نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال پانزدهم، شماره ۶۰، زمستان ۱۳۹۹ / صفحات: ۹۴-۷۹

پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) به کاربرد قارچ‌های مایکوریزا در شرایط تنش شوری

مرتضی ایرجی مارشک، محمد مقدم*

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۹

چکیده

به منظور بررسی تاثیر قارچ‌های مایکوریزا در شرایط تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ عامل و در ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اول کاربرد دو نوع قارچ میکوریزا در سه سطح (عدم تلقیح، *Rhizophagus intradices* و *Funnetiformis mosseae*) و فاکتور دوم شوری آب آبیاری در ٤ سطح (۰، ٤۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار به‌ترتیب معادل ۰، ۳/۵، ۷ و ۱۰/۵ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) بود. تیمار شوری در گیاهان در مرحله هشت برگی و سه روز در هفته اعمال شد. نتایج نشان داد اعمال تنش شوری منجر به کاهش محتوای نسبی آب و کلروفیل برگ شد. با افزایش سطح تنش میزان نشت الکترولیت، کربوهیدرات کل و پرولین برگ افزایش یافت. در مقابل استفاده از قارچ‌های مایکوریزا منجر به بهبود صفات اندازه‌گیری شده تحت شرایط تنش شوری گشت. طبق نتایج بدست آمده مقدار پرولین، کربوهیدرات کل و نشت الکترولیت با کاربرد قارچ مایکوریزا در شرایط تنش کاهش یافت که ناشی از تاثیر مثبت کاربرد این قارچ‌ها در متعادل کردن شرایط رشدی برای گیاه تحت تنش شوری بود. همچنین بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل a، b و کلروفیل کل در تیمار عدم اعمال تنش شوری و کاربرد قارچ مایکوریزا گونه اینترارادیکس مشاهده شد. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که اعمال تنش شوری در غلظت ۱۲۰ میلی‌مولار منجر به کاهش شدید صفات مورد بررسی شد. این در حالی است که کاربرد قارچ‌های مایکوریزا در این سطح نتوانست اثرات منفی تنش شوری را بهبود بخشد. طبق نتایج این تحقیق استفاده از قارچ مایکوریزا گونه اینترارادیکس نسبت به موسهآ تاثیر بیشتری در بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جعفری مکزیکی در شرایط تنش شوری در غلظت پایین داشت.

واژه‌های کلیدی: نشت الکترولیت، محتوای کلروفیل برگ، پرولین، کلونیزاسیون.

مقدمه

در آسیا ایران از نظر دارا بودن سطح خاک شور پنجمین کشور است (Heydari Sharifabdi, 2001). قسمت بیشتر سطح کشور را به علت کمبود ذخایر آبی و نامساعد بودن شرایط آب و هوایی، اراضی شور تشکیل می‌دهد (Heydari Sharifabdi, 2001). در بسیاری موارد منشأ شوری از آب آبیاری بوده و افزایش غلظت نمک‌ها رشد گیاهان را کند و در نهایت منجر به نابودی گیاهان می‌شود. با توجه به هزینه‌های سنگین اصلاح خاک‌های شور و محدودیت‌های منابع آب شیرین و یا کم شور ایجاد مقاومت نسبت به شرایط با کاربرد ترکیبات مناسب و نیز اطلاع از رفتار گونه‌های مختلف گیاهی و واکنش آن‌ها به شوری امری ضروری می‌باشد

*نویسنده مسئول: m.moghadam@um.ac.ir

(Homai, 2002). شوری با تأثیر گذاشتن بر روی بیشتر فعالیت‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شوری با تاثیر بر شکل‌های شیمیایی عناصر غذایی در خاک، انتقال یا توزیع این عناصر درون گیاه و یا غیرفعال کردن تاثیرات فیزیولوژیکی عناصر غذایی مصرف شده منجر به افزایش ذاتی نیاز غذایی در گیاه می‌گردد (Munns, 2002). طبق نتایج بدست آمده در تحقیقی درگیاه ریحان سبز آسیب غشایی و میزان قند محلول تحت تنش شوری افزایش یافت (Delavari Parizi, 2012). همچنین تنش شوری در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت الکترولیت گردید (Doraki et al., 2016). در گیاه کوشیا (*Kochia scoparia*) اعمال تنش شوری نیز منجر به کاهش شاخص پایداری غشاء، افزایش محتوای نسبی آب برگ، پرولین و پتانسیل اسمزی گردید (Nabati et al., 2014). اعمال تنش شوری در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) سبب کاهش قند نامحلول اندام هوایی و ریشه، افزایش پرولین و قند محلول اندام هوایی و ریشه در جهت کاهش اثرات سوء تنش شد (Pazaki and Niki Esfahlan, 2016). در گونه‌ای مریم گلی (*Salvia limbata* L.) نیز میزان قند و پرولین در شرایط تنش شوری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Gholami et al., 2013). علاوه بر این با افزایش غلظت شوری در گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis*) مقدار پرولین، کاروتنوئیدها و قندهای احیا افزایش و مقدار کلروفیل کل و کلروفیل‌های a و b کاهش یافت (Jahantigh et al., 2016). همچنین تحقیقات نشان داد تنش شوری در دو رقم ریحان منجر به افزایش نشت الکترولیت، پرولین، کلروفیل a و کلروفیل کل گردید (Moghaddam and Talebi, 2016).

قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار یکی از مهم‌ترین ریز موجودات خاک هستند که می‌توانند با بیش از ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی رابطه همزیستی برقرار کنند. تنوع قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار همبستگی مثبت با تنوع گونه‌های گیاهی و پایداری آن‌ها در اکوسیستم‌های گیاهی و کشاورزی دارد. شبکه هیف‌های خارج ریشه‌ای این قارچ‌ها در اطراف ریشه-ها، سطح جذب آب و عناصر را افزایش می‌دهد. بنابراین، قارچ‌های مایکوریز آربوسکولار رشد و توانایی گیاه برای مقابله با انواع تنش‌ها (پاتوژن‌ها، عدم تعادل عناصر غذایی، خشکی و فلزات سنگین) را تقویت می‌کند (Biro and Takacs, 2007). اغلب پژوهشگران بر این باورند که با استفاده از کودهای زیستی و ریزجانداران خاکزی می‌توان شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم کرد (Ochoa-Velasco et al., 2016). همزیستی گیاه و ریزجانداران خاکزی مانند مایکوریزا، راهکاری مفید در جهت افزایش مواد آلی خاک، تقویت جوامع میکروبی، افزایش کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌خصوص آب آبیاری و درنهایت بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان به‌خصوص در محیط‌های تحت تنش شوری و خشکی محسوب می‌شود (Aghhavani Shajari et al., 2016). علت سودمندی قارچ‌های مایکوریزا در این می‌باشد که تلقیح مایکوریزایی موجب تغییر متابولیسم گیاه میزبان شده و این تغییر در متابولیسم سبب تولید ترکیبات دفاعی در گیاه می‌شود و مقاومت گیاه به شرایط تنش را افزایش می‌دهد (Hazzoumi et al., 2015). در این راستا نتایج تحقیقی نشان داد که گیاهان کدوی مایکوریزی شده با قارچ *G. intraradices* بهتر از گیاهان شاهد توانستند خشکی را تحمل کنند (Abdoul-Naser, 1998). در گیاه مرزه تابستانه نیز تلقیح گیاه با قارچ مایکوریزا گونه *G. intradices* منجر به افزایش کلروفیل b و کلروفیل کل در شرایط اعمال تنش

شوری شد. همچنین محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تلقیح شده با گونه *G. caledonium* در شرایط تنش شوری افزایش یافت (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015). تلقیح گیاه سورگوم با قارچ مایکوریزا اثرات مخرب تنش شوری را تعدیل کرده و افزایش کلروفیل برگ را در پی داشت (Ghasemi and Zahedi, 2018). در تحقیقی بر گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) افزایش شوری میزان کلونیزاسیون ریشه، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها و محتوای نسبی آب برگ را کاهش و درصد نشت یونی و قندهای محلول برگ را افزایش داد، در مقابل کاربرد قارچ *Piriformospora indica* در این شرایط توانست تا حدود زیادی ویژگی‌های رشدی گیاه را بهبود بخشد (Khalvandi et al., 2017). اعمال تنش شوری در گیاه ذرت شیرین (*Zea mays* var. *saccharata*) نیز کاهش غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها برگ را در مرحله گلدهی در پی داشت، اما با کاربرد قارچ مایکوریزا در این شرایط با افزایش غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل، اثرات منفی تنش تا حدودی جبران شد (Dehghani et al., 2017). در گیاه لوبیا در شدت‌های پایین تنش شوری مصرف کود فسفر به همراه قارچ-های مایکوریزا توانست از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی در کاهش اثرات منفی تنش شوری موثر باشد (Parsa Motlagh et al., 2011).

جنس *Tagetes* شامل گونه‌های یکساله و چندساله‌ای است که تاریخچه استفاده از آنها توسط انسان طولانی است. گیاهان این جنس در تهیه نوشیدنی، به عنوان گیاه زینتی، دارویی، ادویه‌ای و همچنین به عنوان گیاهان مقدس در مراسم عبادی مورد استفاده قرار می‌گرفتند (Soule, 1996). موطن جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.)، علفزارها و مناطق معتدل کوهستانی آمریکای جنوبی شامل کشورهای آرژانتین، شیلی، بولیوی، پرو و پاراگوئه است (Soule, 1993). جعفری مکزیکی ،گیاهی است یکساله و معطر با ساقه‌ای عمودی به طول ۱ تا ۲ متر که حتی به ارتفاع ۳ متر نیز می‌رسد و دارای شاخه‌های فرعی فراوانی می‌باشد (Soule, 1996). تعدادی متابولیت ثانویه از این گیاه گزارش شده است که شامل منوترپن‌ها، سزکوپی‌ترپن‌ها، فلاونوئیدها، تیوفن و ترکیبات آروماتیک می‌باشد (Soule, 1996; Singh et al., 2003). فرض بر اینکه قارچ‌های مایکوریزا با جعفری مکزیکی رابطه همزیستی برقرار کرده و باعث مقاومت این گیاه به تنش شوری شوند و با این احتمال که همزیستی قارچ مایکوریزا با گیاه جعفری مکزیکی می‌تواند بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشمیایی این گیاه در شرایط تنش شوری موثر باشد و باعث بهبود این صفات در این شرایط گردد؛ هدف از این مطالعه بررسی پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه جعفری مکزیکی به کاربرد قارچ‌های مایکوریزا در شرایط تنش شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر کاربرد قارچ‌های مایکوریزا در شرایط تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه جعفری مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ عامل و در ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه فردوسی مشهد (واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا) در سال ۱۳۹۶ انجام شد. فاکتور اول کاربرد دو نوع قارچ میکوریزا در سه سطح (عدم تلقیح، *Rhizophagus intradices* و *Funnetiformis mosseae*) و فاکتور دوم شوری آب آبیاری در ٤ سطح (۰، ٤۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار به‌ترتیب معادل ۰، ۳/۵، ۷ و ۱۰/۵ دسی

زیمنس بر متر کلرید سدیم) بود. نشاءها در مرحله چهاربرگی به گلدان‌های حاوی ۱۰ کیلوگرم خاک منتقل شدند. از خاک لومی‌شنی با ۱/۳۹٪ مواد آلی، هدایت‌الکتریکی ۳/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر، تبادل کاتیونی ۷/۹ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک، ۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، ۱۸٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم، به‌ترتیب ۱۷/٤، ٤/۸، ۱۱ و ۲۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر کلسیم، منیزیوم، کلر و سدیم استفاده گردید. مایه تلقیح قارچ مایکوریزا از موسسه مایکوپرسیکا تهیه شد. قبل از کاشت نشاء، مایه تلقیح مایکوریزا با بستر کشت مخلوط شد و پس از آن نشاءها به گلدان‌ها منتقل شدند. تیمار شوری در گیاهان در مرحله هشت برگی و سه روز در هفته اعمال شد. اعمال تنش شوری به مدت ٤۰ روز ادامه یافت. اندازه‌گیری صفات مورد بررسی در آزمایش چهل روز بعد از اعمال تنش شوری انجام شد.

پارامترهای مورد بررسی شامل محتوای نسبی آب برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی، نشت الکترولیت، کربوهیدارت محلول و پرولین بود. جهت اندازه‌گیری محتوی کلروفیل برگ از برگ تازه گیاه استفاده گردید.

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی: استخراج رنگدانه‌ها با استفاده از متانول ۹۹٪ صورت گرفت و در نهایت میزان جذب نور در طول موج‌های ٦۵۳، ٤۷۰ و ٦٦٦ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید و با استفاده از روابط مربوطه مقدار کلروفیل a، b، کل و مقدار کارتنوئید محاسبه شد (Kamali et al., 2012).

نشت الکترولیت: جهت تعیین نشت الکترولیت ابتدا قطعات برگی به یک اندازه از برگ جدا شده و همراه ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲٤ ساعت در تاریکی قرار داده شدند. پس از قرار دادن نمونه‌ها در اتوکلاو به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند. در انتها با استفاده از فرمول مشخص مقدار نشت الکترولیت محاسبه شد (Lutts et al., 1995).

محتوی نسبی آب برگ: جهت اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ، نمونه‌هایی از برگ کامل تهیه و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. این قطعات به منظور تعیین وزن تورژسانس به‌مدت ۲٤ ساعت در شدت نور کم و در داخل آب مقطر قرار داده شدند و در پایان وزن خشک آن‌ها نیز به‌منظور تعیین محتوی نسبی آب برگ اندازه‌گیری گردید (Kamali et al., 2012).

کربوهیدرات محلول برگ: جهت اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول از پودر خشک گیاه استفاده شد. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات کل از معرف آنترون استفاده گردید. میزان جذب نور هر یک از نمونه‌ها در طول موج ٦۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Sadasivam and Manickam, 1992).

کلرونیزاسیون ریشه: همچنین امکان کلونیزاسیون ریشه (Philips and Hayman, 1970) نیز مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور تعیین میزان کلونیزاسیون ریشه‌ها، نمونه ۲ گرمی از ریشه گرفته شد. ریشه‌های نمونه‌برداری شده با آب شسته شده، در محلول اتانول ۵۰٪ نگهداری گردید. سپس به منظور رنگ‌گیری، ریشه‌ها در محلول ۱۰ درصد هیدرواکسید پتاسیم (KOH) به مدت سه ساعت در دمای ٦۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از آن ریشه‌ها در محلول اسید کلریدریک (HCL) ۰/۱ مولار قرار داده شد. سپس برای رنگ‌آمیزی، ریشه‌ها به مدت ۱۲۰ ساعت محلول تریپان بلو (۰/۰۱ درصد) در دمای آزمایشگاه نگهداری شدند.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Minitab 17 استفاده شد. مقایسه میانگین صفات از طریق آزمون چند دامنه‌ای Bonferoni در سطح احتمال ۵ درصد تعیین گردید. همچنین برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مورد بررسی نشان داد که اثرات متقابل شوری و قارچ مایکوریزا بر

محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، کربوهیدارت‌های محلول، پرولین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جعفری مکزیکی

منبع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	نشت الکترولیت	کربوهیدرات‌های محلول	پرولین
تنش شوری	۳	۰/۳٤۸۸۰**	۱۱۲۹/۲۱**	۵۹٦۸/۳٤**	۰/۰۰۰۰۰۹**
مایکوریزا	۲	۰/۱۵۸۵۱**	۱۰٤/۵٤**	٦۱۲/۸۵**	۰/۰۰۰۰۰۹**
تنش شوری × مایکوریزا	٦	۰/٤٤۱۹۰**	۳۰۳/۸۵**	٤۱٦/٦۵**	۰/۰۰۰۰۲۹**
خطا	۲٤	۰/۰۱٤۷۹	۸/٤٦	۹۰/٤۲	۰/۰۰۰۰۵
منبع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
تنش شوری	۳	۱/۳٤۰٦۳**	۲/۰٤۹۹۹**	۱۱/۱۵۹۹**	۳/۱۵۲۵۰**
مایکوریزا	۲	۳/۰۵۱۰۸**	۳/۳۱۰٤٤**	۱۵/۱۵٦۸**	۰/٦۱۵۲۸**
تنش شوری × مایکوریزا	٦	۱/۲۷۵۲۵**	۲/۵٦۷۱۸**	۵/۵۷۱۹**	۰/۸٦۲٦۲**
خطا	۲٤	۰/۰۸٤۹۱	۰/۰٤۷٦۸	۰/۵۸۱۲	۰/۰٤۹٦۷

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪

نشت الکترولیت: با توجه به نتایج مشخص گردید که نشت الکترولیت با افزایش شوری تا سطح ۱۲۰ میلی‌مولار، افزایش یافت. بیشترین میزان نشت الکترولیت (۷۸/٦۵٪) در تیمار شوری ۱۲۰ میلی‌مولار و عدم استفاده از قارچ مایکوریزا مشاهده شد. کاربرد قارچ مایکوریزا سبب کاهش نشت الکترولیت در تیمارهای تحت تنش شوری گردید (جدول ۲).

کربوهیدرات کل: کربوهیدرات کل نیز با افزایش سطح شوری تا سطح ۱۲۰ میلی‌مولار، افزایش یافت. بیشترین میزان کربوهیدرات کل (۱۵٦/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شوری ۱۲۰ میلی‌مولار و عدم استفاده از قارچ مایکوریزا مشاهده شد. کاربرد قارچ مایکوریزا سبب کاهش کربوهیدرات کل گردید (جدول ۲).

پرولین: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطح شوری میزان پرولین افزایش یافت. بیشترین میزان پرولین (۰/۰۰۸ میکرومول/گرم وزن خشک) در تیمار شوری ٤۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار و عدم استفاده از قارچ مایکوریزا مشاهده شد. کاربرد قارچ مایکوریزا سبب کاهش پرولین گردید، هر چند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با عدم استفاده از مایکوریزا نداشت (جدول ۲).

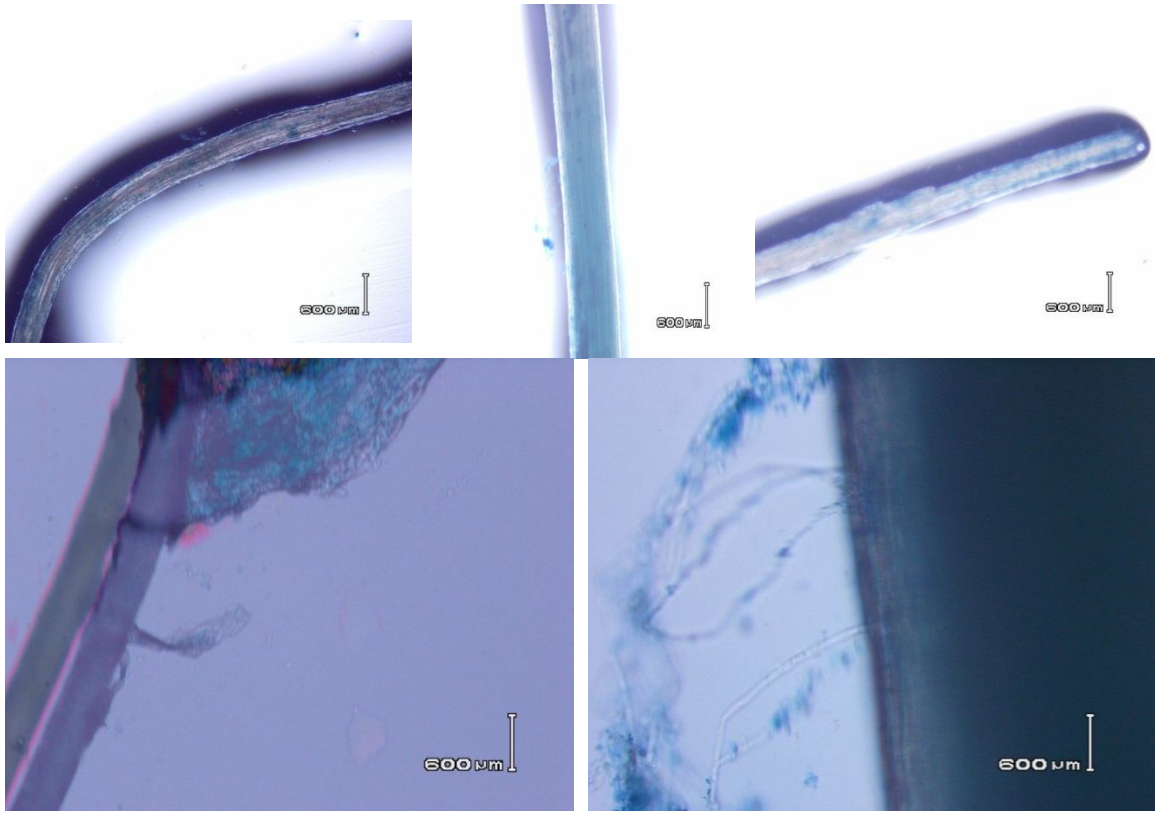
محتوای نسبی آب برگ: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محتوای نسبی آب برگ با افزایش شوری تا سطح ۱۲۰ میلی‌مولار کاهش نشان داد. کمترین محتوای نسبی آب برگ (۰/۷۹٪) در تیمار شوری ۱۲۰ میلی‌مولار و عدم استفاده از قارچ مایکوریزا بود. کاربرد قارچ مایکوریزا سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ گردید. بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار بدون شوری همراه با کاربرد قارچ اینترارادیکس مشاهده شد (شکل ۲).

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ: محتوای کلروفیل برگ تحت اثر متقابل تنش شوری و کاربرد قارچ مایکورایزا قرار گرفت. با توجه به نتایج مشخص گردید که بیشترین میزان کلروفیل a (۳/۹۲ میلی‌گرم/گرم وزن تر)، کلروفیل b (٤/۵۷

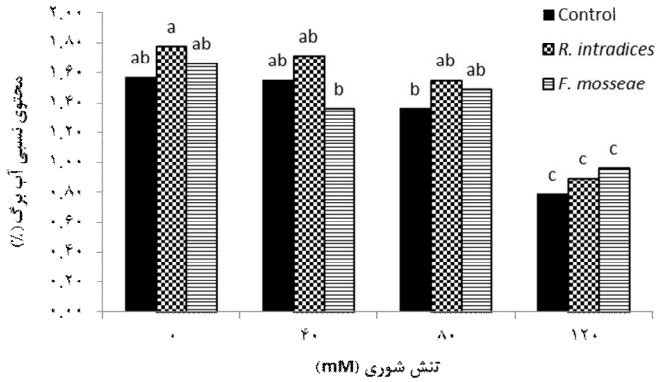
میلی‌گرم/گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۹/۹ میلی‌گرم/گرم وزن تر) مربوط به گیاهان تیمار بدون تنش شوری و کاربرد قارچ مایکوریزا گونه اینترارادیکس بود. هر چند از نظر آماری در میزان کلروفیل a و b برگ جعفری مکزیکی بین کاربرد این گونه قارچ مایکوریزا با گونه موسهآ و علاوه بر این میزان کلروفیل b در تیمار شوری ٤٠ میلی‌مولار و کاربرد گونه موسهآ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). همچنین از نظر آماری بین میزان کلروفیل کل در این تیمار با کاربرد گونه موسهآ و شوری ٤٠ میلی‌مولار و هر دو گونه قارچ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳).

همچنین بیشترین میزان کاروتنوئیدها (۲/٤٤ میلی‌گرم/گرم وزن تر) در تیمار بدون تنش شوری و کاربرد قارچ مایکوریزا گونه موسهآ مشاهده شد، هر چند از نظر آماری بین دو گونه قارچ در شرایط بدون تنش شوری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲).

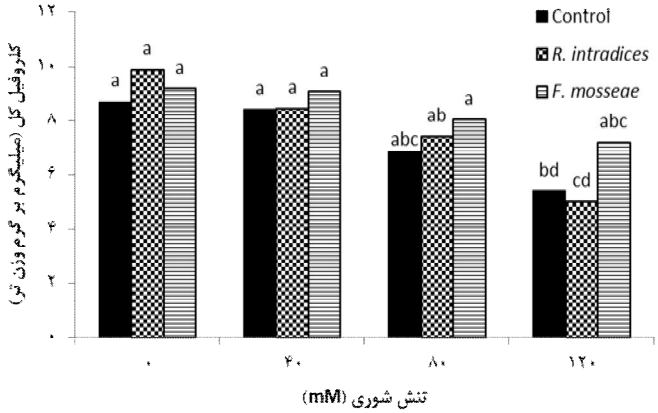
کلونیزاسیون ریشه: به منظور بررسی رابطه همزیستی ریشه گیاه با قارچ‌های مایکوریزای استفاده شده دراین تحقیق، ریشه‌های این گیاه به روش فیلیپس و هیمن (Philips and Hayman, 1970) رنگ آمیزی گردید. کلونیزاسیون همراه با هیف‌های قارچ در ریشه قابل رویت بود (شکل ۱).



شکل ۱: کلونیزاسیون ریشه‌های گیاه جعفری مکزیکی با *Hizophagus intradices* و *Funnetiformis mosseae*



شکل ۲: تاثیر کاربرد قارچ‌های مایکوریزا در شرایط تنش شوری در گیاه جعفری مکزیکی بر محتوی نسبی آب برگ



شکل ۳: تاثیر کاربرد قارچ مایکوریزا در شرایط تنش شوری در گیاه جعفری مکزیکی بر محتوای کلروفیل کل برگ

جدول ۲: مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر خصوصیات رشدی جعفری مکزیکی

شوری (mM)	مایکوریزا	نشت الکترولیت (٪)	کربوهیدرات‌های محلول ($mg.g^{-1}FW$)	پرولین ($\mu Mpro/gDW$)	کلروفیل a ($mg.g^{-1}FW$)	کلروفیل b ($mg.g^{-1}FW$)	کاروتنوئیدها ($mg.g^{-1}FW$)
۰	Control	٤٨/٤٦^{c}	٧٦/٤٩^{c}	٠/٠٠٥^{ab}	٢/٦٣$^{b-d}$	٣/٤٨^{bc}	١/٦١^{b}
	R. intradices	٤٤/٨٠$^{b-d}$	٦٦/٠٠^{c}	٠/٠٠٥^{ab}	٣/٩٢^{a}	٤/٥٧^{a}	١/٩٢^{ab}
	F. mosseae	٤٦/١٠^{bc}	٧٦/٣٠^{c}	٠/٠٠٤^{ab}	٣/٣١^{a}	٤/٤٩^{a}	٢/٤٤^{a}
٤٠	Control	٦٦/٧٢^{bc}	٧٨/٩٥^{c}	٠/٠٠٨^{a}	٢/٢٢$^{c-e}$	٣/١٠$^{c-e}$	١/٣٤^{bc}
	R. intradices	٦١/٨٨^{bc}	٨٤/٩٨^{c}	٠/٠٠٦^{ab}	٣/٣٠^{ab}	٤/٠٦^{ab}	١/٤١^{bc}
	F. mosseae	٥١/٧٣^{d}	٨٠/٠٨^{c}	٠/٠٠٥^{ab}	٣/٠٢$^{a-c}$	٤/٢٧^{a}	١/٧٨^{ab}
٨٠	Control	٦٧/٩٠^{ab}	٩٤/٤٤^{bc}	٠/٠٠٨^{a}	١/٦١^{e}	٢/٤٧^{e}	٠/٨٤^{cd}
	R. intradices	٦٣/٢٤^{bc}	٨٧/٢٦^{c}	٠/٠٠٦^{ab}	٢/٢٧$^{c-e}$	٣/٢٨^{cd}	٠/٧٦^{cd}
	F. mosseae	٦٦/٢١^{bc}	٨٠/٩٥^{c}	٠/٠٠٥^{ab}	٢/٨٥^{bc}	٢/٨٩$^{c-e}$	١/٣٦^{bc}
١٢٠	Control	٧٨/٦٥^{a}	١٥٦/١٨^{a}	٠/٠٠٨^{a}	١/٥٨^{e}	١/٦٤^{f}	٠/٤٥^{d}
	R. intradices	٧١/٩٧^{ab}	١١٩/٢٠^{b}	٠/٠٠٧^{ab}	١/٧٧^{de}	٢/٤٩^{e}	٠/٢٨^{d}
	F. mosseae	٧١/٣٥^{ab}	١١٨/٣٧^{b}	٠/٠٠٥^{ab}	٢/٥٩$^{b-d}$	٢/٦٠^{de}	٠/٢٤^{d}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون Bonferoni در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

بحث

محتوای نسبی آب برگ یک شاخص مفید به منظور بیان تعادل آبی گیاه معرفی شده است (Sinclair and Ludlow, 1985). علت کاهش مقدار رطوبت نسبی تحت تنش شوری می‌تواند کاهش پتانسیل آب خاک و افزایش جذب یون‌های کلرور سدیم باشد (Doraki et al., 2016; Cicek and Cakirlar, 2002). محققین گزارش کرده‌اند که تلقیح با قارچ مایکوریزا شاخص‌های رشد رویشی و محتوای نسبی آب برگ گیاه مرزه را در شرایط تنش خشکی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده به طور معنی‌داری افزایش داد (Esmailpour et al., 2013). احتمالاً میزبان از طریق ریسه‌های قارچ مایکوریزا، آب بیشتری جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاه می‌گردد (Auge, 2004). یکی از مکانیسم‌هایی که احتمالاً در افزایش مقاومت گیاه به شوری توسط میکوریزا مورد توجه قرار می‌گیرد، تحریک سنتز مواد اسموتیک به وسیله میکوریزا است. در چندین مطالعه مشخص شده است این قارچ‌ها روی ترکیب اسیدهای آمینه و کربوهیدرات‌های گیاهان میزبان رشد کرده در شرایط شوری، تاثیر می‌گذارند (Ruiz-Lozano and Azcon, 2000). تنش شوری سبب کاهش محتوای نسبی آب گیاهان دارویی از جمله بادرشبی (Narimani, 2017)، بابونه آلمانی (Lotfelahi et al., 2015) و نعناع فلفلی (Rostami, 2017) گردید. بهبود محتوای نسبی آب برگ می‌تواند به سبب وجود بعضی عوامل کم کننده تلفات آب، از طریق بستن روزنه‌ها یا جذب بیشتر آب برگ، ناشی از افزایش تنش شوری باشد (Hosseini et al., 2017). سایر محققین نیز نقش گونه‌های مختلف مایکوریزا، در بهبود محتوای نسبی آب برگ را تأیید کردند (Sheng et al., 2009). مطابق با نتایج این آزمایش، گزارش شده است که گونه‌های مختلف مایکوریزا توانایی متفاوتی در کاهش اثرات تنش شوری به واسطه تغییر در محتوای نسبی آب برگ دارند (Zou and Wu, 2011). گیاهان مایکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌کنند، زیرا در گیاهان مایکوریزایی اندام هوایی گیاه توسعه بیشتری پیدا کرده، سطح برگ افزایش یافته و این باعث افزایش تعرق گیاهان می‌گردد. از طرفی سیستم ریشه‌ای گیاهان مایکوریزایی توسعه بیشتری یافته و سطح تماس با خاک افزایش می‌یابد (Rejali et al., 2010). کاربرد قارچ مایکوریزا تحت تنش شوری در مرزه بر محتوای نسبی آب برگ اثر مثبت داشت و سبب بهبود رشد گیاه شد. به‌کارگیری قارچ مایکوریزا مقاومت به شوری را در گیاه مرزه افزایش داد و سبب افزایش عملکرد آن گردید (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015).

بررسی‌ها نشان داد که تنش شوری موجب افزایش نشت الکترولیت گیاه ریحان (Bahari Sarayi et al., 2018) و شمعدانی معطر (Piravand et al., 2017) شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. تنش شوری تأثیر منفی بر حفظ پایداری غشاء دارد و در نتیجه آن نشت یون‌ها رخ می‌دهد (Estrada et al., 2013). تغییر در نفوذپذیری غشای پلاسمایی که قبل از ظهور علایم سمیت شوری اتفاق می‌افتد، مکان اولیه برای پاسخ به شوری می‌باشد که یک شاخص مناسب برای تشخیص تحمل تنش شوری محسوب می‌گردد. تنش شوری منجر به تغییراتی در سلول‌های غشای پلاسمایی می‌گردد، این در حالی است که وجود اسمولیت‌ها باعث کاهش این تغییرات و افزایش حفاظت غشاء و افزایش تحمل به تنش شوری می‌گردد (Mansour and Salama, 2004). غشای سیتوپلاسمی سلول‌های گیاهان تحت تنش، از پایداری کمی برخوردار بوده، گیاهان تحت تنش در مقایسه با گیاهان شرایط معمول از نشت الکترولیت

بالاتری برخوردار هستند. بالاتر بودن نشت الکترولیت نشان دهنده بالا بودن استحکام و پایداری غشای سیتوپلاسمی می‌باشد. در نتیجه تحت شرایط تنشی، غشاء از پایداری کمتری برخوردار بوده و میزان نشت مواد درون سلولی در آنها افزایش می‌یابد (Estrada et al., 2013). مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق، کاربرد قارچ مایکوریزا سبب کاهش میزان نشت الکترولیت در گندم گردید که این تغییرات بسته به گونه قارچی با افزایش سطح شوری به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (Habibi et al., 2014). در یک پژوهش اثر قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات کمی و کیفی جعفری و گشنیز تحت تنش شوری بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش غلظت کلرید سدیم در محلول غذایی، باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد و میزان نشت یونی غشاء یاخته‌ای برگ به طور چشمگیری افزایش یافت. کاربرد قارچ میکوریزا باعث کاهش نشت یونی در هر دو گیاه شد (Omidi, 2015). کاهش نشت یونی با کاربرد مایکوریزا و افزایش پایداری غشاء می‌تواند به دلیل افزایش محتوای آب سلول و جذب فسفر باشد (Feng et al., 2002).

قندها سبب تنظیم اسمزی و نیز پایداری غشاءها و پروتئین‌های موجود در سلول می‌شوند. این عمل می‌تواند از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های کربوکسیل قندها و زنجیره‌های قطبی پروتئین‌ها و بالاخره پایدارسازی پروتئین‌ها صورت گیرد. برای مثال تجمع ساکارز موجب حفظ فسفولیپیدهای غشاء می‌شود و از تغییرات ساختاری در پروتئین‌های محلول سلول نیز جلوگیری می‌کند. گیاهانی که در تنش شوری حاوی قندهای محلول بیشتری هستند تحمل شوری بیشتری از خود نشان می‌دهند. تغییر در متابولیسم و تبدیل قندها در وضعیت اسمزی در تحمل تنش دارای نقش تعیین‌کننده‌ای است. افزایش غلظت قندها، علاوه بر اینکه باعث کاهش پتانسیل اسمزی در سیتوپلاسم شده، در حفاظت اسمزی غشاءها و نیز جاروب کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن نقش دارند (Kerepesi and Galiba., 2000). تنش شوری موجب افزایش کربوهیدرات محلول در گیاه مرزه خوزستانی (Amiri and Mazeni, 2016)، مریم گلی (Aghyi et al., 2015)، آویشن دنائی (Harati et al., 2017)، و بادرشبی (Narimani, 2017) شد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. تجمع پرولین یکی از شاخص‌هایی است که با افزایش مقاومت نسبت به کم‌آبی و شوری ایجاد شده در گیاهان رابطه مستقیم دارد (Saneoka et al., 2004). تجمع پرولین در سیتوپلاسم سلول گیاهی مانند اسموتیکوم در حفاظت ساختمان ماکرومولکول‌ها در محیطی که تعادل یونی آن به‌هم خورده است عمل می‌کند (Nayyar, 2003). افزایش پرولین به حفظ تورم و کاهش خسارت غشاء در گیاهان منجر می‌شود. بدین ترتیب با روش تنظیم اسمزی، سازگاری به تنش کم‌آبی و شوری افزایش می‌یابد (Pandey and Agarwal, 1998). پرولین نقش حفاظتی در برابر آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد ایفا می‌کند (Tatar and Gevrek, 2008). سایر محققین نیز افزایش تحمل گیاه به تنش شوری را در گیاهان ذرت تلقیح شده با مایکوریزا از طریق تجمع پرولین گزارش نموده‌اند (Feng et al., 2002). مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق افزایش پرولین تحت تنش شوری در مریم گلی گزارش شده است (Aghayi et al., 2015). همچنین افزایش میزان پرولین در مرزه تحت تنش شوری گزارش شده است (Akbari et al., 2013) که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد. مطابق با نتایج این آزمایش محققین گزارش کردند که برگ‌های گیاهان نارنج سه برگ حاوی قارچ مایکوریزا آربوسکلار پرولین کمتری

نسبت به برگ‌های گیاهان بدون قارچ تحت شرایط آبیاری کامل و تنش دارند که این ممکن است به دلیل مقاومت بیشتر نهال‌های حاوی قارچ به تنش یا آسیب کمتر آنها تحت شرایط تنش باشد (Wu et al., 2007). همچنین استفاده از قارچ مایکوریزا در شرایط تنش شوری سبب افزایش غلظت پرولین در گیاه سیر شد و این امر موجب کاهش صدمات حاصل از شوری شد (Borde et al., 2010).

در تحقیق مشخص شد که کاربرد قارچ مایکوریزا تحت تنش شوری در مرزه روی پرولین اثر مثبت داشت و سبب بهبود رشد گیاه شد. به‌کارگیری قارچ مایکوریزا مقاومت به شوری را در گیاه مرزه افزایش داد و سبب افزایش عملکرد آن گردید (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015). در مطالعات قبلی کاهش غلظت پرولین در گیاهان مایکوریزایی تحت تنش شوری مشاهده شده است (Wang et al., 2004) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. قارچ‌های مایکوریزا با القای سنتز مواد اسمزی مانند قندها و اسیدهای آمینه می‌توانند مقاومت گیاه را از طریق مکانیسم تنظیم اسمزی به شوری افزایش دهند، از جمله مواد دیگر می‌توان به پرولین و بتائین اشاره کرد که در مواردی با افزایش شوری مقدار این ترکیبات زیاد می‌شود (Jindal et al., 1993).

یکی از شاخص‌های فیزیولوژیک مهم که به محتوای کلروفیل گیاه وابسته است، فتوسنتز می‌باشد (Cramer and Quarrie, 2002). بررسی‌ها نشان دادند که افزایش تنش شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل در نعناع فلفلی (Vatankhah et al., 2017)، مریم‌گلی (Kashefi et al., 2015)، شنبلیله (Farhadi et al., 2016) و مرزه (Emaratpardaz et al., 2016) شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت داشت. با افزایش بیش از حد شوری و اثرات مضر آن بر ساختار کلروفیل و در نتیجه تخریب کلروپلاست‌ها، میزان کلروفیل کاهش می‌یابد (Cramer and Quarrie, 2002). کاهش ذخیره کلروفیل در برگ‌ها به علت مهار بیوسنتز کلروفیل است. کاهش کلروفیل با تنش شوری نشان می‌دهد که اثر شوری بر میزان کلروفیل با متوقف کردن آنزیم خاصی که مسئول سنتز رنگدانه‌های سبز در گیاه می‌باشد در ارتباط است (Soltani, 2008). همچنین علت کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در افزایش شوری را می‌توان به کاهش فعالیت آنزیم‌های موثر در سنتز کلروفیل (Viera Santo et al., 2004; Pessarakli, 1999)، اکسیداسیون نوری سریع‌تر کلروفیل نسبت به سنتز آن (Amirjani, 2011)، تخریب رنگدانه‌های کمکی (Aghababai and Raisi, 2011; Rahmatzadeh et al., 2013)، تداخل نمک با سنتز کلروفیل (Giri and Mukerij, 2004) و اثرات آنتاگونیسمی یون سدیم بر جذب منیزیم (Alam, 1999) نسبت داد. کاهش فتوسنتز ناشی از تنش شوری به دلیل بازدارندگی از فسفریلاسیون نیست، زیرا کلر و سدیم فسفریلاسیون چرخه‌ای را تحریک می‌کند. تنش شوری باعث انباشتگی مواد حد واسط مسیر گلیکولات شده و نیز میزان تثبیت دی اکسید کربن و فعالیت آنزیم pep کربوکسیلاز را کاهش می‌دهد (Leivite, 1980). به نظر می‌رسد تیمار قارچی نقش به سزایی در حفاظت رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a و b و کارتنوئیدها در شرایط تنش داشته است. افزایش میزان کلروفیل برگ‌ها در اثر همزیستی شبه مایکوریزایی می‌تواند به دلیل افزایش جذب فسفر و عناصر ضروری در بیوسنتز کلروفیل (منیزیوم و آهن) از خاک توسط این قارچ‌ها باشد (Aghababai and Raisi, 2011; Rahmatzadeh et al., 2013). گمان می‌رود میسلیوم‌های برون ریشه‌ای با ترشح اسیدهای آلی حل کننده فسفات‌های نامحلول نظیر اسید مالیک به ریزوسفر جذب فسفر گیاه را افزایش می‌دهند (Auge

et al., 2001). علاوه بر این محققین بیان کرده‌اند که دلیل افزایش میزان کلروفیل در گیاهان همزیست با قارچ مایکوریزا افزایش فتوسنتز و ثبیت کربن می‌باشد (Elhindi et al., 2016). از آنجا که قارچ میکوریزا به جذب منیزیم در گیاه کمک می‌کنند، می‌توانند سنتز کلروفیل را افزایش دهند (Giri and Mukerij, 2004; Giri et al., 2002). مطالعه قبلی نشان داد کاربرد گونه قارچ موسه‌آ توانست غلظت کلروفیل کل را در *Strophostyles helvala* نسبت به شاهد غیر مایکوریزایی افزایش دهد (Tasang and Maum, 1999). مهار بیوسنتز کلروفیل احتمالاً به واسطه مهار سنتز دلتا آمینولوولینیک اسید و مهار تشکیل پروتوکلروفیلد ردوکتاز می‌باشد (Khalili Jamalabadi and Khara, 2009). مطابق با نتایج این تحقیق، محققین گزارش کردند که با تلقیح گیاه باقلا با قارچ مایکوریزا، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش می‌یابد (Abdel-Fattah et al., 2002). محققین بیان کردند که تنش شوری سبب کاهش میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در لوبیا می‌شود که تلقیح با مایکوریزا افزایش آن را نسبت به شاهد (عدم تلقیح قارچ) به دنبال دارد (ParsaMotlagh et al., 2011). در یک مطالعه اثر مثبت قارچ مایکوریزا *Glomus deserticola* بر محتوای کلروفیل رزماری مشاهده گردید (Sánchez-Blanco et al., 2004). افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در ریحان تلقیح شده با قارچ مایکوریزایی در شرایط تنش شوری گزارش شده است (Hajibagheri et al., 2011). در این آزمایش کاربرد مایکوریزا در سطوح شوری کم و متوسط، سبب افزایش میزان کاروتنوئید شد؛ ولی در شوری بالا میزان آن کاهش یافت. این موضوع می‌تواند ناشی از کاهش احتمالی فعالیت قارچ مایکوریزا در سطح بالای شوری باشد (ParsaMotlagh et al., 2011).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج این آزمایش مشخص گردید که اعمال تنش شوری منجر به ایجاد شرایط نامطلوب در گیاه جعفری مکزیکی شده و محتوای نسبی برگ و میزان کلروفیل a، b و کل را کاهش داد. همچنین مقدار پرولین، کربوهیدرات محلول و نشت الکترولیت تحت تاثیر اعمال تنش شوری در گیاه افزایش یافت که در پاسخ به ایجاد شرایط نامساعد ناشی از شوری می‌باشد. شدت تغییرات با افزایش سطح تنش همراه بود. این در حالی است که استفاده از قارچ‌های مایکوریزا در این شرایط توانست اثرات نامطلوب ناشی از تنش شوری را جبران نموده و خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه را در شرایط تنش شوری بهبود ببخشد. همچنین مشخص شد که قارچ مایکوریزا گونه اینترارادیکس نسبت به موسه‌آ تاثیر بیشتری در بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه در شرایط تنش شوری داشته است.

References

Abdel-Fattah, G.M., Migaher, F.F. and Ibrahim, A.H. (2002). Interactive effects of endomycorryhizal fungus *Glomus etunicatum* and phosphorus fertilization on growth and metabolic activities of broad bean plants under drought stress conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences. 5: 835-841.

Abdoul-Naser, A. (1998). Effects of inoculation *Glomus intraradices* and phosphorus fertilization on growth and metabolic activities of broad bean plants under drought stress conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences. 5: 835-841.

Aghababai, F. and Raisi, F. (2011). Mycorrhizal symbiosis on chlorophyll, photosyntetise and water use efficiency

in four almond genotypes in Chaharmahal va Bakhtiari. Journal of Water and Soil Science. 56: 91-101. (In Persian).

Aghayi, K., Tai, N., Kanani, M.R. and Yazdani, M. (2015). Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia* species. Journal of Plant Process and Function. 9: 85-96. (In Persian).

Aghhavani Shajari, M., Rezvani moghadam, P., Ghorbani, R. and Nasiri Mahalati, M. (2016). Effects of single and combined application of organic, biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of coriander (*Coriandrum sativum*). Journal of Horticultural Science. 29(4): 486-500. (In Persian).

Akbari, S., Kordi, S., Fatahi, S. and Ghanbari, F. (2013). Physiological responses of *Summer Savory* under salinity stress. International Journal of Agriculture and Crop Science. 5: 1702-1708.

Alam, S.M. (1999). Nutrient uptake by plants under stress conditions. pp. 285-313, *In:* M. Pessarakli (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. CRC Press. New York.

Amiri, H. and Mazeni, L. (2016). Interaction between salinity and ascorbic acid on some of the biochemical properties of *Satureja Khuzestanica* Jamzad. Nova Biologica Reperta. 3(11): 69-79.

Amirjani, M.R. (2011). Comparative study of relative tolerance of chlorophyll biosynthesis and ETR of two wheat (*Triticum aestivum*) varieties in response to salt stress. Journal of Cell and Tissue. 2: 57-67. (In Persian).

Augé, R.M. (2004). *Arbuscular mycorrhizae* and soil/plant water relations. Canadian Journal of Soil Science. 84: 373–381.

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

Bahari Saravi, S.H., Pirdashti, H.A. and Yaghoobian, Y. (2018). Response of chlorophyll fluorescence and physiological parameters of basil (*Ocimum basilicum* L.) to plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) under salinity stress. Journal of Plant Process and Function. 6(19): 89-104. (In Persian).

Biro, I. and Takacs, T. (2007). Effects of *Glomus mossea* strain of different origin on plant macro and micro nutrient uptake in Cd polluted and unpolluted soils. Acta Agronomica Hungarica. 55(2): 1-10.

Borde, M., Dudhane, M. and Jite, P.K. (2010). AM fungi influences the photosynthetic activity, growth and antioxidant enzymes in *Allium sativum* L. under salinity condition. Notulae Scientia Biologicae. 2(4): 64-71.

Cicek, N. and Cakirlar, H. (2002). The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. Journal of Plant Physiology. 28: 66-74.

Cramer, G.R. and Quarrie, S.A. (2002). Corrigendum to: Abscisic acid is correlated with the leaf growth inhibition of four genotypes of maize differing in their response to salinity. Functional Plant Biology. 29(4): 535-535.

Dehghani, A., Kazemeini, S.A., Zarei, M. and Alinia, M. (2017). Effects of salt stress and mycorrhiza fungi on morpho-physiological characteristics of sweet corn (*Zea mays var. saccharata*). Journal of Crop Production and Processing. 7(1): 101-113.

Delavari Parizi, M., Baghizade, A., Enteshari, S.H. and Manochehri Kalantari, KH. (2012). The study of the interactive effects of salicylic acid and salinity stress on induction of oxidative stress and mechanisms of tolerance in *Ocimum basilicum* L. Iranian Journal of Plant Biology. 4(12): 25-36. (In Persian).

Doraki, Gh.R., Zamani, Gh.R. and Sayyari, M.H. (2016). Effect of salt stress on physiological traits and antioxidant enzymes activity of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Azad). Iranian Journal of Field Crops Research. 14(3): 470-483. (In Persian).

Elhindi, K.M., El-Din, A.S. and Elgorban, A.M. (2016). The impact of Arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Saudi Journal of Biological Science. 24(1): 170-179.

Emaratpardaz, J., Hami, A. and Ghohari, Gh. (2016). Evaluation of growth characteristics and essential oil yield of *Satureja hortensis* L. under salinity and Zn foliar spraying. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production. 26(3): 131-141.

Esmailpour, B., Jalilvand, P. and Hadian, J. (2013). Effects of drought stress and Arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). Agroecology. 2: 169-177.

Estrada, B., Aroca, R., Barea, J.M. and Ruiz-Lozano, J.M. (2013). Native Arbuscular mycorrhizal fungi isolated from a saline habitat improved maize antioxidant systems and plant tolerance to salinity. Plant Science. 201: 42-51.

Farhadi, H., Azizi, M. and Nemati, S.H. (2016). Investigation of the effects of salt stress on some physiological and biochemical characteristics of different landraces of fenugreek (*Trigonella* foenum- *graecum* L.). Iranian Journal of Horticulture Science. 47(3): 531-541. (In Persian).

Feng, G., Zhang, F.S., Li, X.I., Tian, C.Y., Tang, C. and Rengel, Z. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by Arbuscular mycorrhizal is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza. 12: 185-190.

Ghasemi, M. and Zahedi, M. (2018). Effects of mycorrhizal inoculation on the response of some sorghum genotypes to salinity. Journal of Plant Process and Function. 7(24): 121-138. (In Persian).

Gholami, R., Kashefi, B. and Saeidi Sar, S. (2013). Effect salicylic acid on alleviation of salt stress on growth traits of *Salvia limbata* L. Journal of Plant Ecophysiology. (15): 63-73. (In Persian).

Giri, B. and Mukerji, G.K. (2004). Mycorrhiza inoculate alleviates salt stress in *Sesbania aegyptica* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: Evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. Mycorrhiza.14: 307-312.

Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, K.G. (2002). VA mycorrhizal techniques/VAM technology in establishment of plants under salinity stress condition. In: Mukerji, K.G., Manoracheir, C., and Singh, J. (eds) Techniques in mycorrhizal studies Kluwer, Dordrecht. Pp. 313-327.

Habibi, S., Meskarbashi, M. and Farzane, M. (2014). Influence of three species of mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) on physiological characters of wheat under the salinity conditions. Journal of Plant Production .37(3): 37-52.

Hajibagheri, S., Enteshari, SH. and Razavizadeh, R. (2011). The role of mycorrhizal fungi and salicylic acid in resistance to basil in comparison to salinity stress. Azad University of Khou Rastegan (Isfahan). 56 P.

Harati, A., Kashefi, B. and Matinizade, M. (2017). Investigation of reducing detrimental effects of salt stress on morphological and physiological traits of (*Thymus daenensis* Celak.) through salicylic acid application. Plant Production Technology. 16(2): 111-125.

Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Elharchli, E.H. and Joutei, K.A. (2015). Effect of *arbuscular mycorrhizal* fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (*Ocimum gratissimum* L). Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2: 1-11.

Heydari Sharif Abadi, H. (2001). Plant and Salinity. Research Institute of Forests and Rangelands press. Tehran.

Homai, M. (2002). The reaction of plants to salinity. Publication of Iran National Irrigation and Drainage Committee. Tehran. 97 p.

Hosseini, H., Mosavifard, S., Fatehi, F. and Ghaderi, A. (2017). Changes in phytochemical and morpho-physilogical traits of thyme (*Thymus vulgaris* CV Varico 3) under different salinity levels. Journal of Medicinal Plants. 16(10): 22-34. (In Persian).

Jahantigh, O., Najafi, F., Naghdi Badi, H., Khavari-Nejad, R.A. and Sanjarian, F. (2016). Study of some physiological parameters hyssop (*Hyssopus officinalis*) in the vegetative stage under the influence of salinity. Iranian Journal of Plant Biology. 8(27): 81-94. (In Persian).

Jindal, V., Atwal, A., Sekhon, B.S. and Singh, R. (1993). Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza on metabolism of moong plants under NaCl salinity. Plant Physiology and Biochemistry. 3: 475-481.

Kamali, M., Shoor, M. and Salahvarzi, Y. (2012). Studying the effect of salt stress on physio-morphological characteristics of C4 plants *Gomphrena globosa* L and *Amaranthus tricolor* under different levels of carbon dioxide. Ferdowsi University of Mashhad. MSc. Thesis.

Kashefi, B., Ghods, M. and Moghaddam, M. (2015). Study of salicylic acid application on some morphological and physiological traits in clary sage under salinity stress. Agriculture Crop Management (Journal of Agriculture). 17(2): 431-440. (In Persian).

Kerepesi, I. and Galiba, G. (2000). Osmotic and salt stress induced alternation in solute carbohydrate content in wheat seedlings. Crop Science 40: 482-487.

Khalili Jamal Abad, A. and Khara, J. (2009). The effect of Arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on some growth and physiological parameters in wheat (cv. Azar2) plants under cadmium toxicity. Iranian Journal of Biology. 21(2): 216-230. (In Persian).

Khalvandi, M., Amerian, M.R., Pirdashti, H., Baradaran Firuzabadi, M. and Gholami, A. (2017). Effects of *Piriformospora indica* fungi symbiotic on the quantity of essential oil and some physiological parameters of peppermint in saline conditions. Iranian Journal of Plant Biology. 9(2): 1-20. (In Persian).

Leivite J. (1980). Responses of plants to environmental stresses. Academic Press. Newyork. 55-66.

Lotfelahi, K., Torabi golsefidi, H. and Omidi, H. (2015). Salinity effect on proline, photosynthetic pigments and leaf relative water content in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in hydroponic condition. Journal of Plant Production Research. 22(1): 89-104. (In Persian).

Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. Journal of Experimental Botany. 46(12): 1843-1852.

Mansour, M.M.F. and Salama, K.H.A. (2004). Cellular basis of salinity tolerance in plants. Environmental and Experimental Botany. 52: 113-122.

Moghaddam, M. and Talebi, M. (2016). The Effects of salinity and methyl jasmonate on morphological and biochemical characteristics and photosynthetic pigments content in two basil cultivars. Seed and Plant Production. 2-32(1): 81-98. (In Persian).

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment. 25: 239-250.

Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani moghadam, P., Masoomi, A. and Zare Mehrjordy, M. (2014). Effect of salinity stress in different growth stages on some physiological characteristics and antioxidant activity in kochi (*Kochia scoparia*). Iranian Journal of Field Crops Research. 12(1): 17-26. (In Persian).

Narimani, R. (2017). The effect of ascorbic acid and humic acid on morphological, physiological and biochemical characteristics. MSc thesis. Ferdowsi university of Mashhad.

Nayyar, H. (2003). Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. Environmental and Experimental Botany. 50(3): 253-264.

Ochoa-Velasco, C.E., Valadez-Blanco, R., SalasCoronado, R., Sustaita-Rivera, F., HernándezCarlos, B., García-Ortega, S. and Santos-Sánchez, N.F. (2016). Effect of nitrogen fertilization and *Bacillus licheniformis* biofertilizer addition on the antioxidants compounds and antioxidant activity of greenhouse cultivated tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L. var. Sheva). Scientia Horticulturae. 201: 338-345.

Omidi, A. (2015). Effects of Arbuscular mycorrhizal fungi on Qualitative and quantitative characteristics of parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) and

coriander (*Coriandrum sativum* L.) under salt stress conditions. MSc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.

Pandey, R. and Agarwal, R. (1998). Water stress-induced changes in proline contents and nitrate reductase activity in rice under light and dark conditions. Physiology and Molecular Biology of Plants. 4: 53-57.

ParsaMotlagh, B., Mahmoodi, S., Sayari Zahan, M.H. and Taghizadeh, M. (2011). Effect of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. Agroecology. 3(2): 237-248. (In Persian).

Pazaki, A. and Niki Esfahlan, A. (2016). Influences of ascorbic acid and gibberellin on alleviation of salt stress in summer savory (*Satureja hortensis* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 9(3): 291-301.

Pessarakli, M. (1999). Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, London.

Philips, J.M. and Hayman, D.S. (1970). Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular *Arbuscular mycorrhizal* fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society. 55: 158-161.

Piravand, M., Rezainezhad, A.H. and Hosseini, S.Z. (2017). Effects of two mycorrhiza species (*Glomus mosseae* and *G. interaradices*) on some morphological and physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* L. under salinity stress. Journal of Greenhouse Culture Science and Technology. 18(1): 107-120. (In Persian).

Rahmatzadeh, S., Khara, J. and Kazemi Tabar, S.K. (2013). Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi on growth improvement and biochemical factors of regenerated *Catharanthus roseus* L. plants under tryptophan treatment during acclimatization process. Iranian Journal of Plant Biology. 16: 27-40. (In Persian).

Rejali, F., Mardoojhi, B. and Malakooti, M.J. (2010). Effect of mycorrhizal coexistence on water use efficiency, proline accumulation and nutrient uptake, in saline conditions in wheat. Water Research in Agriculture. 24(2): 112-122. (In Persian).

Rezaei- Chiyaneh, E., Jamali, M., Pirzad1, A. and Tofig, S. (2015). Effect of mycorrhizal fungi on some morphophysiological characters and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.) in salt stress conditions. Journal of Plant Process and Function. 5(17): 15-29. (In Persian).

Rostami, GH. (2017). Investigation of Fe and Zn fertilizers in two forms of sulfate and nanoparticles on morphological, physiological, biochemical and absorption of iron and zinc in peppermint (*Mentha piperita* L.). MSc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad.

Ruiz-Lozano, J.M. and Azcon, R. (2000). Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus* sp. From saline soil and *Glomus deserticola* under salinity. Mycorrhizal. 10: 137-43.

Sadasivam, S. and Manickam, A. (1992). Biochemical methods for agricultural sciences. Wiley Eastern Limited.

Sánchez-Blanco, M.J., Ferra´ndez, T., Morales, M.A., Morte, A. and Alarco´n, J.J. (2004). Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. Journal of Plant Physiology. 161(6):675-82.

Saneoka, H., Moghaieb, R.E., Premachandra, G.S. and Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. Environmental and Experimental Botany. 52(2): 131-138.

Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F. and Huang, Y. (2009). Influence of Arbuscular mycorrhizae on the root system of maize plants under salt stress. Canadian Journal Microbiology. 55: 879–886.

Sinclair, T.R. and Ludlow, M.M. (1985). Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water

potential. Australian Journal Plant Physiology. 133: 213-217.

Singh, V., Singh, B. and Kaul, V.K. (2003). Domestication of wild marigold (*Tagetes minuta*) as a potential economic crop in western Himalaya and north Indian plants. Economic Botany, 57(4): 535-544.

Soule, J.A. (1996). Novel annual and perennial *Tagetes*. Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA, p. 546-551.

Soule, J.A. (1993). *Tagetes minuta*: A potential new herb from South American. New crops. Wiley, New York. p. 649-654.

Soltani, A. (2008). Water, soil and plant relationship. Ferdowsi University of Mashhad Press. 150 pp.

Tasang, A. and Maum, M.A. (1999). Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastalforedunes. University of Waterloo, Canada. Plant Ecology. 144: 159–166.

Tatar, O. and Gevrek, M.N. (2008). Influence of water stress on proline accumulation, lipid peroxidation and water content wheat. Asian Journal of Plant Sciences. 4: 1-4.

Vatankhah, A., Kalantari, B. and Andalibi, B. (2017). The effect of methyl jasmonate and salt stress on the physiological and phytochemical properties of peppermint (*Mentha piperita*). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 33(2): 449-456. (In Persian).

Viera Santo, C. (2004). Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. Scientia Horticulturae. 1: 93-99.

Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2004). Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. Trends in Plant Science. 9(5): 244-252.

Wu, Q.S., Xia, R.X. and Zou, Y.N. (2007). Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedling to drought stress. Plant Physiology. 29: 543-549.

Zou, Y.N. and Wu, Q.S. (2011). Efficiencies of five *Arbuscular mycorrhizal* fungi in alleviating salt stress of *trifoliate orange*. International Journal of Agriculture Biology. 13: 991–995.