تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3572.1877

مقاله پژوهشی

توانایی جنس‌های قارچ مایکوریزا آربسکولار و اندوفیت برای بهبود تحمل به شوری در نخود (*Cicer arietinum* L.)

آرمین اسکوئیان[۱]، احمد نظامی[۲*]، محمد کافی[۲]، عبدالرضا باقری[۳]، امیر لکزیان[۴]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
۲. استاد گروه اگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، فیزیولوژی گیاهان زراعی، مشهد
۳. استاد گروه بیوتکنولوژی و به نژادی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
۴. استاد گروه خاک‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
پایداری غشاء
درصد همزیستی ریشه
هدایت روزنه‌ای

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۶/۲۲

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱

۱۵(۱): ۲۳۰-۲۱۵

چکیده

شرایط نامطلوب محیطی نظیر تنش‌های غیر زیستی، تولید محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار داده و در این میان تنش شوری از مهم‌ترین عواملی است که سبب کاهش عملکرد محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. به‌منظور بهبود تحمل به شوری در نخود با استفاده از گونه‌های قارچ مایکوریزا، در سال ۱۳۹۵ آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه در دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای تنش شوری شامل چهار سطح (۰/۵ (آب معمولی)، ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر) و گونه‌های مایکوریزا در سه سطح (توده بومی، *Piriformospora indica* به‌عنوان اندوفیت (شبه مایکوریزا) و *Gigospera margarita*) بودند. نتایج نشان داد که شوری موجب کاهش صفاتی چون تعداد شاخه فرعی، وزن خشک بوته، ارتفاع بوته، تعداد برگ، محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء، هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزینگی، حجم ریشه، طول ریشه، وزن خشک ریشه و درصد کلونیزاسیون شد. در میان گونه‌های مایکوریزا، گونه *P. indica* نسبت به سایر گونه‌ها تأثیر بیشتری بر ویژگی‌های مورد ارزیابی داشت. به‌طوری‌که کاربرد قارچ *P. indica* موجب افزایش ارتفاع بوته به میزان ۱۲/۷ درصد نسبت به توده بومی گردید. میزان افزایش وزن خشک اندام هوایی در سطوح شاهد، سه، شش و ۹ دسی‌زیمنس بر متر شوری در تیمار کاربرد قارچ *P. indica* نسبت به تیمار توده بومی به ترتیب ۱۹/۶، ۲۹/۹، ۲۶/۱ و ۲۴/۴ درصد و نسبت به کاربرد قارچ *G. margarita* به ترتیب ۶۶/۸، ۵۸/۸، ۸۷/۵ و ۶۹/۳ درصد بود. تیمار شاهد به همراه مصرف شبه مایکوریزا گونه *P. indica* بیشترین میزان کلونیزاسیون را (۵۴/۷ درصد) به خود اختصاص داد. به‌طورکلی استفاده از گونه‌های مایکوریزا موجب کاهش اثرات منفی تنش شوری شد که در این میان گونه *P. indica* و سپس توده بومی واکنش بهتری نشان دادند

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) با سطح زیر کشت جهانی ۱۴/۵۶ میلیون هکتار و تولید بیش از ۱۴/۷۷ میلیون تن، در بین حبوبات مقام دوم را به خود اختصاص داده است (FAOSTAT, 2017). در ایران نیز نخود مهم‌ترین گیاه از گروه حبوبات بوده و بیش از ۵۶۵ هزار هکتار سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است (FAOSTAT, 2017).

وجود شرایط نامطلوب محیطی، تولید گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار داده و دراین‌بین تنش شوری از مهم‌ترین عواملی است که سبب کاهش عملکرد گیاهان زراعی شده است. طبق آمار ۹۳۰ میلیون هکتار از اراضی جهان در مناطق شور واقع‌شده است، به‌طوری‌که شوری خاک ازجمله مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در مناطق مذکور به شمار می‌رود (Qureshi et al., 2007). امروزه

* نگارنده پاسخگو: احمد نظامی. پست الکترونیک: Nezami@um.ac.ir

جمعیت جهان رو به افزایش ولی زمین‌های زراعی به دلیل فرسایش و توسعه شهری و صنعتی روبه کاهش است، ازاین‌رو کمبود مواد غذایی در جهان به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه مشکلات جدی ایجاد کرده است. افزایش جمعیت به مفهوم افزایش تقاضا برای غذا است و دولت‌ها برای تأمین غذا مبادرت به کشت اراضی نامساعد و شور می‌کنند؛ بنابراین بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط شور یکی از اهداف مهم در مناطق شور است (Hussain et al., 2019).

میکروارگانیسم‌ها توانایی بالایی در مقابله با اثرات نامطلوب شوری دارند و همزیستی باکتری‌ها و قارچ‌های مفید پتانسیلی برای کاهش اثرات تنش شوری در گیاهان ایجاد می‌کنند. قارچ‌های مایکوریزا متعلق به شاخه Glomeromycota، از قدیمی‌ترین گروه از موجودات زنده در همزیستی با گیاهان در خشکی و شوری معرفی‌شده‌اند. این قارچ‌ها به‌طور گسترده‌ای در خاک‌های شور یافت می‌شوند (Yamato et al., 2009). پژوهش‌ها نشان داده است که قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار باعث افزایش تحمل به شوری و جلوگیری از کاهش عملکرد می‌گردد (Evelin et al., 2012). مطالعات نشان داده است که همزیستی قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار با ریشه گیاهان زراعی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و این گسترش فعالیت به گیاه برای کاهش اثرات تنش شوری کمک شایانی می‌کند.

همچنین بررسی‌ها نشان داده که قارچ‌های مایکوریزا جداشده از خاک‌های بومی هر منطقه در نظام‌های کشاورزی همان منطقه از کارایی بالای برخوردار هستند. بر این اساس پژوهشگران بیان داشته‌اند که همزیستی گیاه با قارچ مایکوریزا بومی نسبت به همزیستی با قارچ‌های غیربومی مؤثرتر خواهد بود (Querejeta et al., 2012). درواقع، قارچ‌های مایکوریزا با توجه به محیط‌های طبیعی که در آن سازگار شده‌اند کارایی مناسبی داشته و میزان کارکرد آن‌ها در شرایط سازگار شده قابل پیش‌بینی خواهد بود. با توجه به اینکه میزان آلودگی ریشه‌ها با قارچ مایکوریزا در گونه‌های قارچ‌ها متفاوت است، نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که میزان آلودگی اثر مستقیم بر بهبود رشد اندام‌های گیاهی دارد (Ruiz-Sánchez et al., 2010). از سوی دیگر جداسازی قارچ‌های مایکوریزا از محیط‌های شور و مقایسه آن‌ها در تحمل به شوری در مناطق غیر شور نشان داد که قارچ‌های جداشده در مناطق شور همزیستی بالایی در این شرایط نسبت به قارچ‌های جداشده در مناطق غیر شور داشته است (Porcel et al., 2012).

بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک در همزیستی گیاه با قارچ مایکوریزا در مطالعات مختلف گزارش‌شده است (Ruiz-Lozano et al., 2012). در مطالعه همزیستی قارچ مایکوریزا با ذرت (*Zea mays*)، افزایش کارایی فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای و کاهش نشت الکترولیت‌ها در شرایط تنش شوری گزارش‌شده است. یکی از فرآیندهای مؤثر قارچ مایکوریزا در تحمل به شوری جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها است که می‌تواند یکپارچگی غشاء و فرآیندهای غشایی را حفظ کند (Garg and Manchanda, 2009). همچنین گزارش‌شده که قارچ مایکوریزا در خاک‌های شور با افزایش ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان مانع کاهش عملکرد می‌شود (Ruiz-Lozano et al., 2012). افزایش محتوای کلروفیل در گندم (*Triticum aestivum*) با همزیستی قارچ مایکوریزا در شرایط شوری حاکی از تعدیل اثر تنش شوری با کاربرد این قارچ‌ها است (Abdel-Fattah et al., 2012). علاوه بر صفات فیزیولوژیکی، قارچ‌های مایکوریزا با تأثیر بر برخی ویژگی‌های رشدی چون سطح برگ در کنجد (*Sesamum indicum* L.) و طول ساقه چه، وزن ساقه چه و سطح برگ در گندم در شرایط شور موجب بهبود رشد آن‌ها شدند (Abdel-Fattah et al., 2012).

با توجه به کاهش کیفیت منابع آب و گسترش اراضی شور امکان بهره‌برداری از این اراضی کاهش یافته است؛ بنابراین جهت تولید پایدار در این اراضی استفاده از گیاهان خانواده لگوم به‌عنوان گیاهان کم‌توقع ازنظر مواد غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرف دیگر آستانه پایین تحمل به شوری در گیاهانی مانند نخود امکان کاشت آن‌ها در این مناطق را کاهش داده است. با عنایت به اثرات مفید قارچ‌های مایکوریزا بر کاهش اثرات شوری در گیاهان زراعی، هدف از این مطالعه ارزیابی تحمل به شوری نخود با استفاده از قارچ‌های مایکوریزا جهت تولید پایدار در شرایط شور بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش چهار سطح تنش شوری (آب شرب (شاهد)، ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم) و گونه‌های مایکوریزا در سه سطح (توده بومی، *Piriformospora indica* به‌عنوان اندوفیت (شبه مایکوریزا) و *Gigospera margarita*) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل

تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه در دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۵ اجرا شد.

گونه *Gigospera margareta* از شرکت تعاونی تولید مایکوریزا سمنان تهیه و سپس در آزمایشگاه با کشت مجدد تکثیر و استفاده شد. برای تهیه گونه‌های بومی ابتدا نمونه‌های خاک ۴۰۰ منطقه از عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر از پهنه استان‌های خراسان رضوی، شمالی، جنوبی و سمنان که دارای خاک‌های شور یا آب‌شور بود جمع‌آوری و جداسازی اسپور از نمونه‌ها انجام شد. برای استخراج اسپورهای قارچ‌های مایکوریزا از شیوه الک مرطوب و سانتریفیوژ به مدت ۱ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در محلول شکر از خاک جداسازی و به کاغذ صافی مدرج منتقل شدند و شمارش اسپورها زیر استریومیکروسکوپ انجام شد (Gerdemann and Nicholson, 1963) و درنهایت اسپورها با استریومیکروسکوپ و میکروسکوپ بررسی و بر اساس کلیدها شناسایی و تکثیر شدند (Bethenfalvay and Yoder, 1981; Schenck and Perez, 1988). برای تولید مایه تلقیح قارچ Piriformospora indica از محیط کشت مایع Potato dextrose agar (PDA) استفاده شد.

طول دوره روشنایی و تاریکی گلخانه مطابق با طول روز طبیعی و دمای روز و شب به ترتیب ۲۵ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد با دامنه تغییر ۵± بود. در این آزمایش از گلدان‌هایی با قطر ۳۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر حاوی ماسه شسته استریل و خاک لوم به نسبت سه به یک استفاده شد. گلدان تیمار با گونه‌های تجاری (*Piriformospora indica* و *Gigospera margarita*) و بومی با ۵۰ گرم (حدود ۵۰۰ عدد اسپور در هر گرم) از مایه تلقیح حاوی گونه موردنظر تلقیح شد. بدین ترتیب که در مرکز هر گلدان حفره‌ای به عمق یک سانتی‌متر ایجاد و سطح حفره را با مایه تلقیح قارچی پر و سپس با خاک پوشانیده و در هر گلدان پنج بذر نخود رقم هاشم کشت گردید. جهت تعیین ویژگی‌های خاک مورداستفاده قبل از کشت آزمون خاک انجام گردید (جدول ۱). تیمارهای تنش شوری با استفاده از کلرید سدیم پس از رسیدن گیاهان به مرحله اتمام ذخیره بذر (۱۰ روز بعد از سبز شدن) اعمال شد. در هر سطح تنش مقدار ۱/۲ برابر آب موردنیاز استفاده شد تا آبشویی انجام گردد و تجمع نمک صورت نگیرد (Nabati et al., 2014). در طول دوره رشد همواره محیط ریشه‌ها مرطوب نگه‌داشته شده تا میزان شوری در محیط ریشه یکنواخت باشد.

جدول ۱. ویژگی‌های خاک موردمطالعه

Table 1. Chemical properties of the soil study

pH	EC	N	P	K
	$dS.m^{-1}$	%	----$mg.kg^{-1}$------	
7.6	0.8	0.01	1	125

چهار هفته پس از اعمال تنش شوری (مرحله گلدهی) بیشینه کارایی پتانسیل فتوسیستم II (F'v/F'm) با دستگاه فلورومتر (MINI-PAM Portable Chlorophyll Fluorometer, WALZ, German)، هدایت روزنه‌ای با دستگاه اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای (Leaf Porometer, Inc. USA مدل SC-1) و شاخص سبزینگی با دستگاه SPAD (مدل Minolta-502) در جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ (Smart and Bingham, 1974) و میزان پایداری غشاء از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت برگ (Sairam et al., 2002) در برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین شاخص پایداری غشای سلولی از هر کرت یک برگ جوان توسعه‌یافته جدا و به مدت ۲۴ ساعت در داخل ویال‌های حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفت. سپس هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) توسط دستگاه هدایت سنج (مدل Jenway) اندازه‌گیری گردید. در ادامه ویال‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر اتوکلاو شدند و پس از سرد شدن، هدایت الکتریکی ثانویه (EC2) قرائت و درنهایت شاخص پایداری غشاء سلولی (MSI) توسط معادله (۱) محاسبه شد.

$$MSI=(EC_2 /EC_1)*100 \quad [1]$$

در انتهای دوره رشد قبل از برداشت، صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، ارتفاع اولین شاخه از سطح خاک، تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ در بوته اندازه‌گیری شد. درنهایت بوته‌ها برداشت و وزن خشک اندام هوایی ثبت شد. همچنین ویژگی ریشه شامل طول، حجم و وزن اندازه‌گیری و درصد همزیستی ریشه (Dalpe, 1993) ارزیابی شد. با استفاده از روش فیلیپس و هایمن (Phillips and Hayman, 1970) رنگ‌آمیزی انجام شد. به‌منظور تهیهٔ اسلاید، ریشه‌های رنگ‌بری‌شده همراه با یک قطره لاکتوگلیسرول روی لام میکروسکوپی منتقل شدند. بررسی کلونیزاسیون بخش‌های مختلف ریشه ابتدا با استریومیکروسکوپ (نیکون مدل SMZ1000) با بزرگ‌نمایی ۱۲۵ برابر و سپس زیر

میکروسکوپ نوری مجهز به میکرومتر مدرج انجام شد. درصد کلونیزاسیون بر اساس معادله (۲) (Nicolson, 1995) محاسبه شد.

$$A=B/C\times10 \qquad [۲]$$

که در آن A: درصد کلونیزاسیون، B: مکان‌های تلاقی اندام مایکوریزا با شبکه، C: مکان‌های تلاقی ریشه با شبکه (قسمت‌های میکوریزایی و غیر میکوریزایی) می‌باشند.

تجزیه‌وتحلیل داده با نرم‌افزار Minitab18 و مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته نخود تحت تأثیر معنی‌دار سطوح تنش شوری و کاربرد قارچ مایکوریزا قرار گرفت (جدول ۲). افزایش سطح تنش شوری از شاهد به ۹ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۵۳ درصدی ارتفاع بوته گردید (جدول ۴). اثر کاربرد گونه‌های متفاوت قارچ مایکوریزا بر ارتفاع بوته گیاه نخود نشان داد که تلقیح ریشه‌ها با قارچ *Piriformospora indica* موجب افزایش ارتفاع بوته به میزان ۱۲/۷ درصد نسبت به توده بومی مایکوریزا گردید، از سوی دیگر مصرف قارچ *Gigospera margarita* موجب کاهش ۱۳/۳ درصدی ارتفاع بوته نسبت به توده بومی مایکوریزا شد (جدول ۴).

محققان بیان کرده‌اند که افزایش شدت تنش شوری موجب کاهش رشد و ارتفاع بوته گیاهان می‌شود (Bayoumi et al., 2010). اثرات مثبت گونه‌های مایکوریزا بر ارتفاع بوته در نخود تحت تنش شوری گزارش‌شده است (Mohammadi et al., 2013). به‌طوری‌که حضور گونه‌های مایکوریزا موجب کاهش اثرات تخریبی تنش شوری به دلیل جذب بیشتر عناصر غذایی و درنهایت باعث توسعه ارتفاع و اندام‌های گیاه شد. بررسی همبستگی بین ارتفاع بوته با بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II ($r=۰/۸۱^{**}$) هدایت روزنه‌ای ($r=۰/۷۸^{**}$)، شاخص SPAD ($r=۰/۷۴^{**}$)، شاخص پایداری غشاء ($r=۰/۷۳^{**}$) و محتوی نسبی آب برگ ($r=۰/۷۰^{**}$) نشان داد که کاهش اثرات سمیت تنش شوری موجب افزایش تولیدات فتوسنتزی و درنهایت بهبود ارتفاع گیاه می‌گردد (جدول ۱۱).

جدول ۲. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات برخی از صفات موردبررسی در نخود تحت تأثیر شوری و قارچ مایکوریزا.

Table 2. Source of variation, degree freedom and mean squares of study traits in chickpea under salinity stress and mycorrhiza fungi

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	ارتفاع اولین غلاف از خاک Lowest branch height	تعداد شاخه‌های فرعی No. of secondary branches	تعداد برگ در بوته No. of leaf per plant	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
بلوک Block	2	11.08	0.02	0.19	21.02	0.01
شوری Salinity (S)	3	224.2^{**}	0.10^{ns}	0.69^{*}	542.2^{**}	1.10^{**}
مایکوریزا Mycorrhiza (M)	2	136.8^{**}	0.02^{ns}	1.36^{**}	197.5^{**}	0.53^{**}
شوری ×مایکوریزا S×M	6	3.78^{**}	0.10^{ns}	0.10^{ns}	9.68^{ns}	0.01^{**}
خطا Errir	22	4.99	0.14	0.13	11.09	0.01
ضریب تغییرات (٪) CV%		*8.05*	*18.04*	*14.01*	*7.63*	*3.02*

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant and significant at 5 and 1% level of probability, respectively

تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر معنی‌دار تنش شوری و قارچ‌های مایکوریزا قرار گرفت (جدول ۲). بررسی روند تغییرات تعداد شاخه فرعی در بوته تحت تأثیر تنش شوری نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری تا شش دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از این نظر وجود نداشت؛ اما در سطح تنش شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر

تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار شاهد ۲۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). استفاده از قارچ شبه مایکوریز *Piriformospora indica* موجب افزایش ۲۹ درصدی تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار قارچ *Gigospera margarita* گردید، بااین‌وجود بین قارچ *Piriformospora indica* و توده بومی مایکوریزا تفاوت معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد (جدول ۳).

بررسی پژوهشگران روی اثرات تنش شوری بر صفات رویشی چون تعداد شاخه فرعی در نخود مشخص شد که با افزایش تنش شوری و خشکی این صفات کاهش پیدا می‌کنند (Pouresmael et al., 2014). یکی از دلایل مهم کاهش رشد عوامل رشدی در شرایط تنش شوری را می‌توان اختلال در سیستم فتوسنتز گیاه دانست، البته تقسیم سلولی به‌صورت مستقیم تحت تأثیر تنش قرارگرفته و کاهش چشمگیری را به دنبال دارد (Pouresmael et al., 2014). ازاین‌رو استفاده از شرایط و یا ترکیب‌هایی که بتواند تحمل به شوری را در گیاهان بهبود دهد موجب افزایش رشد می‌شود. در مطالعه حاضر بین تعداد شاخه فرعی در بوته و بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II که نشان‌دهنده سلامت دستگاه فتوسنتزی است همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۸۰^{**}$) مشاهده شد (جدول ۱۱). پژوهشگران بیان کرده‌اند ایجاد شرایط افزایش جذب فسفر توسط مایکوریزا می‌تواند موجب افزایش تعداد شاخه در گیاه نخود در شرایط تنش شوری شود (Pezeshkpour et al., 2015). در مطالعه حاضر از بین سه قارچ موردبررسی *Piriformospora indica* تأثیر مثبتی بر تعداد شاخه فرعی در بوته داشت؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد که جنس مایکوریزا مورداستفاده نیز بر کاهش اثرات تنش شوری و افزایش تعداد شاخه فرعی مؤثر است.

جدول ۳. اثر تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر برخی صفات رشدی در نخود تحت شرایط کنترل‌شده.

Table 3. Effect of salinity and mycorrhiza fungi on study traits in chickpea.

شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity ($dS.m^{-1}$)	تعداد شاخه‌های فرعی No. of secondary branches	تعداد برگ در بوته No. of leaf per plant
0.5	2.77^{a}	50.37^{a}
3	2.77^{a}	49.77^{a}
6	2.66^{a}	40.00^{b}
9	2.22^{b}	34.44^{c}
مایکوریزا Mycorrhiza		
توده بومی Local ecotype	2.66^{b}	40.83^{b}
Gigospera margarita	24.41^{c}	41.81^{b}
Piriformospora indica	31.16^{a}	48.29^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with common letter(s) in each column are not statistically significant at 5% probability levels based on Duncan's test

تعداد برگ در بوته تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای تنش شوری و مصرف قارچ‌های مایکوریزا قرار گرفت، اما برهمکنش بین سطوح شوری و قارچ‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). با افزایش شدت تنش شوری تعداد برگ در بوته روند کاهشی پیدا کرد به‌نحوی‌که افزایش سطح تنش از تیمار شاهد به سه دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ در بوته نداشت اما با افزایش شدت تنش به شش و ۹ دسی‌زیمنس بر متر به تعداد برگ در بوته ترتیب ۲۶ و ۴۶ درصد کاهش یافت (جدول ۳). بررسی اثر انواع مایکوریزا بر تعداد برگ در بوته نشان داد که قارچ *Piriformospora indica* نسبت به تیمار توده بومی و قارچ *Gigospera margarita* به ترتیب ۱۸ و ۱۵ درصد افزایش داشت، اما بین تیمار توده بومی و *Gigospera margarita* از این نظر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳).

تلقیح نخود با قارچ مایکوریزا با ایجاد یک محیط مناسب رشد و فراهمی عناصر غذایی، موجب رشد و نمو گیاه نخود و افزایش تعداد و درنهایت افزایش سطح برگ می‌گردد (Pezeshkpour et al., 2015). میزان اثر قارچ‌های مختلف مایکوریزا در این پژوهش نشان داد که اثر قارچ *Piriformospora indica* نسبت به قارچ *Gigospera*

margarita بیشتر است و از آن می‌توان در کشت نخود و شرایط تنش استفاده کرد. بررسی همبستگی بین تعداد برگ در بوته و ویژگی‌های فیزیولوژیک و همچنین ارتفاع بوته حاکی از اثر مثبت این ویژگی‌ها بر تعداد برگ در بوته می‌باشد (جدول ۱۱).

جدول ۴. برهمکنش تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر برخی صفات موردمطالعه در نخود.

Table 4. Effect of salinity and mycorrhiza fungi of study traits in chickpea.

شوری Salinity	مایکوریزا Mycorrhiza	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
$dS.m^{-1}$		cm	$g.plant^{-1}$
0.5	توده بومی Local ecotype	31.33^{bc}	5.66^{bc}
	Gigospera margarita	31.00^{c}	4.06^{e}
	Piriformospora indica	36.33^{a}	6.77^{b}
3	توده بومی Local ecotype	31.33^{bc}	4.68^{d}
	Gigospera margarita	26.33^{de}	3.83^{e}
	Piriformospora indica	33.66^{ab}	6.08^{b}
6	توده بومی Local ecotype	26.33^{de}	4.18^{e}
	Gigospera margarita	23.00^{ef}	2.81^{g}
	Piriformospora indica	29.00^{cd}	5.27^{c}
9	توده بومی Local ecotype	21.66^{f}	3.32^{f}
	Gigospera margarita	17.33^{g}	2.44^{g}
	Piriformospora indica	25.66^{de}	4.13^{e}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with common letter(s) in each column are not statistically significant at 5% probability levels based on Duncan's test.

وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش شوری، کاربرد قارچ مایکوریزا و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). میزان افزایش وزن خشک اندام هوایی در سطوح شاهد، سه، شش و ۹ دسی‌زیمنس بر متر شوری در تیمار کاربرد قارچ *Piriformospora indica* نسبت به تیمار توده بومی به ترتیب ۱۹/۶، ۲۹/۹، ۲۶/۱ و ۲۴/۴ درصد و نسبت به کاربرد قارچ *Gigospera margarita* به ترتیب ۶۶/۸، ۵۸/۸، ۸۷/۵ و ۶۹/۳ درصد بود (جدول ۴).

هر نوع همزیستی چون مایکوریزا با گیاه که موجب فراهمی فسفر برای گیاه شود باعث افزایش جذب فسفر و افزایش وزن خشک بوته خواهد شد. همچنین گزارش‌شده است که تلقیح بذور نخود با مایکوریزا وزن خشک کل را به میزان ۴۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داده است (Farzaneh et al., 2009). دلیل این موضوع احتمالاً افزایش طول تارهای کشنده ریشه و هیف‌های قارچ باشد و لذا با افزایش رشد ریشه، تجمع ماده خشک با تلقیح مایکوریزا بهبود می‌یابد. در این پژوهش کاربرد قارچ *Piriformospora indica* موجب بهبود در ویژگی‌های فیزیولوژیک ازجمله بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای، شاخص اسپد، محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء و همچنین ویژگی‌های رشدی مانند ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته در شرایط تنش و غیر تنش نسبت به قارچ *Gigospera margarita* و تیمار توده بومی گردید که برآیند تمامی آن‌ها افزایش رشد و وزن خشک اندام هوایی است. ضریب همبستگی بین ماده خشک تولیدی و بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II ($r=۰/۸۷^{**}$)، هدایت روزنه‌ای ($r=۰/۸۴^{**}$)، شاخص سبزینگی ($r=۰/۷۷^{**}$)، محتوی نسبی آب برگ ($r=۰/۷۳^{**}$)، پایداری غشاء ($r=۰/۷۶^{**}$) که روی فیزیولوژی گیاه مؤثر است و درنهایت میزان تولید در گیاه را تعیین می‌کنند مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۱۱).

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس تغییرات بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II تحت تأثیر تنش شوری و گونه‌های مایکوریزا و برهمکنش آن‌ها معنی‌دار شد (جدول ۵). کمترین و بیشترین مقدار بیشینه‌ی کارای پتانسیل

فتوسیستم II به ترتیب مربوط به تیمار شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار شاهد بود (جدول ۷). در بررسی بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II تحت تأثیر شوری و مصرف مایکوریزا مشاهده شد که کمترین و بیشترین مقدار بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II را به ترتیب تیمارهای مصرف شبه مایکوریزا *Piriformospora indica* در شوری ۹ دسی‌زیمنس برمتر و مصرف گونه *Gigospera margarita* در تیمار شاهد داشتند (جدول ۷).

کاهش بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II به مفهوم تحت تنش بودن گیاه و آسیب به سیستم فتوسنتزی به‌ویژه فتوسیستم II است. تنش شوری از عواملی است که موجب کاهش بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II در گیاهان می‌گردد. استفاده از گونه‌های مایکوریزا به دلیل کاهش اثرات تنش شوری می‌تواند شرایط تنش را برای گیاه تعدیل کرده و بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II را افزایش دهد. در مطالعه حاضر در میان گونه‌های مایکوریزا مورداستفاده گونه *Piriformospora indica* توانایی بیشتری برای تعدیل اثرات تنش شوری و بهبود وضعیت سیستم فتوسنتزی فتوسیستم II از خود نشان داد (جدول ۷). از سوی دیگر گونه *Gigospera margarita* در تمامی سطوح تنش شوری مقادیر بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II کمتری نسبت به گونه *Piriformospora indica* و توده بومی مایکوریزا داشت (جدول ۷).

جدول ۵. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات، بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزینگی، محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء در نخود تحت تأثیر شوری و قارچ مایکوریزا.

Table 5. Source of variation, degree freedom and mean squares of maximum quantum yield of PSII photosystems (F'_v/F'_m), Stomatal conductance, Spad, relative water content (RWC) and membrane stability index (MSI) in chickpea under salinity stress and mycorrhiza fungi.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II F'_v/F'_m	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	شاخص سبزینگی Spad	محتوای نسبی آب برگ RWC	شاخص پایداری غشاء MSI
بلوک Block	2	0.0001	148	7.37	5.09	0.69
شوری Salinity (S)	3	0.526**	994**	140**	270**	57.6**
مایکوریزا Mycorrhiza (M)	2	0.005**	73.5**	101**	254**	10.6**
شوری ×مایکوریزا S×M	6	0.007**	15.24ns	4.80*	11.0ns	0.87ns
خطا Error	22	0.0001	11.8	1.48	11.70	0.85
ضریب تغییرات (٪) CV%		1.85	7.75	7.81	4.71	4.10

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and**:non-significant and significant at 5 and 1% level of probability, respectively.

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار سطوح تنش شوری و قارچ‌های مایکوریزا بر میزان تبادلات گازی روزنه بود (جدول ۵). با افزایش شدت تنش شوری میزان هدایت روزنه‌ای کاهش پیدا کرد به‌نحوی‌که درصد کاهش این ویژگی از تیمار شاهد به حداکثر سطح تنش شوری ۸۹ درصد بود (جدول ۶). بررسی وضعیت هدایت روزنه‌ای در کاربرد گونه‌های مایکوریزا نشان داد که گونه *Piriformospora indica* بیشترین مقدار تبادل گازی را دارد، بااین‌وجود تفاوت آن با توده بومی مایکوریزا معنی‌دار نبود از سوی دیگر کاربرد گونه *Gigospera margarita* موجب کاهش معنی‌دار این ویژگی شد (جدول ۶). با افزایش سلامت دستگاه فتوسنتزی هدایت روزنه‌ای افزایش می‌یابد، همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۸۹^{**}$) بین هدایت روزنه‌ای و بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II تائید کننده این موضوع می‌باشد (جدول ۱۱).

جدول ۶. اثر تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء در نخود.

Table 6. Effect of salinity and mycorrhiza fungi on stomatal conductance, relative water content (RWC) and membrane stability index (MSI) in chickpea.

شوری Salinity	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	محتوای نسبی آب برگ RWC	شاخص پایداری غشاء MSI
$dS.m^{-1}$	$mmol.m^{-2}.s^{-1}$	----------%	----------%
0.5	51.67[a]	79.20[a]	25/79[a]
3	43.10[b]	70.31[c]	21.56[c]
6	34.69[c]	74.15[b]	22.88[b]
9	27/37[d]	66/38[d]	19.79[d]
مایکوریزا Mycorrhiza			
توده بومی Local ecotype	39.88[a]	72.55[b]	22.71[a]
Gigospera margarita	36.46[b]	67.89[c]	21.48[b]
Piriformospora indica	41.27[a]	77.09[a]	23.33[a]

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with common letter(s) in each column are not statistically significant at 5% probability levels based on Duncan's test

بالا رفتن سطح شوری به دلیل تجمع نمک‌ها در ناحیه ریشه علاوه بر مسمومیت سدیمی موجب ایجاد اختلاف پتانسیل در ناحیه ریشه می‌شود که این موضوع گیاه را با تنش خشکی مواجه می‌کند. ازاین‌رو حضور مایکوریزا می‌تواند با افزایش سطح جذب ریشه اثرات مخرب شدت تنش در گیاه را کاهش دهد. مایکوریزا ارتباط آب با گیاه میزبان را به‌وسیله افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق و کاهش مقاومت روزنه‌ای با تغییر در تعادل هورمون‌های گیاهی ازجمله اسید آبسزیک بهبود می‌بخشد (Rabie and Almadini, 2005). همچنین نتایج پژوهش روی گیاهان همزیست با مایکوریزا و غیر همزیست با مایکوریزا در شرایط تنش رطوبتی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان همزیست با مایکوریزا بیشتر از گیاهان غیر همزیست با مایکوریزا است که این موضوع در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های تلقیح شده است (Hardie and Leyton, 1981). از طرف دیگر در ریشه‌های گیاهان همزیست با مایکوریزا هدایت آبی نیز در واحد طول ریشه دو تا سه برابر افزایش می‌یابد. برگ‌های گیاهان همزیست با مایکوریزا دارای مقاومت کمتری به انتشار بخارآب هستند و همچنین سطح آن‌ها در مقایسه با گیاهان غیرهمزیست با مایکوریزا افزایش می‌یابد (Zahra and Loynachan, 2003). پژوهشگران نشان دادند که مقاومت سویای (*Glycine max*) همزیست با مایکوریزا به انتقال آب ۴۰ درصد کمتر از گیاهان غیر همزیست با مایکوریزا است و لذا اثر اصلی قارچ مایکوریز کاهش مقاومت انتقال آب در ریشه‌ها است که ناشی از وجود هیف‌ها در کورتکس ریشه و افزایش سطح جذب‌کننده آب به‌واسطهٔ رشد هیف است (Safir et al., 1972). مایکوریزا احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل کردن سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریسه‌های قارچ، سبب افزایش جذب آب و بهبود روابط آبی گیاه میزبان می‌شود.

اثر تنش شوری و گونه‌های مایکوریزا و برهمکنش آن‌ها بر شاخص سبزینگی معنی‌داری بود (جدول ۵). افزایش سطح تنش شوری موجب کاهش شاخص سبزینگی در تمامی سطوح کاربرد قارچ‌های مایکوریزا شد. در شرایط بدون تنش و بالاترین سطح تنش شوری بیشترین مقدار شاخص سبزینگی در تیمار استفاده از قارچ *Piriformospora indica* مشاهده شد که با تیمار کاربرد توده بومی مایکوریزا تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۷). با افزایش سطح تنش از شاهد به ۹ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار کاربرد توده بومی مایکوریزا، *Gigospera margarita* و *Piriformospora indica* به ترتیب ۱۷، ۱۱ و ۱۷ درصد کاهش شاخص سبزینگی مشاهده شد. باوجود برتری آماری گونه *Piriformospora indica* ازنظر شاخص سبزینگی در تیمارهای تنش شوری، میزان کاهش شاخص سبزینگی در شرایط تنش شوری در گونه *Gigospera margarita* شش درصد کمتر از گونه *Piriformospora indica* بود (جدول ۷). برهمکنش مثبت و معنی‌دار بین شاخص سبزینگی و

بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II (r=۰/۷۴**) و هدایت روزنه‌ای (r=۰/۷۴**) حاکی از ارتباط مستقیم بین سبزینگی گیاه و دستگاه فتوسنتزی است (جدول ۱۱).

محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر تیمارهای تنش شوری و کاربرد گونه‌های قارچ مایکوریزا قرار گرفت (جدول ۵). افزایش سطح تنش شوری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ گردید، بااین‌وجود در تیمار شش دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم افزایش چهاردرصدی نسبت به تیمار سه دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۶). کاربرد قارچ شبه مایکوریزا گونه *Piriformospora indica* نسبت به کاربرد توده بومی مایکوریزا و گونه *Gigospera margarita* موجب افزایش ۴/۵۴ و ۹/۲۰ درصدی محتوای نسبی آب برگ گردید (جدول ۶).

جدول ۷. برهمکنش تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم *II* و شاخص سبزینگی در نخود.

Table 7. Effect of salinity and mycorrhiza on maximum quantum yield of PSII photosystems (F'_v/F'_m) and spad in chickpea.

شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity ($dS.m^{-1}$)	مایکوریزا Mycorrhiza	بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II F'_v/F'_m	شاخص سبزینگی Spad
0.5	Local ecotype	0.730[b]	72.66[ab]
	Gigospera margarita	0.720[b]	67.93[e]
	Piriformospora indica	0.750[a]	74.66[a]
3	Local ecotype	0.560[d]	67.66[e]
	Gigospera margarita	0.500[e]	62.68[fg]
	Piriformospora indica	0.590[c]	68.33[de]
6	Local ecotype	0.430[f]	70.33[cd]
	Gigospera margarita	0.390[h]	64.00[f]
	Piriformospora indica	0.420[g]	71.00[bc]
9	Local ecotype	0.160[i]	62.00[fg]
	Gigospera margarita	0.140[j]	61.11[g]
	Piriformospora indica	0.170[i]	64.00[f]

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with common letter(s) in each column are not statistically significant at 5% probability levels based on Duncan's test

محتوای نسبی آب برگ درواقع نمایانگر وضعیت تنش آب برگ است که نشان‌دهنده تعادل میان محتوای آب برگ و تعرق است. در مطالعه حاضر بین هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۵۸**) مشاهده شد (جدول ۱۱) که نشانگر افزایش محتوای نسبی آب برگ در شرایط عدم تنش است. کاهش محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای تنش نسبت به بدون تنش توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش‌شده است (Anithakumari, 2011). محتوای نسبی آب برگ بالاتر به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است. هیف‌های برون ریشه‌ای مایکوریزا نقش اساسی در اثرات قارچ بر روابط آبی گیاهان میزبان بر عهده دارند. تصور می‌شود در شرایط تنش و همچنین بدون تنش، ریشه‌های همزیست با مایکوریزا به خاطر توانایی بیشتر در جذب آب و انتقال سریع‌تر آن به بخش هوایی، بتوانند پتانسیل آب برگ خود را نسبت به گیاهان غیر همزیست با مایکوریزا حفظ کنند (Khaninejad et al., 2017). در مطالعه حاضر گونه *Piriformospora indica* نسبت گونه *Gigospera margarita* توانایی بیشتری در بهبود روابط آبی گیاه نخود داشت.

شاخص پایداری غشاء تحت تأثیر تنش شوری و مصرف قارچ‌های مایکوریزا قرار دارد (جدول ۵). شاخص پایداری غشاء در اثر افزایش شدت تنش شوری کاهش داشت، بااین‌وجود در تیمار شش دسی‌زیمنس بر متر نسبت به سه دسی‌زیمنس بر متر افزایش ۱/۳۲ درصدی در این صفت مشاهده شد. بیشترین شاخص پایداری غشاء در کاربرد قارچ *Piriformospora indica* اما تفاوت معنی‌داری با مایکوریزای بومی نداشت (جدول ۶).

به‌طورکلی تنش‌های محیطی ازجمله شوری و خشکی باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و به دنبال آن کاهش شاخص پایداری غشاء سلول در گیاهان مختلف مشاهده می‌شود. پژوهشگران گزارش کردند که افزایش شدت تنش در سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)، سبب افزایش درصد نشت سلولی می‌شود، ایشان همچنین بین رقم‌های مختلف، تنوع در میزان نشت الکترولیت‌ها مشاهده کردند اما به هر صورت در تمامی رقم‌ها با افزایش شدت تنش، افزایش نشت الکترولیت‌ها مشاهده شد (Khorshidi Benam et al., 2002). در شرایط سطوح بالاتر تنش، شاخص پایداری غشاء در گیاهان غیر همزیست با مایکوریزا در هر دو غشاء برگ و ریشه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین در شرایطی که میزان فسفر در دسترس گیاه بالا باشد، تفاوتی بین گیاهان همزیست با مایکوریزا و غیر همزیست با مایکوریزا در این صفت وجود ندارد؛ اما در زمان شرایط تنش تیمارهای همزیست با مایکوریزا توانستند شاخص پایداری غشاء را نسبت به تیمارهای شاهد بدون مایکوریزا به‌طور چشمگیری افزایش دهند (Beltrano et al., 2013). به نظر می‌رسد همزیستی با قارچ مایکوریزا در گیاهان با کاهش اثرات تنش اسمزی موجب کاهش خسارت به ساختار غشاء سلولی می‌گردد. در این مطالعه تا سطح تنش شوری شش دسی‌زیمنس بر متر قارچ *Piriformospora indica* توانست اثرات منفی شوری بر ساختار غشاء را بهبود بخشد اما با افزایش میزان تنش به بالاتر از این مقدار کارایی این قارچ مختل گردید بااین‌وجود تفاوت‌ها ازنظر آماری معنی‌دار نبود. همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۸۰^{**}$) بین شاخص پایداری غشاء و بیشینه‌ی کارایی پتانسیل فتوسیستم II مشاهده شد (جدول ۱۱). این امر نشان‌دهنده رابطه مستقیم سلامت ساختار فتوسنتزی با غشاء سلول است. در شرایط تنش ایجاد رادیکال‌های آزاد در فتوسیستم II موجب ایجاد خسارت به دیواره سلولی می‌گردد.

طول ریشه اصلی در نخود تحت تأثیر سطوح تنش شوری، کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۸). در تمامی تیمارهای مایکوریزا با افزایش تنش شوری طول ریشه اصلی کاهش یافت (جدول ۱۰). میزان تغییرات طول ریشه در تیمارهای مایکوریزا به نحوی بود که کمترین کاهش در اثر افزایش تنش شوری در قارچ *Piriformospora indica* و بیشترین کاهش در قارچ *Gigospera margarita* مشاهده شد. در شرایط غیر شور نیز قارچ *Piriformospora indica* نسبت به تیمار توده بومی و قارچ *Gigospera margarita* هفت درصد ازنظر طول ریشه برتری داشت (جدول ۱۰).

جدول ۸. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات صفات موردبررسی در نخود تحت تأثیر شوری و قارچ مایکوریزا.

Table 8. Source of variation, degree freedom and mean squares of study traits in chickpea under salinity stress and mycorrhiza fungi.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	وزن خشک ریشه Root dry weight	نسبت ریشه به اندام هوایی Root/Shoot	همزیستی Colonization
بلوک Block	2	0.19	0.05	0.004	0.07	0.79
شوری Salinity (S)	3	130^{**}	3.17^{**}	0.05^{**}	0.51^{*}	558^{**}
مایکوریزا Mycorrhiza (M)	2	5.77^{**}	3.06^{**}	0.03^{**}	0.01^{ns}	538^{**}
شوری ×مایکوریزا S×M	6	1.33^{*}	0.12^{ns}	0.001^{ns}	0.14^{ns}	13.8^{**}
خطا Error	22	0.46	0.06	0.001	0.15	2.99
ضریب تغییرات (٪) CV%		*4.19*	*7.93*	*9.16*	*10.44*	*4.47*

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and**:non-significant and significant at 5 and 1% level of probability, respectively

گیاهان دارای همزیستی مایکوریزا، آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌نمایند و باعث می‌شوند تا پتانسیل آب خاک کاهش بیشتری پیدا کند زیرا در گیاهان همزیست با مایکوریزا معمولاً اندام هوایی و سطح برگ‌ها توسعه بیشتری یافته که این خود باعث افزایش نیاز تعرقی گیاهان همزیست با مایکوریزا می‌شود (Bryla and Duniway, 1998). همچنین سامانه ریشه‌ای در آن‌ها توسعه بیشتری پیدا کرده و قطر ریشه‌های فرعی در آن‌ها کاهش و طول ریشه افزایش‌یافته که موجب افزایش سطح تماس ریشه با خاک می‌گردد (Bryla and Duniway, 1998). پژوهشگران بیان کردند که تلقیح بذرهای نخود با قارچ مایکوریز منجر به افزایش ارتفاع ساقه، طول ریشه و وزن خشک گیاه نسبت به تیمار غیر همزیست با مایکوریزا شد (Dileep Kumar, et al., 2001).

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر حجم ریشه نخود بود (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطوح مختلف شوری حجم ریشه کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین حجم ریشه در بوته مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن متعلق به سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر بود. از سوی دیگر بین تیمارهای سه و شش دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۹). در میان تیمارهای قارچ مایکوریزا، قارچ *Piriformospora indica* بیشترین حجم ریشه را نسبت به تیمار توده بومی و قارچ *Gigospera margarita* (به ترتیب ۱۰/۹ و ۳۶/۴ درصد) تولید کرد (جدول ۹).

جدول ۹. اثر تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر صفات موردمطالعه در نخود.

Table 9. Effect of salinity and mycorrhiza fungi of study traits in chickpea.

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	نسبت ریشه به اندام هوایی
Salinity	**Root volume**	**Root dry weight**	**Shoot/Root**
$dS.m^{-1}$	cm^{-3}	$g.plant^{-1}$	
0.5	4.11^{a}	0.54^{a}	4.03^{a}
3	3.29^{b}	0.48^{b}	3.84^{ab}
6	3.04^{b}	0.45^{b}	3.45^{b}
9	2.72^{c}	0.36^{b}	3.76^{ab}
مایکوریزا Mycorrhiza			
توده بومی Local ecotype	3.38^{b}	0.44^{b}	3.74^{a}
Gigospera margarita	2.75^{c}	0.41^{b}	3.81^{a}
Piriformospora indica	3.75^{a}	0.52^{a}	3.76^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with common letter(s) in each column are not statistically significant at 5% probability levels based on Duncan's test

پس از رویش اسپورهای قارچ مایکوریزا و گسترش آن‌ها در ریزوسفر، بخشی از هیف وارد سیستم ریشه گیاه شده و سبب کاهش غلظت آبسیزیک اسید و افزایش میزان سیتوکنین می‌شود. این عمل سبب گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب و درنتیجه افزایش حجم ریشه می‌گردد (Farhadian Asgarabadi and Eisvand, 2017). بررسی اثر مایکوریزا روی ریشه نخود طی تنش خشکی نشان داد که افزایش تنش خشکی موجب کاهش حجم ریشه می‌شود، اما استفاده از مایکوریزا باعث بالا رفتن حجم ریشه شد. قارچ مایکوریز بر تراکم سیستم ریشه‌ای و تشکیل ریشه‌های جانبی و افزایش وزن و حجم ریشه تأثیر مثبتی دارد (Farhadian Asgarabadi and Eisvand, 2017). مطالعات نشان داده است که طول مؤثر ریشه توسط مایکوریز ممکن است به میزان ۱۰۰ برابر بیشتر در طول واحد ریشه، افزایش یابد (McGonigle and Miller, 1999). آن‌ها بیان کردند که بالاتر بودن این ویژگی حاکی از کارایی بیشتر نظام مایکوریزایی می‌باشد. مطالعه تأثیر دو گونه قارچ *G. intraradices* و *G. etunicatum* روی سیب‌زمینی نشان داد که *G. etunicatum* سبب افزایش وزن تر ساقه، وزن خشک ریشه و تعداد غده‌های تولیدی شد درحالی‌که *G. intraradices* تنها تعداد غده‌ها را افزایش داد (Yao et al., 2002).

وزن خشک ریشه نخود به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر تنش شوری و کاربرد قارچ‌های مایکوریزا قرار گرفت (جدول ۸).

وزن خشک ریشه با افزایش سطح تنش کاهش یافت اما تفاوت بین سطوح تنش سه، شش و نه دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود (جدول ۹). ازنظر وزن خشک ریشه در میان تیمارهای قارچ مایکوریزا، قارچ *Piriformospora indica* بیشترین وزن خشک را تولید کرد و بین تیمار توده بومی و قارچ *Gigospera margarita* تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۹).

نسبت اندام هوایی به ریشه تنها تحت تأثیر معنی‌دار تنش شوری قرار گرفت (جدول ۸). بیشترین نسبت اندام هوایی به ریشه در تیمار بدون تنش مشاهده شد که تنها با تیمار شش دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری داشت، همچنین بین تیمارهای سطوح تنش شوری سه، شش و نه دسی‌زیمنس بر متر نیز تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۹).

جدول ۱۰. برهمکنش تنش شوری و قارچ مایکوریزا بر صفات موردمطالعه در نخود.

Table 10. Effect of salinity and mycorrhiza fungi of study traits in chickpea.

شوری Salinity	مایکوریزا Mycorrhiza	طول ریشه Root length	درصد همزیستی Colonization
$dS.m^{-1}$		cm	%
0.5	توده بومی Local ecotype	20.33^{b}	47.66^{c}
	Gigospera margarita	20.33^{b}	40.33^{d}
	Piriformospora indica	21.66^{a}	54.66^{a}
3	توده بومی Local ecotype	16.66^{c}	45.08^{c}
	Gigospera margarita	17.33^{c}	32.3^{8f}
	Piriformospora indica	17.33^{c}	50.00^{b}
6	توده بومی Local ecotype	16.33^{c}	36.66^{e}
	Gigospera margarita	14.33^{d}	27.66^{g}
	Piriformospora indica	16.66^{c}	40.00^{d}
9	توده بومی Local ecotype	11.00^{f}	30.75^{f}
	Gigospera margarita	11.00^{f}	25.23^{g}
	Piriformospora indica	12.66^{e}	33.66^{f}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر صفت در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with common letter(s) in each column are not statistically significant at 5% probability levels based on Duncan's test

هیف‌های قارچ مایکوریز سطح جذب کلی گیاهان تلقیح شده را افزایش می‌دهد و به همین علت موجب افزایش دسترسی گیاهان تلقیح شده به عناصر غذایی در منطقه دورتر ریشه گیاه می‌گردد و عملاً گیاه از حجم بیشتری از خاک استفاده می‌کند (Al-Karaki and Hammad, 2001). دلیل افزایش ماده خشک در شرایط کاربرد قارچ مایکوریز، فرایند عمل این قارچ در جذب فسفر است (Khalvati et al., 2005). باوجودی که روند تغییرات وزن خشک ریشه در گونه‌های مختلف قارچ با طول ریشه متفاوت است، به نظر می‌رسد قارچ مایکوریز بر تراکم سیستم ریشه‌ای و تشکیل ریشه‌های جانبی و افزایش وزن و حجم ریشه اثر فزاینده دارد (Khaninejad et al., 2017). هیف‌های قارچ مایکوریز به دو دسته تقسیم می‌شوند، تعدادی از آن‌ها وارد سیستم گیاه شده و سبب کاهش غلظت ABA و افزایش میزان سیتوکینین می‌گردند، این عمل سبب افزایش جذب آب و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌گردد. دسته دوم از هیف‌ها خارج از سیستم ریشه بوده، این هیف‌ها از خود اسیدهای آلی محلول کننده فسفر نظیر اسید مالیک ترشح کرده که جذب فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهند و باعث افزایش ماده خشک می‌شوند (Khaninejad et al., 2017). در اثر همزیستی گیاه با قارچ مایکوریزا با توجه به این نکته که بخش زیادی از بافت قارچی آن در داخل سلول کورتکس ریشه، خارج از غشای پلاسمایی (Lambers et al., 2008) قرار می‌گیرد باعث ایجاد ریشه‌های قوی‌تر و ضخیم‌تری شده و درنتیجه نسبت وزن خشک ریشه به شاخه نسبت به تیمار عدم تلقیح افزایش می‌یابد (Zarea et al., 2011).

جدول ۱۱. همبستگی صفات موردمطالعه در نخود.

Table 11. Coefficient of correlations of study traits of chickpea.

No.	Traits	1	2	3	4.	5.	6.	7.
1.	F'v/F'm بیشینه کارایی فتوسیستم دو	1						
2.	Stomatal conductance هدایت روزنه‌ای	0.89**	1					
3.	Spad سبزینگی	0.74**	0.74**	1				
4.	RWC محتوای نسبی آب برگ	0.64**	0.58**	0.86**	1			
5.	MSI شاخص پایداری غشاء	0.80**	0.72**	0.83**	0.74**	1		
6.	Plant height ارتفاع بوته	0.81**	0.78**	0.74**	0.70**	0.73**	1	
7.	Lowest branch height ارتفاع اولین غلاف	0.26ns	0.20ns	0.24ns	0.05ns	0.28ns	0.34ns	1
8.	No. of secondary branches شاخه فرعی تعداد	0.47**	0.42*	0.58**	0.54**	0.47**	0.61**	0.16ns
9.	No. of leaf per plant تعداد برگ	0.80**	0.80**	0.59**	0.57**	0.60**	0.78**	0.27ns
10.	Shoot dry weigh وزن خشک اندام هوایی	0.87**	0.84**	0.77**	0.73**	0.76**	0.89**	0.25ns
11.	Root length طول ریشه	0.96**	0.88**	0.79**	0.70**	0.82**	0.83**	0.22ns
12.	Root volume حجم ریشه	0.73**	0.74**	0.81**	0.78**	0.78**	0.87**	0.26ns
13.	Root dry weight وزن خشک ریشه	0.77**	0.76**	0.81**	0.74**	0.70**	0.83**	0.31ns
14.	Shoot/Root نسبت ریشه به اندام هوایی	0.26ns	0.25ns	0.01ns	0.09ns	0.78**	0.19ns	-0.11ns
15.	Colonization درصد همزیستی	0.80**	0.79**	0.82**	0.74**	0.75**	0.90**	0.29ns

Table 11. Continued **جدول ۱۱. ادامه**

No.	Traits	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
8.	No. of secondary branches تعداد شاخه فرعی	1							
9.	No. of leaf per plant تعداد برگ	0.46**	1						
10.	Shoot dry weigh وزن خشک اندام هوایی	0.56**	0.89**	1					
11.	Root length طول ریشه	0.47**	0.78**	0.88**	1				
12.	Root volume حجم ریشه	0.62**	0.66**	0.86**	0.76**	1			
13.	Root dry weight وزن خشک ریشه	0.61**	0.76**	0.87**	0.80**	0.83**	1		
14.	Shoot/Root نسبت ریشه به اندام هوایی	-0.05ns	0.31ns	0.32ns	0.24ns	0.12ns	-0.18ns	1	
15.	Colonization درصد همزیستی	0.62**	0.77**	0.91**	0.79**	0.90**	0.84**	0.21ns	1

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and**:non-significant and significant at 5 and 1% level of probability, respectively.

اثر تنش شوری، قارچ‌های مایکوریزا و برهمکنش آن‌ها بر درصد همزیستی ریشه با مایکوریزا معنی‌دار بود (جدول ۸). میزان درصد همزیستی در بین سطوح مختلف شوری و مایکوریزا دچار تغییراتی شد به‌نحوی‌که تیمار شاهد به همراه مصرف شبه مایکوریزا گونه *Piriformospora indica* بیشترین درصد همزیستی را به خود اختصاص داد. در مقابل تیمار شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر به همراه مصرف مایکوریزا گونه *Gigospera margarita* کمترین درصد همزیستی را داشتند (جدول ۱۰).

به نظر می‌رسد حساسیت قارچ مایکوریزا به تنش شوری بالا بوده و افزایش شدت تنش موجب کاهش فعالیت و جمعیت این قارچ‌ها و کاهش درصد همزیستی آن‌ها می‌گردد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در مناطق شور کارایی و همزیستی این قارچ‌ها با گیاهان کاهش پیدا می‌کند. نتایج آزمایشی که روی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) انجام شد، نشان داد که بیشترین درصد کلونی در ریشه‌های گوجه‌فرنگی مربوط به گونه *G. fasciculatum* بود و این قارچ سبب افزایش رشد و عملکرد میوه، جذب عناصر معدنی و اندازه میوه در گیاه شد (Yildiz Dasgan et al., 2008). در آزمایشی دیگر نیز روی چهار ژنوتیپ سیب‌زمینی نشان داده شد که دو گونه قارچ *G. mosseae* و *G. fasciculatum* بیشترین فراوانی را در ریشه این گیاه از خود

نشان دادند (Nasim, 2010). همچنین اثر تلقیح قارچ مایکوریز بر میزان استقرار و درصد زنده ماندن غده‌ها و ریزغده‌های حاصل از کشت بافت، نشان داد که طول ریشه کلونیزه شده و نیز درصد کلونیزاسیون ریشه ارتباط مستقیمی با خصوصیات شیمیایی خاک از قبیل میزان فسفر و عناصر غذایی دیگر، شوری خاک، خصوصیات مورفولوژیکی ریشه گیاه و گونه قارچی دارد (Chen et al., 2005). مطالعات نشان داد که تلقیح میکوریزایی به‌طور قابل‌توجهی ریشه‌های یونجه (*Medicago sativa*) را کلونیزه کرده و از این طریق منجر به افزایش رشد و نمو بهتر گیاه شده است (Wang et al., 2012). از طرفی با افزایش شدت تنش شوری سدیمی کلونیزاسیون و مقدار آربسکول و وزیکول در ریشه کاهش می‌یابد (Aliasgharzadeh et al., 2001).

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری تعداد شاخه فرعی، وزن خشک بوته، ارتفاع بوته، تعداد برگ، محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء، هدایت روزنه‌ای، شاخص سبزینگی، حجم ریشه، طول ریشه، وزن خشک ریشه و درصد همزیستی کاهش پیدا کرد. افزایش شوری به دلیل افزایش پتانسیل اسمزی خاک سمیت ناشی از عناصر نمک، تأثیر منفی بر گسترش ریشه داشته و باعث کاهش رشد گیاه گردید. تلقیح مایکوریزا تأثیر مثبت و معنی‌داری بر سیستم فتوسنتزی فتوسیستم II، شاخص سبزینگی، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، طول ریشه و درصد کلونیزاسیون، حجم ریشه، محتوای نسبی آب برگ و پایداری غشاء داشت. استفاده از همزیستی جنس‌های *Piriformospora indica* و *Gigospera margarita* در شرایط تنش شوری باعث افزایش تحمل گیاه به شوری گردید. از این رو به نظر می‌رسد با به‌کارگیری سویه مناسب تجاری و متحمل به شوری میکوریزای، می‌توان با کاهش اثرات مخرب شوری، کاهش تولید ناشی از شوری در اراضی شور را کاهش داد. گونه قارچ *Piriformospora indica* همزیستی بیشتری را با ریشه نخود نسبت به گونه قارچ مایکوریزا *Gigospera margarita* نشان داد.

منابع

Abdel-Fattah, G.M., Ibrahim, A.H., Al-Amri, S.M., Shoker, A.E., 2013. Synergistic effect of arbuscular mycorrhizal fungi and spermine on amelioration of salinity stress of wheat (*'Triticum aestivum'* L. cv. gimiza 9). Australian Journal of Crop Science. 7, 1525.

Aliasgharzadeh, N., Rastin, S.N., Towfighi, H., Alizadeh, A., 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. Mycorrhiza. 11, 119-122.

Al-Karaki, G.N., Hammad, R., Rusan, M., 2001. Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress. Mycorrhiza. 11, 43-47.

Anithakumari, A.M., 2011. Genetic Dissection of Drought Tolerance in Potato. PhD. Thesis, Wageningen University, Wageningen, NL.

Bayoumi, T., Eid, M.H., Metwali, E., 2010. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. African Journal of Biotechnology. 7, 2341-2352.

Beltrano, J., Ruscitti, M., Arango, M.C., Ronco, M., 2013. Effects of arbuscular mycorrhiza inoculation on plant growth, biological and physiological parameters and mineral nutrition in pepper grown under different salinity and p levels. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 13, 23-141.

Bethenfalvay, G.J., Yoder, J.F., 1981. The glycine max-Glomus fasciculatus Rhizobium japonicum symbiosis 1. Phosphorus effect on nitrogen fixation and mycorrhizal infection. Physiologia Plantarum. 52, 141-145.

Bryla, D.R., Duniway, J.M., 1998. The influence of the mycorrhiza Glomus etunicatum on drought acclimation on safflower and wheat. Plant and Soil. 104, 87-96.

Chen, X., Chunhua, W., Jianjun, T., Shuijin, H., 2005. Arbuscular mycorrhiza enhance metal lead uptake and growth of host plant under a sand culture experiment. Chemospher Journal. 60, 665-671.

Dalpe R., 1993. Evaluating the Industrial Relevance of Public R&D Laboratories. In: Bozeman, B., Melkers, J. (eds.), Evaluating

R&D Impacts: Methods and Practice. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5182-6_11

Dileep Kumar, S.B., Berggren, I., and Martensson, A.M., 2001. Potential for improving pea production by inoculation with Fluorescent pseudomonas and Rhizobium. Plant and Soil. 229, 25-34.

Evelin, H., Giri, B., Kapoor, R., 2012. Contribution of Glomus intraradices inoculation to nutrient acquisition and mitigation of ionic imbalance in NaCl-stressed Trigonella foenum-graecum. Mycorrhiza. 22, 203-217.

FAOSTAT, 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/faos tat/en/#data/QC (accessed: 20 January 2018).

Farhadian Asgarabadi, K., Eisvand H., 2017. Effects of mycorrhiza and superabsorbent on root morphological characteristics and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rain-fed conditions. Journal of Crop Production. 10, 61-73. [In Persian with English Summary].

Farzaneh, M., Wichmann, S., Vierheilig, H. and Kaul, H.P., 2009. The effects of arbuscular mycorrhiza and nitrogen nutrition on growth of chickpea and barley. Pflanzenbauwissenschaften. 13, 15-22.

Garg, N., Manchanda, G., 2009. Role of arbuscular mycorrhizae in the alleviation of ionic, osmotic and oxidative stresses induced by salinity in *Cajanus cajan* L. Millsp. (pigeonpea). Journal of Agronomy and Crop Science. 195, 110-123.

Gerdemann, J.W., Nicolson, T.H., 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society. 46, 235-244.

Hardie, K., Leyton, L., 1981. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth and water relations of red clover. In phosphate deficient soil. New Phytologist. 89, 599–608.

Hussain, S., Shaukat, M., Ashraf, M., Zhu, C., Jin, Q., Zhang, J., 2019. Salinity stress in arid and semi-arid climates: Effects and management in field crops. In Climate Change and Agriculture. IntechOpen.

Khalvati, M.A., Mozafar, A., Schmidhalter, U., 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart. 7, 706-712.

Khaninejad, S., Khazaie, H.R., Nabati, J., Kafi, M., 2017. Effect of Three Species of Mycorrhiza Inoculation on Yield and Some Physiological properties of Two Potato Cultivars under Drought Stress in Controlled Conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. 14, 558-574. [In Persian with English Summary].

Khorshidi Benam, M.B., Rahimzadeh Khoii, F., Mirhadi M.J., Nour-Mohamadi, G., 2002. Study of drought stress effects in different growth stages on potato cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences. 4, 48-59.

Lambers, H., Chapin, III F.S., Pons, T.L., 2008. Plant Physiological Ecology: Biotic influences. Springer Pp, 404-443.

McGonigle, T.P., Miller, M.H., 1999. Winter survival of extra radical hyphae and spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. Applied Soil Ecology. 12, 41-50.

Mohammadi, E., Asghari, H.R., Gholami, A., 2013. Effect of mycorrhiza inoculation and phosphorus fertilizer on some growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Hashem cultivar. Agroecology. 5, 63-271. [In Persian with English Summary].

Morton, J.B., Benny, G.L., 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. Mycotaxon. 37, 471-491.

Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghaddam, P., Masoumi, A., Zare Mehrgerdi, M., 2014. Evaluation of some physiological characteristics and antioxidants activity in Kochia (*Kochia scoparia*) in different of salinity levels and growth stages. Iranian Journal of Field Crops Research. 12, 17-26. [In Persian with English Summary].

Nasim, GH., 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with tissue culture raised potato. Pakistan Journal of Botany. 42, 4215-4227.

Nicolson, T.H., 1955. Nicolson's formula. Mycorrhiza News. 12.

Pezeshkpour, P.M., Ardakani, R., Paknejad, F., Vazan, S., 2015. Effects of vermicompost,

microorganisms mycorrhiza and phosphate biofertilizer on some morphophysiological characteristics and seed protein percent of chickpea in autumn plantation. Journal of Plant Ecophysiology. 7, 190-204. [In Persian with English Summary].

Phillips, J.M., Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British mycological Society. 55, 158-IN18.

Porcel, R., Aroca, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2012. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Agronomy for sustainable Development. 32, 181-200.

Pouresmael, M., Rastegar, J., Zangiabadi, M., 2014. Genetic variation for salinity tolerance and its association with biomass production in cultivated chickpea genotypes. Journal of Crop Improvment. 16, 749-763. [In Persian with English Summary].

Querejeta, J.I., Egerton-Warburton, L.M., Prieto, I., Vargas, R., Allen, M.F., 2012. Changes in soil hyphal abundance and viability can alter the patterns of hydraulic redistribution by plant roots. Plant and Soil. 355, 63-73.

Qureshi A.S., Qadir, M., Heydari, N., Turral, H., Javadi, A., 2007. A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 30p. (IWMI Working Paper 125).

Rabie, G.H., Almadini, A.M., 2005. Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of Vicia faba plants under salinity stress. African Journal of Biotechnology. 4, 210-222.

Ruiz-Lozano, J.M., Porcel, R., Azcón, C., Aroca. R., 2012. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: New challenges in physiological and molecular studies. Journal of Experimental Botany. 63, 4033-4044.

Ruiz-Sanchez, M., Aroca, R., Munoz, Y., Polon, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2010. The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. Journal of Plant Physiology. 167, 862-869.

Safir, G.R. Boyer, J.S., Gerdemann, J.W., 1972. Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. Plant Physiology. 49, 700-703.

Sairam, R.K., Rao, K.V., Srivastava, G., 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science. 163, 1037-1046.

Schenck, N.C., Perez, Y. 1988. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Plant Pathology Department Institute of Food and Agricultural Sciences University of Florida.

Smart, R.E., Bingham, G.E., 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant Physiology. 53, 258–260.

Wang, Y., Huang, J., Gao, Y., 2012. Arbuscular mycorrhizal colonization alters subcellular distribution and chemical forms of cadmium in *Medicago sativa* L.and resists cadmium toxicity. PLoS One. 7, e48669.

Warcup, J.H., Talbot, P.H.B., 1967. Perfect states of Rhizoctonias associated with orchids. New Phytologist. 66, 631-641.

Yamato, M., Ikeda, S., Iwase, K., 2009. Community of arbuscular mycorrhizal fungi in drought-resistant plants, Moringa spp., in semiarid regions in Madagascar and Uganda. Mycoscience. 50. 100-105.

Yao, M.K., Tweddell, R.J., Désilets, H., 2002. Effect of two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated potato plantlets and on the extent of disease caused by Rhizoctonia solani. Mycorrhiza. 12, 235–242.

Yildiz Dasgan, H., Kusvuran, S., Ortas, I., 2008. Responses of soilless grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in re-cycling and open systems. African Journal of Biotechnology. 20, 3606-3613.

Zahra, I.T., Loynachan, T.E., 2003. Endomycorrhizal fungi survival in continuous corn, soybean and fallow. Agronomy Journal. 95, 224-230.

Zarea, M.J., Karimi, N., Mohammadi Goltapeh, E., Ghalavand, A., 2011. Effect of cropping systems and arbuscular mycorrhizal fungi on soil microbial activity and root nodule nitrogenase. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 10, 109-120.