آربوسکولار پرولین کمتری نسبت به برگ‌های گیاهان بدون قارچ تحت شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی دارند که این ممکن است به دلیل مقاومت بیشتر نهال‌های حاوی قارچ به خشکی یا آسیب کمتر آنها تحت شرایط خشکی باشد. این نتایج با یافته‌های وو و زیا (Wu & Xia, 2006) در مورد تانجرین و رویز– لوریزانو و ازاکان (Ruiz-Lozano & Azcón., 1997) در مورد کاهو مطابقت دارد. معمولاً گیاهان میکوریزا با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون میکوریزا، قادرند از شرایط تنش خشکی به طور موقت فرار کنند و کمتر دچار آسیب شوند و در نتیجه میزان پرولین و قندهای محلول نسبت به گیاهان بدون میکوریزا افزایش کمتری نشان می‌دهد (Ruiz-Lozano, 2003).

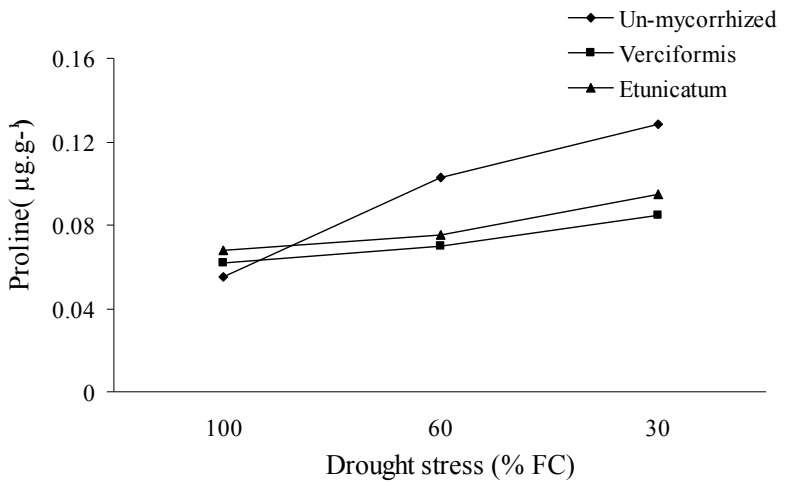
جدول ٤- مقایسه میانگین برخی صفات فیزیولوژیک مرزه تلقیح شده با میکوریزا تحت تأثیر تنش خشکی

Table 4- Mean comparisons of some physiological traits of savory inoculated with mycorrhiza under drought stress condition

پرولین (میلی‌گرم بر گرم) proline ($\mu g.g^{-1}$)	محتوای نسبی آب (٪) Relative watwer content (٪)	کلروفیل chlorophyll (CCM200)	پتاسیم (میلی‌گرم بر گرم) potassium ($mg.g^{-1}$)	فسفر (میلی‌گرم بر گرم) phosphorous ($mg.g^{-1}$)		
0.062^{b}	78.2^{a}	43.08^{a}	43.21^{b}	0.139^{a*}	100	تنش خشکی بر حسب (٪) FC
0.082^{b}	76.9^{a}	37.75^{b}	49.96^{a}	0.135^{a}	60	
0.11^{a}	67^{b}	30.93^{c}	53.39^{a}	0.123^{a}	30	Drought stress based on FC (%)
0.1^{a}	68.2^{b}	35.38^{b}	46.13^{b}	0.115^{b}	Noun-mycorrhiza	قارچ میکوریزا Mycorrhizae
0.065^{b}	75.3^{a}	38.25^{a}	50.92^{a}	0.143^{a}	*G. versiformis* L.	
0.072^{b}	78.5^{a}	38.13^{a}	49.5^{a}	0.139^{a}	*G. etunicatum* L	

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means within a column followed by the same letters and for each component have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر میزان پرولین در برگ مرزه

Fig. 1– Interaction between drought stress and mycorrhizal fungi on proline content leaf of savory

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، با افزایش شدت تنش خشکی از سطح مطلوب ابیاری تا تنش شدید خشکی، رشد رویشی کاهش یافت. در این پژوهش استفاده از هر دو گونه *G. etunicatum* L. و *G.versiformis* L. نسبت به شاهد (بدون میکوریزا) مثبت ارزیابی شد، هر چند که *G.versiformis* L. از عملکرد بهتری برخوردار بود. تجمع یون‌ها یا مولکول‌های آلی در واکوئل سلول‌های برگ تحت تنش خشکی، در گیاهان میکوریزا بیشتر انجام می‌شود و باعث کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های برگ می‌گردد. تمام این تغییرات موجب تغییر نسبت آب در گیاهان میکوریزای می‌شود.

منابع

1- Amirabadi, M., Seifi, M., Rejali, F., and Ardakani, M.R. 2012. Study the concentration of macroelements in forage mays (Zea mays L.) (SC 704) as effected by inoculation with mycorrhizal fungi and Azotobacter chroococcum under different levels of nitrogen. Journal of Agroecology 4(1): 33-40.

2- Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli Sadaghiyani, Sefidkon, F., and Barin, M. 2011. Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosse*ae L. and *Glomus intraradices* L.) on growth, chlorophyll contents and P oncentration in Basil *(Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(3): 471-486. (In Persian with English Summary)

3- Abdul-Naser, A. 1998. Effects of inoculation *Glumus* interaradices on growth, nutrient uptake and metabolic activities of squash plants under drought stress condition, Annuals of Agricultural. Science Cairo 1: 119-133.

4- Abdelhafez, A.A., and Abdel-Monsief, R.A. 2006. Effects of VA mycorrhizal inoculation on growth, yield and nutrient content of cantaloupe and cucumber under different water regimes. Journal of Agriculture and Biological Sciences 2(6): 503-508.

5- Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M.R., and Salimi, G. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. Biologia Bratislava 19: 324-328.

6- Al-Karaki, G.N., Al-Raddad, A., and Clark, R.B. 1998. Water stress and mycorrhizal isolates effects on growth and nutrient acquisition of wheat. Journal of Plant Nutrition 21: 891-902.

7- Auge, R.M. 2001. Water relation drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhizae 11: 3-42.

8- Auge, R.M., Stodola, A.J.W., Tims, J.E., and Saxton, A.M. 2001. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. Plant and Soil. 230: 87-97.

9- Azcon-Aguilar, C., and Barea, J.M. 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: Significance and potentials. Scientia Horticulture 68: 1-24.

10- Baher, Z.F., Mirza, M., Ghorbanli, M., and Rezaii, M.B. 2001. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. Flavour and Fragrance Journal 17(4): 275-277.
11- Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teave, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and soil 39: 205-107.
12- Bearden, B.N. 2001. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and soil water characteristics of vertisols. Plant and Soil 229: 245-258.
13- Deans, S.G., and Svoboda, K.P. 1989. Antibacterial activity of summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil and its constituents. Journal of Horticultural Science 64: 205– 210.
14- Emami, A. 1996. Analytical methods for plant analyses. Soil and Water Research Institute, Research Department, Agricultural Education and Development, Iran, Technical Report 1: 147-53.
15- Hajhashemi, V., Sadraei, H., Ghannadi, A.R., and Mohseni, M. 2000. Antispasmodic and anti- diarrhoel effect of *Satureja hortensis* L. essential oil. Journal of Ethnopharmacology 71: 187-192.
16- Hassani, A., and Omidbaigi, R. 2002. Effect of water stress on some morphological, physiological and metabolical characteristics in basil (*Ocuimm basilicum* L.). Journal of Agricultural Sciences 12(3): 47-59. (In Persian)
17- Hu, Y., and Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Plant Nutrition 168: 541-549.
18- Jacob, H., and Clark, G. 2002. Methods of Soil Analysis. Part IV Physical Method. Soil Science Inc. Madison, Wisconsin, USA 1692 pp.
19- James, B., Rodel, D., Lorettu, U., Reynaldo, E., and Tariq, H. 2008. Effect of vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of Senna Spectabilis. Pakistan Journal of Botany 40(5):2217-2224.
20- Khalafallah, A.A., and Abo-Ghalia, H.H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4(5): 559-569.
21- Khalid, K.A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum sp*.). International. Agrophysics 20: 289- 296.
22- Khalied, A.S., and Elkhider, R.A. 1993. Vesicular-arbuscular mycorrhizas and soil salinity. Mycorrhiza 4: 45-57.
23- Khalvati, M. A., Mzafar, A., and Schmidhalter, U. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular-mycorrhizal hypha and its signification for leaf growth, water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart 7(6): 706-712.
24- Nadiu, T., and Naraly, A. 2001.Screening of drought tolerance in green gram (*Vigna radiate* L. Wilczeek) genotypes under reducing soil moisture, Indian Journal of Plant Physiology 6(2):197-201.
25- Panwar, J.D.S. 1993. Response of VAM and Azospirillum inoculation to water status and grain yield in wheat under water stress conditions. Indian Journal of Plant Physiology 36: 41-43.
26- Pessarakli, M., Tuber, J.T., and Tuker, T.C. 1989. Protein synthesis in green bean under salt stress with two nitrogen sources. Journal of Plant Nutrition 12: 1361-1377.
27- Porcel, R., Barea, J.M., 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: 1743-1750.
28- Ruiz-Lozano, J.M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic strees, new perspectives for molecular studies. Mycorrhiza 13: 309-17.
29- Ruiz-Lozano, J.M., and Azcón, R. 1997. Effect of calcium application on the tolerance of mycorrhizal lettuce plants to polyethylene glycol-induced water stress. Symbiosis 45: 135-139.
30- Ruiz-Lozano, J.M., Azcon, R. and Gomez, M., 1995. Effects of arbuscular- mycorrhizal Glomus species on drought tolerance: Physiological and nutritional plant responses. Applied and Environmental Microbiology 61(2): 456-460.
31- Santos, M.S., and Alejo, N.O. 1994. Effect of water stress on growth, osmotic potential and solute accumulation in cultivars form chili pepper. Plant Science 96: 21-29.
32- Sensoy, S., Demir, S., Turkmen, O., Erdinc, C., Burak, and Savur, O. 2007. Responses of some different pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. Scientia Horticulturae 113: 92-95.
33- Smith, S. E., Facelli, E., and Pope, S. 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. Plant and Soil 326: 3-20.

34- Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. Electronic Journal of Biology 1(3): 44-48.
35- Subramanian, K.S., and Charest, C. 1997. Nutritional, growth and reproductive responses of maize (*Zea mays* L.) to arbuscular mycorrhizal inoculation during and after drought stress at tasselling. Mycorrhiza 7: 25-32.
36- Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163: 417-425.
37- Wu, Q.S., Xia, R.X., Zou, Y.N., and Wang, G.Y. 2007. Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (*Poncitrus trifoliate*) seedlings to drought stress. Acta physiologica Plantarum 29: 543-549.
38- Zuccarini, P. 2007. Mycorrhizal infection ameliorates chlorophyll content and nutrient uptake of lettuce exposed to saline irrigation. Plant Soil Environment 53(7): 283-289.