Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 51, No 1, Spring 2020 (255-271)
DOI: 10.22059/ijhs.2019.271066.1553

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۹ (ص ۲۷۱-۲۵۵)

مطالعه کارایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر بهبود برخی شاخص‌های رشد پایه ریزازدیادی گلابی (پیرودوارف) تحت تنش خشکی

خاطره شیرین‌زاده[۱]، ابراهیم صداقتی[۲*]، علی‌اکبر محمدی میریک[۳] و حمیدرضا کریمی[٤]

۱، ۳ و ٤. دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان، ایران

۲. دانشیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان، ایران و دانشیار مرکز تحقیقات سلامت پسته، دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان، ایران، کد پستی: ۷۷۱۷۷۳۵۹۷۹

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸)

چکیده

یکی از مشکلات مهم در مورد تولید تجاری گیاهان ریزازدیادی، بقای کم و رشد ضعیف بعد از مرحله انتقال می‌باشد. به‌منظور مطالعه تأثیر همزیستی قارچ‌های میکوریز بر استقرار، بقا، جنبه‌های مختلف رشد و همچنین میزان جذب عناصر غذایی نهال‌های گلابی حاصل از ریزازدیادی پایه پیرودوارف در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل میکوریز در دو سطح (با میکوریز و بدون میکوریز) و تنش خشکی در سه سطح (دور آبیاری سه، پنج و هفت روز یک بار) در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. دو ماه پس از اعمال تنش خشکی، گیاهان برداشت شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد همزیستی میکوریزی موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رویشی در تمامی سطوح تنش خشکی شد. به‌طوری که سطح برگ کل، ارتفاع ساقه، وزن تر کل برگ و وزن خشک ریشه نهال‌های میکوریزایی در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۳/٦، ۱/۳، ۳/۱ و ۱/۹ برابر افزایش نشان دادند. همچنین میزان عناصر فسفر، منگنز، مس، روی و پتاسیم اندام‌های هوایی و ریشه در تیمارهای میکوریزایی نسبت به تیمارهای شاهد (بدون میکوریز) افزایش معنی‌داری داشتند. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد نهال‌های گلابی حاصل از کشت بافت مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار علاوه بر سازگاری و رشد بهتر، محتوی بالاتر عناصر غذایی، تحمل بیشتری به تنش خشکی داشتند.

واژه‌های کلیدی: تنش غیرزیستی، سازگاری، کشت بافت، گلابی، همزیستی.

Study of arbuscular mycorrhizal fungi performance on some growth indices improvement of micro-propagated pear rootstock (Pyrodwarf) under drought stress

Khatereh Shirinzadeh[1], Ebrahim Sedaghati[2*], Ali Akbar Mohammadi Mirik[3] and Hamid Reza Karimi[4]

1, 3, 4. M.Sc. Student, Assistant Professor and Professor, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran

2. Associate Professor, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran and Associate Professor, Pistachio Safety Research Center, Rafsanjan University of Medical Science, Iran. P O BOX: 7717735979

(Received: Dec. 10, 2018- Accepted: Feb. 17, 2019)

ABSTRACT

One of the major problems with commercial production of micro-propagated plants is low survival and poor growth after transplanting. In order to investigation the effect of arbuscular mycorrhizal symbiosis on establishment, survival, growth, as well as nutrients absorption on Pyrodwarf micropropagated rootstock in drought stress conditions, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with two factors including mycorrhizae in two levels (with and without) and drought stress in three levels (three, five and seven days irrigation intervals) in three replications in greenhouse conditions. The plants harvested two months after drought stress. The results of variance analysis showed that mycorrhizal symbiosis significantly increased vegetative indices at all levels of drought stress. The total leaf area, stem height, total leaf fresh weight and root dry weight of mycorrhizal seedlings were 3.6, 1.3, 3.1 and 1.9 times higher than non-mycorrhizal plants, respectively. The content of P, Mn, Cu, Zn and K and in root and shoot tissues increased significantly in mycorrhizal treatments than control. Generally, the results of this study showed that pear seedlings treated by arbuscular mycorrhizal fungi had better acclimatization, growth and more tolerance at normal and drought stress condition.

Keywords: Abiotic stress, acclimatization, pear, symbiosis, tissue culture.

* Corresponding author E-mail: sedaghati@vru.ac.ir

مقدمه

گلابی (*Pyrus communis* L.) گیاهی گلدار، از رده دولپه‌ای‌ها می‌باشد که به تیره گل‌سرخیان (Rosaceae) و زیرتیره دانه‌دارها (Pomoideae) تعلق دارد (Ahmed *et al*., 2010). درخت گلابی بومی آسیای غربی و اروپای شرقی به‌ویژه نواحی شمال غربی ایران و مناطق جنوبی دریای خزر می‌باشد و بیشتر در مناطق سردسیر و کوهستانی می‌روید. تولیدکنندگان گلابی در سراسر دنیا به دنبال برگشت سریع‌تر سرمایه و صرفه‌جویی در هزینه‌ها هستند و این هدف به‌خوبی با کشت درختان پاکوتاه و سیستم کشت متراکم در باغ‌ها حاصل می‌گردد (Alizadeh Zarmehri *et al*., 2017). در سال ۱۹۸۰ دورگ‌هایی بین دو رقم الدهم (Old Home) و بن لوئیز دآورانچز (Bonne Louise d`Averanches) انجام شد. از مجموعه دانهال‌های تولیدی از این تلاقی‌ها، تعدادی از آنها انتخاب و پیرودوارف (Pyrodwarf) نامیده شدند. از دلایل استفاده از رقم الدهم مقاومت به بیماری آتشک و رقم بن لوئیز دآورانچز قدرت ریشه‌دهی و سهل ریشه‌زایی این رقم ها بود (Abdollahi, 2010). پیرودوارف یکی از ۸۰ پایه رویشی می‌باشد که از گونه *P. communis* در سال ۱۹۸۰ در ایستگاه تحقیقات جیسن‌هیم آلمان انتخاب شد و در سال ۱۹۹۳ به‌صورت یک‌پایه ملی ثبت گردید (Jacob, 2000). این پایه‌ها باردهی بسیار خوبی دارند و به آسانی توسط قلمه، خوابانیدن و کشت بافت تکثیر می‌یابند (Zarrinbal, 2016).

کشت بافت یک روش جایگزین، ارزان و مطمئن برای حفاظت منابع ژنتیکی و تولید نهال سالم درختان میوه می‌باشد (Viseur, 1987). اصطلاح "کشت بافت" (Tissue culture)، به‌طور کلی به کشت درون‌شیشه‌ای هر قسمتی از گیاه اعم از یک سلول انفرادی، بافت و یا اندام در شرایط آزمایشگاهی و کاملاً استریل روی محیط غذایی گفته می‌شود. تولیدمثل غیرجنسی به روش کشت بافت را ریزازدیادی (Micro-propagation) یا تکثیر کلنی می‌گویند. ریزازدیادی به دلیل تولید نهال‌های یکنواخت در مدت زمان‌های نسبتاً کوتاه و در فضای تقریباً اندک اهمیت اقتصادی فراوانی پیدا کرده است (Darang *et al*., 2011). ریزازدیادی از زمان تهیه قطعه ریزنمونه اولیه تا زمان به دست آوردن گیاه جدید، شامل تعدادی یا همه مراحل زیر می‌باشد: ۱- انتخاب مواد گیاهی مناسب، ۲- رفع آلودگی، ۳- استقرار، ۴- شاخه‌زایی، ۵- ریشه‌زایی و ۶- سازگاری گیاهچه‌های به‌دست‌آمده با شرایط طبیعی (Ebrahimi *et al*., 2011).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد، زیرا بر تمام فعالیت‌های گیاه اثر دارد (Zarei *et al*., 2016). شاخص‌های رشد مانند ارتفاع و قطر ساقه، سطح برگ، وزن کل اندام‌های هوایی و ریشه، رشد ریشه و تراکم ریشه در واحد حجم خاک تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند (Thomas & Gausling, 2000).

علاوه بر سیستم‌های حفاظتی ذاتی گیاهان در مقابل تنش‌های محیطی، تعدادی از میکروارگانیسم‌های خاکزاد قادر به کاهش آثار تنش می‌باشند. از جمله این میکروارگانیسم‌ها، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (Arbuscular Mycorrhiza Fungi) می‌باشند که با ریشه بیش از ۸۰ درصد گیاهان رابطه همزیستی برقرار می‌کنند (Miyasaka *et al*., 2003). این گروه قارچی به علت کمک به گیاه در شرایط تنشی مختلف، از اهمیت اکولوژیکی و اقتصادی فراوانی برخوردار هستند و به عنوان یک کود بیولوژیک مهم در سیستم خاک-گیاه محسوب می‌گردند. "میکوریز" همزیستی می‌باشد که اغلب به نفع میزبان خود در فراهم نمودن آب و افزایش تحمل آنها به کمبود آب عمل می‌کند (Auge, 2001) و قادر است که اثر نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل نماید. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادر به کاهش غلظت اسید آبسیزیک و افزایش هورمون‌هایی مثل سیتوکینین، اکسین و جیبرلین هستند که در تحریک رشد گیاه نقش مهمی دارند (Awotoye *et al*., 2009). همچنین از طریق کاهش تنش‌های زیستی (بیماری‌های گیاهی) و غیرزیستی (خشکی، شوری، فلزهای سنگین و غیره) (Raiesi & Ghollarata, 2006)، بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی به‌خصوص عناصر کم‌تحرک مثل فسفر، استقرار بهتر گیاه (Calvet *et al*., 2004)، افزایش هدایت

آبی در ریشه و در نتیجه افزایش سرعت تبخیر و تعرق (Qiang and Reng, 2005)، کاهش آفات و بیماری‌ها و افزایش بازده مصرف آب منجر به افزایش عملکرد و رشد گیاهان میزبان می‌گردند.

علی‌رغم مزایای روش ریزازدیادی، چالش‌هایی هم مثل مقاوم‌سازی نمونه‌ها به شرایط محیطی وجود دارد که استفاده گسترده این روش را محدود می‌کند. در گیاهان حاصل از ریزازدیای معمولاً مرحله سازگاری نیاز به مدیریت خاص دارد. اغلب در این مرحله شوک ناشی از انتقال منجر به توقف رشد شده و در نتیجه باعث کاهش کارایی و راندمان نهایی محصول می‌شود. برگ‌های گیاهان کشت بافتی ضعیف بوده و فاقد کوتیکول می‌باشند که این موضوع موجب از دست دادن آب از طریق تعرق زیاد و خنک شدن آنها در شرایط محیطی بیرون می‌شود. همچنین سیستم ریشه‌ای کارآمد در این گیاهان تشکیل نمی‌شود (Hazarika, 2003). همزیستی گیاهچه‌های حاصل از کشت بافت با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار تأثیر به‌سزایی بر استقرار و بقای آنها پس از انتقال به منطقه هدف، داشته است (Mohammadi *et al*., 2016).

در آزمایشی که Mohammadi *et al*. (2016) جهت بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریز و نوع بسترهای کشت بر رشد و استقرار پایه سیب ریزازدیادی شده MM106 انجام دادند به این نتیجه رسیدند گیاهان MM106 به خوبی می‌توانند با قارچ‌های میکوریز و به‌خصوص گونه *Rhizophagus intraradices* رابطه همزیستی برقرار کرده و از رشد و استقرار بیشتری برخوردار شوند. همچنین گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان شاهد از ارتفاع، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک ریشه و عناصر P، Zn و Fe بالاتری برخوردار بودند. در بررسی انجام شده در گیاهچه‌های ریزازدیاد شده انار، تأثیر عمده قارچ میکوریز در افزایش ارتفاع گیاه و طول ریشه در گیاهچه‌های مایه‌زنی شده گزارش گردید (Singh *et al*., 2012). Schultz (2001) گزارش نمود تأثیر قارچ‌های میکوریز بر نهال‌های نخل روغنی حاصل از کشت بافت نشان داد وزن تر و خشک ریشه در تیمار میکوریزایی بالاتر بود و تفاوت معنی‌داری با گیاهان غیرمیکوریزایی داشت. در نتایج حاصل از بررسی تأثیر همزیستی میکوریز آربوسکولار بر برخی شاخص‌های رشدی دو پایه بادام (GF677 و شوراب ۲) در شرایط تنش خشکی نشان داد پایه‌های میکوریزایی در مقایسه با پایه‌های غیرمیکوریزایی کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند (Bahraminezhad *et al*., 2015).

بنابراین هدف از انجام این پژوهش مطالعه کارایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بومی ایران بر بقا، رشد و افزایش تحمل به تنش خشکی در گلابی پایه کشت بافتی پیردووارف در مقایسه با پایه‌های فاقد همزیستی میکوریزی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل قارچ میکوریز آربوسکولار در دو سطح (دارای میکوریز و بدون میکوریز) و تنش خشکی در سه سطح (دور آبیاری سه، پنج و هفت روز یک بار) در سه تکرار انجام گردید.

تهیه پایه‌های کشت بافتی گلابی و زادمایه میکوریزی

گیاهچه‌های گلابی پایه پیرودوارف حاصل از ریزازدیادی از آزمایشگاه کشت بافت گروه بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان تهیه شدند. مایه تلقیح میکوریزی مورد استفاده در این پژوهش ترکیبی از گونه‌های *Funneliformis mosseae*، *F. caledonius*، *Rhizophagus intraradices* و *R. iranicus* بود که از کلکسیون قارچ‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان تهیه گردید. هر گرم از مایه تلقیح حاوی حداقل ۱۰۰ واحد آلوده‌کننده قارچ‌های میکوریز آربوسکولار شامل (اسپور، ریسه، ریشه کلونیزه‌شده) بود.

کاشت پایه‌های گلابی و تلقیح میکوریز

به‌منظور مقاوم‌سازی پایه‌های گلابی، ابتدا گیاهچه‌های ۵۰ روزه رشد کرده در محیط کشت MS،

(Murashige & Skoog, 1962) به گلدان‌های با قطر هفت سانتی‌متر حاوی پیت ماس و پرلایت به نسبت ۱:۲، منتقل شدند. روی هر گلدان، لیوان یک بار مصرف به صورت وارونه قرار گرفت تا گیاهچه‌های ضعیف درون آنها از رطوبت کافی (همانند شرایط کشت درون‌شیشه) بهره‌مند شوند. یک هفته پس از کاشت گیاهچه‌ها، منافذی در لیوان‌ها ایجاد شدند تا گیاهچه‌ها در معرض هوای آزاد با رطوبت موجود در فیتوترون (اتاق کشت) قرار گیرند. در این مدت گیاهچه‌ها با محلول غذایی هوگلند یک چهارم فسفر تغذیه شدند. پس از یک ماه، گیاهچه‌های مقاوم و سازگار شده به گلدان‌های یک کیلویی ضدعفونی شده با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد، حاوی خاک، ماسه، پرلایت و پیت‌ماس (۱: ۱: ۰/۵: ۱) منتقل شدند. از خاک و ماسه اتوکلاو شده جهت بستر کشت استفاده گردید. سپس ۱۵ گرم مایه تلقیح میکوریزی (دارای بیش از ۱۰۰ پروپاگول در هر گرم) به زیر ریشه‌های هر گلدان اضافه شد (An *et al*., 1990). گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای با دمای ۳۵-۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. در طول این مدت، گلدان‌ها یک روز در میان با ۲۰۰ میلی‌لیتر آب، آبیاری شده و دو هفته یک بار با محلول غذایی هوگلند (یک چهارم فسفر) با اسیدیته حدود هفت تغذیه شدند (در زمان استفاده از محلول غذایی، آبیاری صورت نمی‌گرفت) (Hogland & Arnon, 1950). سه ماه پس از مایه‌زنی، ریشه‌ها با روش فیلیپس و هیمن رنگ‌آمیزی شد (Phillips & Hayman, 1970) و درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها براساس روش جیووانتی و موسه محاسبه گردید (Giovannetti & Mosse, 1980). در نهایت گیاهچه‌ها به گلدان‌های چهار کیلویی پر شده با بستر (خاک، ماسه، پرلایت و پیت‌ماس به نسبت ۱: ۱: ۰/۵: ۱) منتقل شدند.

تنش خشکی

هفتاد و پنج روز پس از انتقال گیاهچه‌های گلابی و اطمینان از استقرار و سازگاری و همچنین کلونیزاسیون مناسب ریشه‌ها، تنش خشکی در سه سطح (سطح آبیاری مطلوب یا D0 (سه روز یکبار)، تنش خشکی ملایم یا D1 (پنج روز یکبار) و تنش خشکی شدید یا D2 (هفت روز یکبار)) اعمال شد. دو ماه پس از اعمال تنش خشکی، داده‌برداری گلخانه‌ای صورت گرفت. سپس گیاهان برداشت شده و شاخص‌های مورد نیاز اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های رویشی

پس از اتمام دوره تنش خشکی، شاخص‌های رویشی شامل تعداد برگ، ارتفاع ساقه و طول ریشه اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری ارتفاع شاخساره و طول ریشه از خط کش مدرج با دقت یک دهم سانتی‌متر و قطر ساقه از کولیس دیجیتال با دقت یک صدم سانتی‌متر استفاده شد. جهت اندازه‌گیری سطح کل برگ، تمام برگ‌ها از گیاهچه جدا شده و از دستگاه سنجش سطح برگ (مدل CI-202, USA) استفاده شد و در نهایت براساس سانتی‌مترمربع محاسبه گردید. به‌منظور اندازه‌گیری حجم ریشه، ابتدا ۳۰۰ میلی‌لیتر آب در یک استوانه مدرج ریخته و سپس ریشه را داخل آن قرار داده و بر اساس تفاوت حجم ایجادشده، حجم ریشه بر حسب سانتی‌متر مکعب محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری وزن تر اندام هوایی و ریشه، ابتدا گیاه از ناحیه طوقه جدا شده و به دو قسمت ساقه همراه با برگ و ریشه تقسیم و بعد از شست‌وشو و خشک کردن ریشه، وزن هر کدام به‌طور جداگانه محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه، برگ‌ها به همراه دمبرگ، ساقه‌ها و ریشه‌ها را به‌صورت جداگانه در پاکت کاغذی گذاشته و به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفتند و بعد از گذشت زمان مورد نظر، وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. بعد از جدا کردن ریشه از ساقه و شست و شوی ریشه، به اندازه یک گرم ریشه تر جهت رنگ‌آمیزی ریشه شد (Phillips & Hayman, 1970) و تعیین درصد کلونیزاسیون گردید (Giovannetti & Mosse, 1980) جمع‌آوری شد.

اندازه‌گیری مقادیر عناصر غذایی در اندام‌های هوایی و ریشه

در مطالعه حاضر، عناصر غذایی فسفر، پتاسیم، آهن،

روی، مس و منگنز در اندام هوایی و ریشه دانهال گلابی در نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری شدند. عصاره‌گیری از اندام‌های خشک دانهال گلابی با استفاده از اسید کلریدریک دو نرمال انجام شد (Chapman *et al*., 1983). عصاره به‌دست‌آمده به‌طور مستقیم جهت اندازه‌گیری عنصر پتاسیم به‌روش نورسنجی شعله با دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل PFP7, Germany) مورد استفاده قرار گرفت (در صورت نیاز به رقیق‌سازی، رقیق شدند) (Emami, 1996). عناصر آهن، روی، مس و منگنز با استفاده از روش خاکستر خشک و با دستگاه جذب اتمیک (مدل GBC-Avanta-PM, Australia) اندازه‌گیری شدند (Lindesy & Norvel, 1978). اندازه‌گیری فسفر به روش آمونیوم مولیبدات و آمونیوم وانادات (زرد) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd) در طول موج ۴۷۰ نانومتر انجام گردید (Olsen *et al*., 1954).

طرح آزمایشی

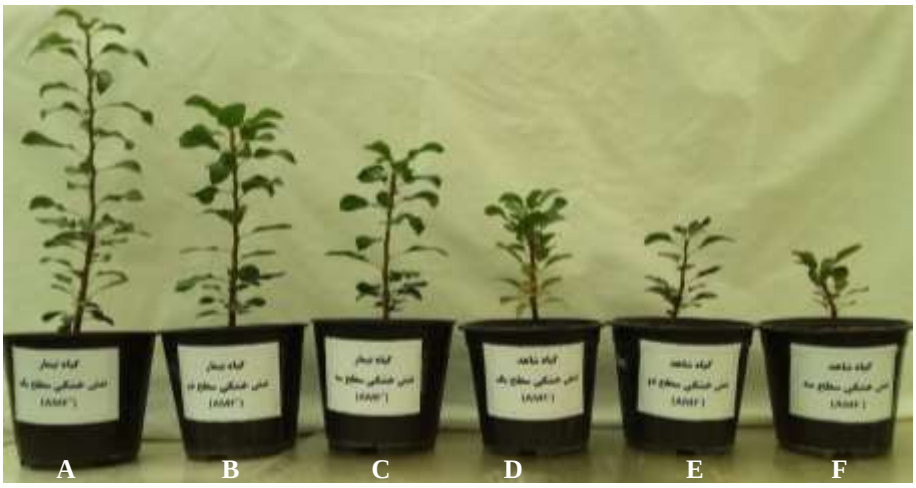
این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار (در هر گلدان یک گیاه و سه تکرار برای هر تیمار، مجموع ۱۸ گیاه) انجام گردید.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver.9.1 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد محاسبه گردید. ترسیم نمودارها و جدول‌ها نیز توسط نرم‌افزارهای Excel 2013 و Word انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری شاخص‌های رشد نشان داد پایه‌های ریزازدیادی پیرودوارف مایه‌زنی شده با میکوریز تحت تنش خشکی از لحاظ زنده‌مانی، استقرار و سازگاری و همچنین مؤلفه‌های رویشی نسبت به تیمارهای غیرمیکوریزایی، به‌طور مؤثری بهبود یافته و از رشد و نمو بیشتری برخوردار بودند (شکل ۱).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد صفات رشدی اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش از جمله تعداد کل برگ، قطر ساقه، سطح کل برگ، طول ریشه و حجم ریشه پایه‌های حاصل از ریزازدیادی پیرودوارف، تحت تأثیر برهم‌کنش میکوریز و تنش خشکی قرار گرفتند. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بر صفات قطر ساقه و طول ریشه و همچنین در سطح پنج درصد بر صفات تعداد کل برگ، سطح کل برگ و حجم ریشه وجود داشت (جدول ۱).



شکل ۱. مقایسه تیمارهای میکوریزایی و غیرمیکوریزایی در نهال‌های ریزازدیاد شده گلابی پایه پیرودوارف. A، B و C: گیاهان تیمار شده با میکوریز به‌ترتیب با آبیاری مطلوب، تنش ملایم و شدید. D، C و E: گیاهان شاهد بدون میکوریز به‌ترتیب با آبیاری مطلوب، تنش ملایم و شدید.

Figure 1. The comparison of mycorrhizal and non-mycorrhizal treatments in micro-propagated pear rootstock. A, B, C: mycorrhizal plant with optimum, moderate and severe drought stress, respectively. D, E, F: non-mycorrhizal plant with optimum, moderate and severe drought stress, respectively.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های رویشی گیاهان ریزازدیادی گلابی پایه پیرودوارف تحت تأثیر همزیستی میکوریزی و تنش خشکی

Table 1. The results of variance analysis of some vegetative indices in micro-propagated pears (Pyrodwarf) rootstock under the effect of mycorrhizal symbiosis and drought stress

Source of variation	df	Mean Squares					
		Total leaf number	Stem diameter	Total leaf area	Root length	Root volume	Stem height
Mycorrhizae	1	614.88***	43.55***	492069.89***	276.12***	21.45***	1397.61***
Drought stress	2	135.91**	2.44**	18805.65*	214.93***	3.26***	140.66**
Mycorrhizae × Drought stress	2	63.63*	1.59**	12075.96*	63.29**	0.83*	72.55ns
Error	12	15.98	0.19	2722.26	8.37	0.20	19.27
Coefficient of Variation (%)	-	14.18	6.99	20.37	8.19	20.17	19.59

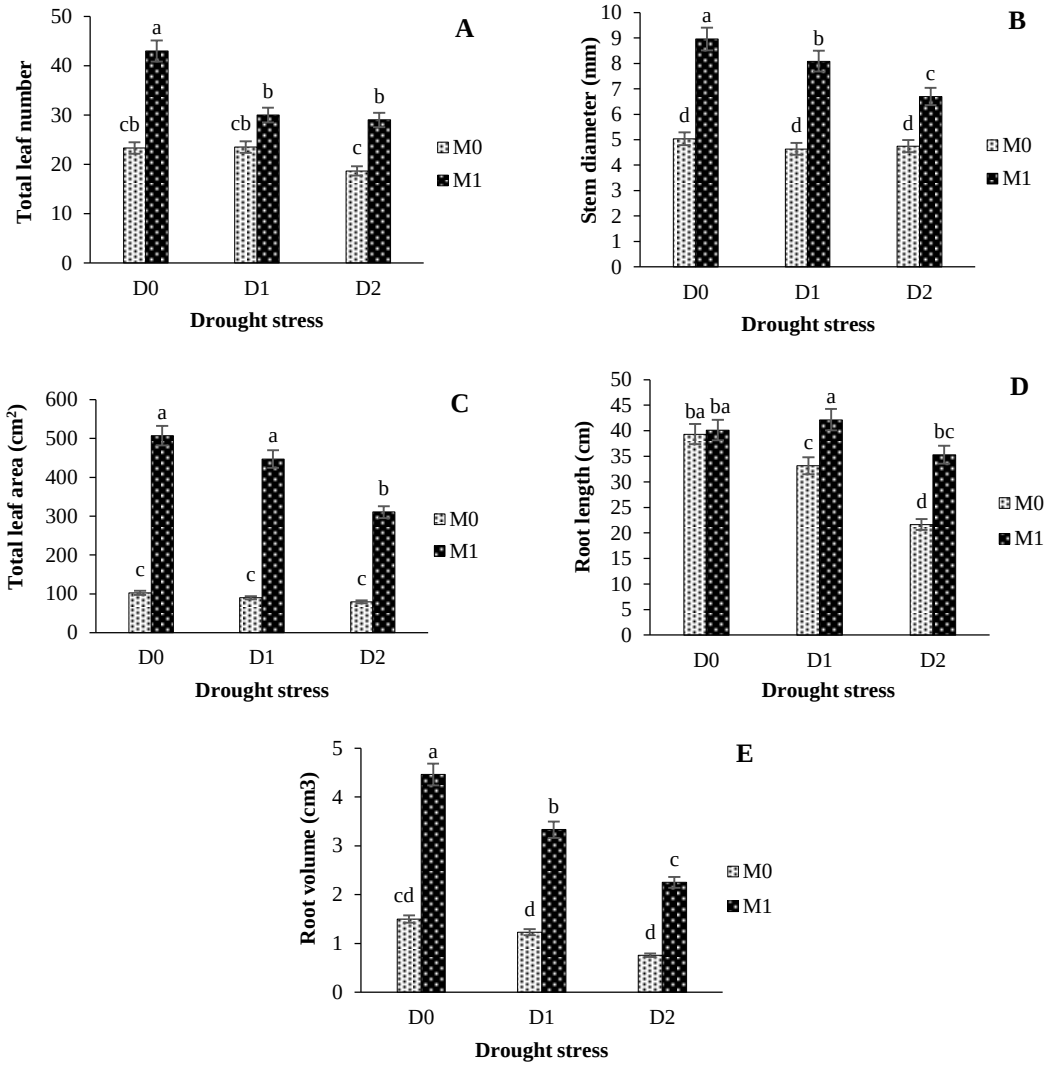
*، **، *** و ns: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ***, ns: Significantly differences at 5%, 1% and 0.1% of probability level, and non-significantly difference, respectively.

با توجه به مقایسه میانگین تأثیر میکوریز و تنش خشکی بر تعداد کل برگ (شکل A-۲)، همزیستی میکوریزایی در همه سطوح آبیاری باعث افزایش تعداد کل برگ شد. به‌طوری که در سطوح D0، D1 و D2 تعداد کل برگ در نهال‌های میکوریزایی نسبت به نهال‌های بدون میکوریز به‌ترتیب ۸۴/۳، ۲۷/۶ و ۵۵/۳ درصد افزایش نشان دادند. قطر ساقه نیز در تمام سطوح آبیاری در تیمارهای میکوریزایی روند صعودی داشت و با افزایش سطح تنش خشکی این افزایش روند نزولی داشت. بالاترین میزان قطر ساقه مربوط به تیمار میکوریزی (۸/۹۶ میلی‌متر) بود که در مقایسه با شاهد ۷۷/۷ درصد بالاتر بود و پایین‌ترین میزان قطر ساقه را تیمار شاهد (۴/۶۴ میلی‌متر) در سطح تنش خشکی ملایم داشت که در مقایسه با تیمار میکوریز در همین سطح ۷۴/۳ درصد کمتر بود (شکل B-۲). با توجه به مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش میکوریز و تنش خشکی بر سطح کل برگ (شکل C-۲)، با افزایش سطح تنش خشکی سطح کل برگ کاهش یافت. این در حالی بود که تیمارهای میکوریزی در همه سطوح آبیاری دارای بیشترین سطح کل برگ در مقایسه با تیمارهای بدون میکوریزی بودند و در سطوح D0، D1 و D2 سطح کل برگ در نهال‌های میکوریزایی نسبت به نهال‌های بدون میکوریز به‌ترتیب ۳۹۳/۷، ۳۹۶/۴ و ۲۸۹/۹ درصد افزایش نشان دادند.

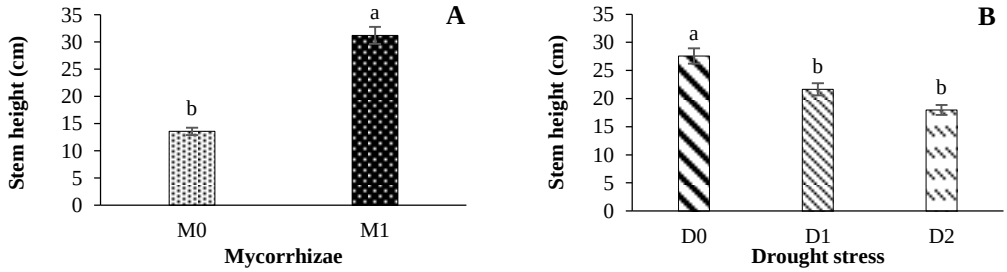
بیشترین طول ریشه در تیمار میکوریز تحت تنش خشکی ملایم مشاهده شد که در صورت قرار گرفتن در معرض خشکی شدید روند نزولی پیدا کرد. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، طول ریشه نهال‌های میکوریزایی در سطوح D0، D1 و D2 نسبت به نهال‌های غیرمیکوریزایی به‌ترتیب ۲/۱، ۲۷/۱ و ۶۳/۱ درصد بیشتر بودند (شکل D-۲). بنابراین همزیستی میکوریزایی موجب افزایش این صفت گردید. نتایج مقایسه میانگین ها (شکل E-۲) نشان داد همزیستی میکوریزایی در تمام سطوح خشکی باعث افزایش حجم ریشه شد، البته با افزایش شدت تنش خشکی از تأثیر میکوریز کاسته شد. به‌طور کلی کاربرد میکوریز سبب شد تا در سطوح D0، D1 و D2 حجم ریشه در نهال‌های میکوریزایی نسبت به نهال‌های بدون میکوریز به‌ترتیب ۱۹۷/۳، ۱۷۰/۷ و ۱۹۶ درصد افزایش یابد. بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر جداگانه میکوریز و تنش خشکی بر ارتفاع ساقه معنی‌دار شد (جدول ۱) و ارتفاع نهال‌های میکوریزایی در مقایسه با نهال‌های فاقد میکوریز ۱۲۹/۷ درصد بیشتر بودند (شکل A, B-۳).

طبق نتایج به‌دست‌آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر متقابل قارچ میکوریز آربوسکولار و تنش خشکی بر صفات رویشی از قبیل وزن تر و خشک کل برگ، وزن تر و خشک ساقه و وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار شد. به‌طور کلی، با توجه به مقایسه میانگین ها (شکل A-۴)، همزیستی میکوریزایی در تمام سطوح آبیاری موجب شد وزن تر کل برگ روند صعودی داشته باشد، به‌طوری‌که در سطوح D0، D1 و D2 وزن تر کل برگ در نهال‌های میکوریزایی نسبت به نهال‌های بدون میکوریز به‌ترتیب ۲۹۱/۲، ۲۹۰/۱ و ۳۹۶/۷ درصد افزایش یافتند.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و تنش خشکی بر تعداد برگ کل (A)، قطر ساقه (B)، سطح برگ کل (C)، طول ریشه (D) و حجم ریشه (E) گیاهان ریزازدیاد شده گلابی. M0: بدون میکوریز (شاهد) و M1: با میکوریز. D0: سطح مطلوب آبیاری، D1: تنش خشکی ملایم و D2: تنش خشکی‌شدید.

Figure 2. Mean comparison interaction effect of mycorrhizal and drought stress on total leaf number (A), stem diameter (B), total leaf area (C), root length (D) and root volume (E) of micro-propagated pear rootstock. . M0: Non-mycorrhizal (control) and M1: Mycorrhizal. D0: Optimal level of irrigation, D1: Moderate drought stress and D2: Severe drought stress.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر میکوریز (A) و تنش خشکی (B) بر ارتفاع ساقه گیاهان ریزازدیاد شده گلابی. M0: بدون میکوریز (شاهد) و M1: با میکوریز. D0: سطح مطلوب آبیاری، D1: تنش خشکی ملایم و D2: تنش خشکی‌شدید.

Fig 3. Mean comparison effect of mycorrhizal symbiosis (A) and drought stress (B) on stem height of micro-propagated pear rootstock. M0: Non-mycorrhizal (control) and M1: Mycorrhizal. D0: Optimal level of irrigation, D1: Moderate drought stress and D2: Severe drought stress.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برخی شاخص‌های رویشی گیاهان ریزازدیادی گلابی پایه پیرودوارف تحت تأثیر همزیستی میکوریزی و تنش خشکی

Table 2. The results of variance analysis of some vegetative indices in micro-propagated pears (Pyrodwarf) rootstock of the impact of mycorrhizal symbiosis and drought stress

Source of variation	df	Mean Squares					
		Total leaf fresh weight	Stem fresh weight	Root fresh weight	Total leaf dry weight	Stem dry weight	Root dry weight
Mycorrhizae	1	232.95***	691.17***	940.62***	29.08***	129.22***	42.93***
Drought stress	2	14.25***	63.17***	75.26**	2.09***	15.48***	5.07***
Mycorrhizae × Drought stress	2	3.73*	30.47*	29.91*	0.88***	5.60*	1.80**
Error	12	0.66	4.86	7.54	0.06	0.90	0.24
Coefficient of Variation (%)	-	13.89	20.67	19.98	11.09	20.07	15.58

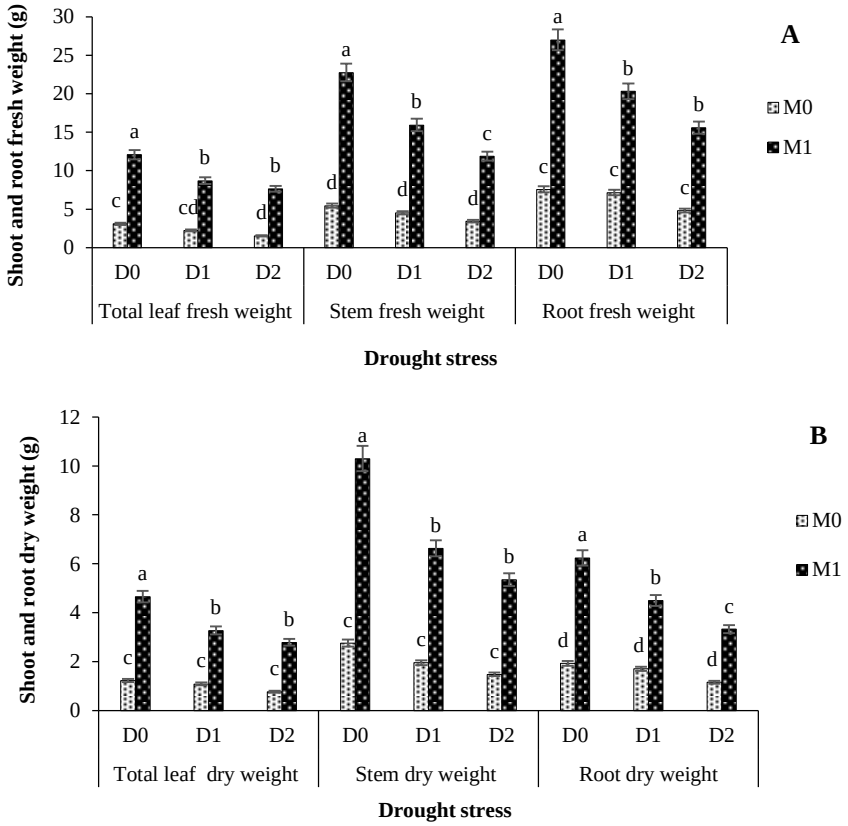
*، **، *** و ns: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ***, ns: Significantly differences at 5%, 1% and 0.1% of probability level, and non-significantly difference, respectively.

کاربرد میکوریز به‌طور چشم‌گیری میزان وزن تر ساقه را نسبت به شاهد (بدون میکوریز) افزایش داد، به‌طوری که بیشترین وزن تر ساقه مربوط به تیمار میکوریز (۲۲/۷۶ گرم) با سطح آبیاری مطلوب بود که در مقایسه با شاهد (بدون میکوریز) ۳۱۷/۶ درصد افزایش نشان داد و تیمار میکوریز در سطح تنش خشکی شدید ۱۱/۸۸ گرم بود که نسبت به تیمار شاهد (بدون میکوریز) ۲۴۶/۳ درصد بیشتر بوده است. بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، همزیستی میکوریزایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش میزان وزن تر ریشه نسبت به شاهد (بدون میکوریز) در همه سطوح آبیاری گردید، بدین صورت که در سطوح D0، D1 و D2 وزن تر ریشه در نهال‌های میکوریزایی نسبت به نهال‌های بدون میکوریز به‌ترتیب ۲۵۶/۲، ۱۸۳/۷ و ۲۲۳/۶ درصد بیشتر بودند. همچنین استفاده از میکوریز میزان وزن خشک برگ کل را نسبت به شاهد (بدون میکوریز) در تمام سطوح آبیاری افزایش داد، و در سطوح D0، D1 و D2 وزن خشک برگ کل در نهال‌های دارای میکوریز در مقایسه با نهال‌های بدون میکوریز به‌ترتیب ۲۷۸/۸، ۲۰۰ و ۲۶۲/۳ درصد افزایش نشان دادند. کاربرد میکوریز در همه سطوح آبیاری، افزایش وزن خشک ساقه را به دنبال داشت. بر همین اساس، در سطوح D0، D1 و D2 وزن خشک ساقه در نهال‌های میکوریزایی نسبت به نهال‌های غیرمیکوریزایی به‌ترتیب ۲۷۳/۱، ۲۳۸/۲ و ۲۶۱/۴ درصد افزایش پیدا کردند. الگوی اثر تیمارها بر وزن خشک ریشه تقریباً مشابه با وزن خشک اندام هوایی بود. به این صورت که میکوریز باعث افزایش مقدار این صفت در تیمارهای میکوریزایی شد. با افزایش سطح تنش خشکی مقدار وزن خشک ریشه روند نزولی را طی نمود و بالاترین مقدار وزن خشک ریشه (۶/۲۴ گرم) مربوط به تیمار میکوریز در سطح آبیاری مطلوب بود که نسبت به شاهد (فاقد میکوریز) ۲۲۳/۳ درصد روند صعودی داشته است. مقدار وزن خشک ریشه تیمار میکوریز در سطح تنش خشکی شدید ۳/۳۳ گرم بود که در مقایسه با شاهد (بدون میکوریز) ۱۸۷ درصد افزایش داشت (شکل B-۴).

میزان جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در اندام هوایی و ریشه نهال‌های ریزازدیادی گلابی پایه پیرودوارف، مایه‌کوبی شده با میکوریز بیشتر از میزان آنها در تیمارهای شاهد (غیر میکوریز) بود. برخی از عناصر با افزایش تنش خشکی افزایش و برخی نیز با افزایش تنش خشکی روند نزولی داشتند.

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر میکوریز بر میزان فسفر اندام‌های هوایی و ریشه نهال‌های حاصل از ریزازدیادی گلابی از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). براساس مقایسه میانگین ها، همزیستی میکوریزایی باعث افزایش این عنصر در نهال‌های میکوریزی در تمام سطوح تنش خشکی شد. میزان فسفر در اندام‌های هوایی نهال‌های میکوریزایی نسبت به نهال‌های بدون میکوریز ۱۶۲/۸ درصد و در ریشه ۷۶ درصد بیشتر بود، به‌طور کلی میزان این عنصر در اندام‌های هوایی نهال‌های میکوریزایی در سطوح D0، D1 و D2 به‌ترتیب ۱۵۷/۶، ۹۶ و ۲۸۷/۵ درصد و در ریشه به‌ترتیب ۶۲/۲، ۴۳/۸ و ۱۵۵/۷ درصد نسبت به نهال‌های فاقد میکوریز افزایش داشت (شکل A -۵).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریز و تنش خشکی بر وزن تر برگ کل، ساقه و ریشه (A) و وزن خشک برگ کل، ساقه و ریشه (B) گیاهان ریزازدیاد شده گلابی. M0: بدون میکوریز (شاهد) و M1: با میکوریز. D0: سطح مطلوب آبیاری، D1: تنش خشکی ملایم و D2: تنش خشکی شدید.

Figure 4. Mean comparison interaction effect of mycorrhizal and drought stress on total leaf fresh weight, stem and root (A) and total leaf dry weight, stem and root (B) of micro-propagated pear rootstock. M0: Non-mycorrhizal (control) and M1: Mycorrhizal. D0: Optimal level of irrigation, D1: Moderate drought stress and D2: Severe drought stress.

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، میزان پتاسیم اندام‌های هوایی و ریشه تحت تأثیر تیمار میکوریز قرار گرفت و از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر برهم‌کنش میکوریز و تنش خشکی بر میزان بور اندام‌های هوایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. به‌طور کلی، همزیستی میکوریزایی باعث افزایش میزان پتاسیم اندام هوایی و ریشه به‌ترتیب ۲۷/۴ و ۱۳۸ درصد نسبت به تیمارهای غیرمیکوریزایی شده است (شکل B-۵). بیشترین میزان پتاسیم در اندام هوایی در تیمار میکوریز سطح مطلوب آبیاری مشاهده گردید. با افزایش سطح تنش خشکی، میزان پتاسیم اندام هوایی گیاهان ریزازدیاد شده گلابی روند نزولی پیدا کرد (شکل C-۵).

نتایج جدول تجزیه واریانس عناصر کم مصرف نشان داد میزان عناصر منگنز، مس و روی اندام‌های هوایی نهال‌های ریزازدیادی گلابی تحت تأثیر تیمار میکوریز قرار گرفتند و از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴)، اما تأثیر میکوریز روی میزان عنصر آهن معنی‌دار نبود. تنش خشکی بر هیچ یک از عناصر کم مصرف اندام‌های هوایی تأثیر معنی‌داری نداشت. با توجه به مقایسه میانگین‌ها، کاربرد میکوریز منجر به افزایش میزان عناصر منگنز، مس و روی در همه سطوح آبیاری گردید، هر چند که بین تیمارهای میکوریز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). در مجموع میزان عناصر منگنز، مس و روی اندام‌های هوایی در تیمارهای دارای میکوریز به‌ترتیب ۶۵/۲، ۱۲۱/۲ و ۶۵/۸ درصد بیشتر از تیمارهای فاقد میکوریز بود.

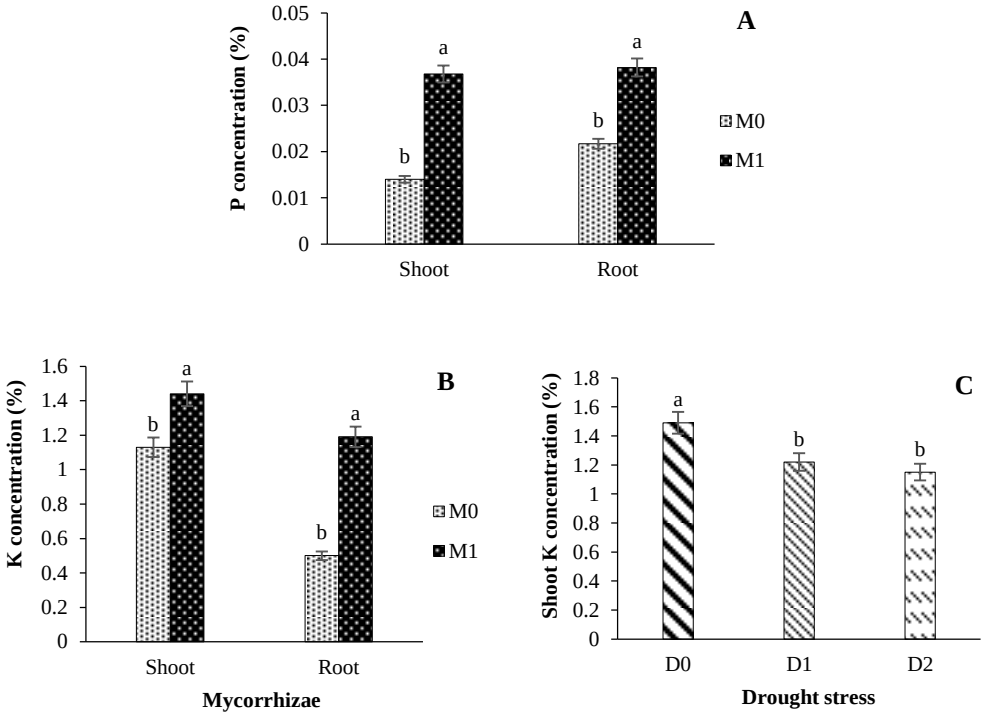
جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس عناصر پرمصرف گیاهان ریزازدیادی گلابی پایه پیرودوارف تحت تأثیر همزیستی میکوریزی و تنش خشکی

Table 3. The results of variance analysis of macro elements in micro-propagated pears (Pyrodwarf) rootstock of the impact of mycorrhizal symbiosis and drought stress

Source of variation	df	Mean Squares			
		Shoot P	Root P	Shoot K	Root K
Mycorrhizae	1	0.0023***	0.0012***	0.42**	2.17***
Drought stress	2	0.000005^{ns}	0.00005^{ns}	0.19*	0.19^{ns}
Mycorrhizae × Drought stress	2	0.00006^{ns}	0.00005^{ns}	0.05^{ns}	0.09^{ns}
Error	12	0.00002	0.00002	0.03	0.07
Coefficient of Variation (%)	-	19.83	17.13	15.43	31.26

*، **، *** و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ***, ns: Significantly differences at 5%, 1% and 0.1% of probability level, and non-significantly difference, respectively.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر میکوریز بر میزان فسفر (A) و پتاسیم اندام هوایی و ریشه (B). مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر میزان پتاسیم اندام هوایی (C) گیاهان ریزازدیاد شده گلابی. M0: بدون میکوریز (شاهد) و M1: با میکوریز. D0: سطح مطلوب آبیاری، D1: تنش خشکی ملایم و D2: تنش خشکی شدید.

Figure 5. Mean comparison effect of mycorrhizal on P (A) and K shoot and root (B). Mean comparison effect of drought stress on the content of shoot K (C) of the micro-propagated pear rootstock. M0: Non-mycorrhizal (control) and M1: Mycorrhizal. D0: Optimal level of irrigation, D1: Moderate drought stress and D2: Severe drought stress.

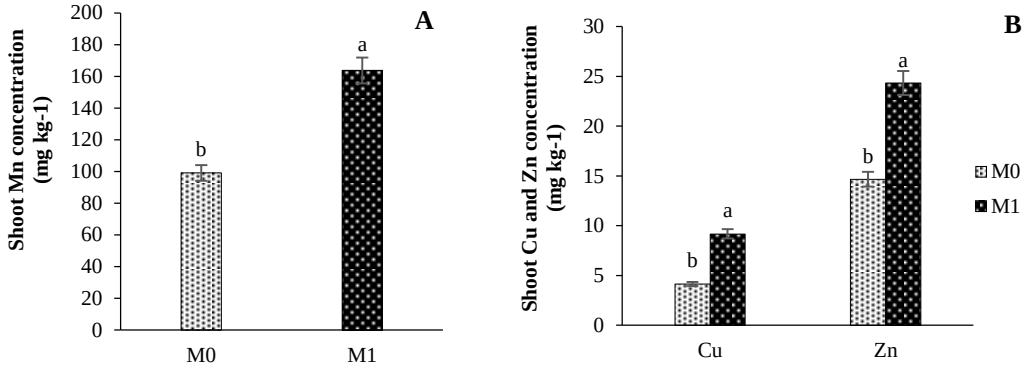
جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس عناصر کم‌مصرف اندام هوایی گیاهان ریزازدیادی گلابی پایه پیرودوارف تحت تأثیر همزیستی میکوریزی و تنش خشکی

Table 4. The results of variance analysis of micro elements in micro-propagated pears (Pyrodwarf) rootstock of the impact of mycorrhizal symbiosis and drought stress

Source of variation	df	Mean Squares			
		Shoot Fe	Shoot Mn	Shoot Cu	Shoot Zn
Mycorrhizae	1	15.30^{ns}	18824.46***	114.005***	419.53***
Drought stress	2	244.89^{ns}	93.62^{ns}	4.02^{ns}	8.60^{ns}
Mycorrhizae × Drought stress	2	112.52^{ns}	253.30^{ns}	3.18^{ns}	1.30^{ns}
Error	12	222.99	299.96	2.37	11.66
Coefficient of Variation (%)	-	21.03	13.17	23.08	17.50

*، **، *** و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ***, ns: Significantly differences at 5%, 1% and 0.1% of probability level, and non-significantly difference, respectively.



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر همزیستی میکوریز بر میزان منگنز (A) و مس و روی اندام هوایی (B) گیاهان ریزازدیاد شده گلابی. M0: بدون میکوریز (شاهد) و M1: با میکوریز. D0: سطح مطلوب آبیاری، D1: تنش خشکی ملایم و D2: تنش خشکی شدید.

Figure 6. Mean comparison effect of mycorrhizal symbiosis on the content Mn (A) and the content of shoot Cu and Zn (B) of the micro-propagated pear rootstock. M0: Non-mycorrhizal (control) and M1: Mycorrhizal. D0: Optimal level of irrigation, D1: Moderate drought stress and D2: Severe drought stress.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵)، تأثیر تیمار میکوریز بر میزان عناصر آهن، مس و روی ریشه نهال‌های حاصل از ریزازدیادی گلابی در سطح آماری یک درصد و بر عنصر منگنز ریشه در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار گردید. با این توضیح که تأثیر میکوریز بر عنصر آهن ریشه بیشتر از عناصر دیگر بود. تنش خشکی بر آهن و منگنز در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشت. بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، همزیستی میکوریزی در سطوح مختلف تنش خشکی موجب افزایش میزان عناصر آهن، منگنز، مس و روی ریشه در تیمارهای دارای میکوریز به‌ترتیب ۱۹۰/۱، ۵۲، ۱۴۰/۴ و ۲۶/۸ درصد در مقایسه با تیمارهای فاقد میکوریز شد (شکل A, B-۷). با افزایش سطح تنش خشکی، میزان عناصر آهن و منگنز در تیمارهای میکوریزی و غیرمیکوریزی روند نزولی داشتند (شکل C-۷).

در این پژوهش مشخص شد که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر تمام شاخص‌های رویشی نهال‌های میکوریزی حاصل از ریزازدیادی گلابی پایه پیرودوارف، از قبیل تعداد کل برگ، ارتفاع ساقه، قطر ساقه، سطح کل برگ، وزن تر اندام‌های هوایی و ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه، حجم ریشه و طول ریشه تحت تنش خشکی مؤثر بوده و آنها را نسبت به شاهد (بدون میکوریز) افزایش داد. همچنین با افزایش تنش خشکی تمامی شاخص‌های رشد نهال‌های ریزازدیادی گلابی پایه پیرودوارف به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند.

دلایل زیادی برای افزایش رشد گیاه توسط میکوریز آربوسکولار وجود دارد. بهبود رشد در گیاهان همزیست با میکوریز آربوسکولار را می‌توان به کلونیزاسیون و افزایش سطح جذب ریشه نسبت داد، در واقع ریسه‌های قارچی به‌عنوان ریشه‌های ثانویه عمل می‌کنند و به علت قطر کم (۵-۲ میکرون)، می‌توانند وارد منافذ و روزنه‌های بسیار ریز خاک شوند که حتی تارهای کشنده قادر به نفوذ به آنجا نیستند و از دسترس ریشه گیاه میزبان خارج هستند (Irigoyen *et al*., 1992) و از این راه جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه میزبان افزایش می‌یابد که منجر به افزایش عملکرد و رشد گیاه می‌گردد (Marschner & Dell, 1994). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همچنین از راه تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و تأثیر آنها بر رشد ریشه می‌توانند جذب آب و عناصر غذایی را بهبود بخشند و در نتیجه روی لایه زاینده (کامبیوم) آوندساز تأثیر گذاشته و سبب افزایش قطر ساقه گردند (Mohammadi *et al*., 2016). افزایش سطح کل برگ در گیاهان میکوریزایی ممکن است به دلیل افزایش جذب آب، همچنین افزایش نورساخت (فتوسنتز) باشد چرا که جذب آب بیشتر باعث آماس و تورژسانس یاخته‌ای شده و این عمل موجب افزایش اندازه یاخته‌ها و گسترش بیشتر برگ‌ها می‌گردد (Anisha, 2009).

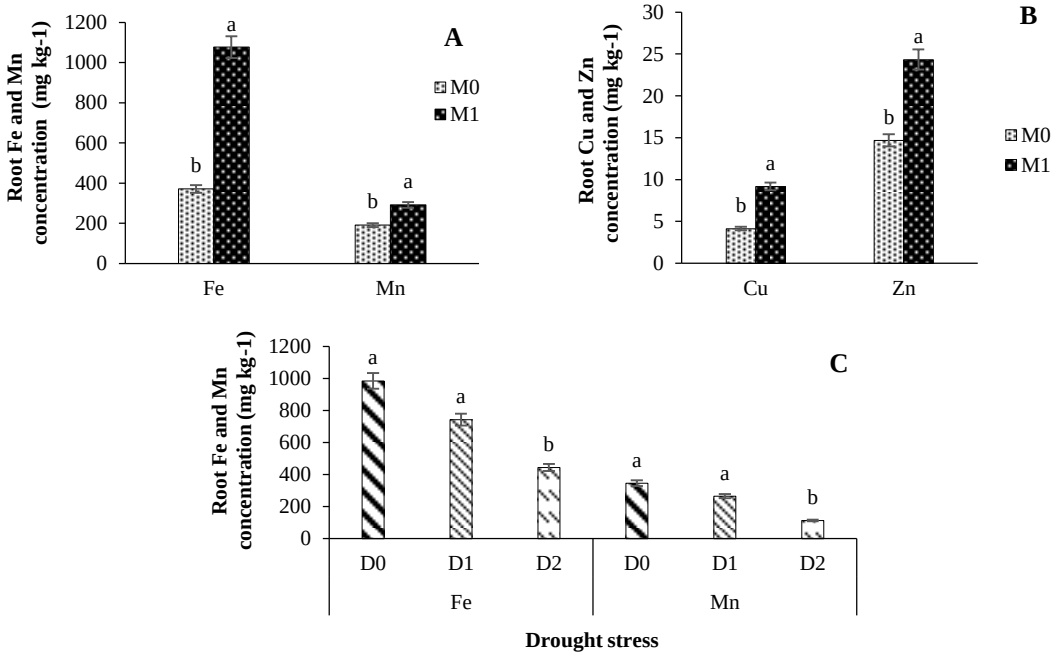
جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس عناصر کم‌مصرف ریشه گیاهان ریزازدیادی گلابی پایه پیرودوارف تحت تأثیر همزیستی میکوریزی و تنش خشکی

Table 5. The results of variance analysis of micro elements in micro-propagated pears (Pyrodwarf) rootstock of the impact of mycorrhizal symbiosis and drought stress

Source of Variation	df	Mean Squares			
		Root Fe	Root Mn	Root Cu	Root Zn
Mycorrhizae	1	2238728***	44760.32*	401.38***	118.58**
Drought stress	2	439154.76**	83891.02***	23.12^{ns}	16.34^{ns}
Mycorrhizae × Drought stress	2	864.66^{ns}	8093.96^{ns}	3.08^{ns}	1.12^{ns}
Error	12	42144.54	5523.33	10.86	6.45
Coefficient of Variation (%)	-	28.36	30.76	28.80	11.70

*، **، *** و ns: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

*, **, ***, ns: Significantly differences at 5%, 1% and 0.1% of probability level, and non-significantly difference, respectively.



شکل ۷ مقایسه میانگین اثر همزیستی میکوریز (A) و (B) و تنش خشکی (C) بر میزان عناصر کم‌مصرف ریشه گیاهان ریزازدیادشده گلابی. M0: بدون میکوریز (شاهد) و M1: با میکوریز. D0: سطح مطلوب آبیاری، D1: تنش خشکی ملایم و D2: تنش خشکی شدید.

Figure 7. Mean comparison effect of mycorrhizal symbiosis (A) and (B) and drought stress (C) on the content of root micro elements of the micro-propagated pear rootstock. M0: Non-mycorrhizal (control) and M1: Mycorrhizal. D0: Optimal level of irrigation, D1: Moderate drought stress and D2: Severe drought stress.

از جهت دیگر تغییرات هورمونی در گیاه با مایه‌زنی میکوریز در ارتباط است و تغییرپذیری ریخت‌شناختی برگ در نتیجه واکنش به تغییرپذیری هورمون‌های گیاهی می‌باشد (Allen *et al*., 1982). در اثر کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه، میزان جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی کاهش می‌یابد که پیامد آن کم‌شدن ذخیره کربن و کاهش ماده خشک می‌باشد (Hu & Schmidhalter, 2005).

افزایش رشد رویشی گیاهان در اثر تیمار با میکوریز، توسط بسیاری از محققین گزارش شده است (Al-Karaki & Al-Raddad, 1997; Cruz & Husain, 2008). مطالعه انجام گرفته توسط Nadian (2011) نشان داد که افزایش وزن ماده خشک سورگوم مایه‌زنی شده با قارچ میکوریز در مقایسه با گیاهان شاهد تحت تنش خشکی به دلیل افزایش پتانسیل آب برگ و یا افزایش میزان مصرف دی‌اکسیدکربن باشد. در واقع، وجود شبکه گسترده هیف‌های خارجی قارچ میکوریز به عنوان ادامه سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان قادر است آب را از منافذ بسیار ریز و دور از دسترس گیاه جذب و به گیاه منتقل نماید. این یافته‌ها با نتیجه‌های Germana (1996) و

Aghababaei & Raiesi (2009) روی بادام، Rutto & Mizutani (2006) روی هلو، Ojha *et al.* (2008) روی درخت آنونا، Abbaspour *et al.* (2012) روی پسته، Singh *et al.* (2012) روی گیاهچه‌های ریزازدیادشده انار و Darroudi *et al.* (2016) روی کشت بافت انگور فرنگی خراسانی مطابقت دارد. طبق پژوهشی در ارتباط با تأثیرگذاری قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر وزن خشک گیاه توت‌فرنگی مشخص شد که گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی ۳۱ درصد افزایش وزن خشک داشتند (Fan *et al.*, 2008). مطالعه روی اثر میکوریز بر پونه کوهی نشان داد که کلونیزاسیون، وزن تر و خشک شاخه را تا سه برابر نسبت به شاهد افزایش می‌دهد (Morone-Fortunato & Avato, 2008).

در این پژوهش نیز اثربخش‌بودن همزیستی قارچ‌های میکوریز در افزایش صفات رویشی حاصل شد که تحقیقات انجام‌شده تأییدی بر نتایج این پژوهش می‌باشد.

در این مطالعه، غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، منگنز، مس و روی اندام هوایی و ریشه و نیز آهن ریشه در نهال‌های میکوریزی حاصل از ریزادیادی گلابی نسبت به نهال‌های فاقد میکوریز در تمام سطوح آبیاری افزایش داشتند.

تشکیل همزیستی میکوریزایی جهت اصلاح تغذیه عناصری که مقدار آنها در خاک کم است یا دارای تحرک کمی هستند (به‌خصوص فسفر) ایجاد می‌گردد. هر عاملی که این کمبود را تشدید نماید، به افزایش میزان میکوریزایی منجر خواهد گردید. از جمله این عوامل می‌توان به تنش خشکی و رقابت اشاره نمود (James *et al.*, 2008). افزایش جذب عناصر غذایی عمدتاً به‌دلیل انتشار میسیلیوم‌های میکوریزایی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی به صورت مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه می‌باشد که بهره‌گیری از حجم بیشتری از خاک که ریشه‌های تغذیه کننده به آن دسترسی ندارد را ممکن می‌سازد (Alizadeh & Alizadeh, 2007). سیستم ریشه‌ای گیاه در نتیجه میکوریزایی شدن تغییراتی حاصل می‌کند (Khan, 2005)، به‌طوری‌که در ریشه‌های گیاهان میکوریزایی طول ریشه بیشتر و انشعابات آن وسیع‌تر می‌شود. بنابراین می‌تواند در جذب عناصر غذایی کارایی بیشتری داشته باشد (Tadayyon & Soltanian, 2016). بهبود جذب و برقراری تعادل در غلظت عناصر غذایی در همزیستی مسالمت‌آمیز میکوریز با گیاهان می‌باشد. افزایش انواع ترکیبات کلات‌کننده در حضور قارچ‌های میکوریزی در مقایسه با شرایط بدون میکوریز، در برقراری تعادل عناصر غذایی در گیاهان نقش دارند (Smith & Read, 2008).

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با تولید آنزیم فسفاتاز باعث تجزیه فسفات‌های آلی و پیروفسفات‌های غیر آلی شده و به این ترتیب موجب افزایش جذب فسفر و بالا رفتن مقدار فسفر کل گیاه گردیده است (Tarafdar & Marschner, 1995). فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی می‌باشد که کمبود آن می‌تواند رشد گیاهان بویژه ریشه را محدود کند. فسفر جزو اصلی اسیدهای نوکلئیک، فسفولیپیدها، فسفوپروتئین‌ها و دی‌نوکلئوتیدها می‌باشد، همچنین در فرایند ذخیره و انتقال انرژی فتوسنتز، تنظیم بعضی از آنزیم‌ها و انتقال کربوهیدرات‌ها ایفای نقش می‌کند (Hu & Schmidhalter, 2005). در آزمایشی محققین اظهار داشتند که افزایش جذب فسفات توسط ریشه‌های میکوریزی به دلیل توسعه هیف‌های خارجی قارچ در خاک و نیز در داخل بافت‌های ریشه است (Read *et al.*, 1989).

قارچ‌های میکوریز از دو جنبه سبب تغییر در شکل و حجم ریشه می‌شوند: ۱- تغییر وضعیت تغذیه‌ای گیاه، ۲- تغییر در سطح ترکیبات هورمونی گیاه (Yao *et al.*, 2005). تغییر در انشعابات و حجم ریشه تحت تأثیر عناصر غذایی به‌خصوص فسفر قرار دارد (López-Bucio *et al.*, 2003). از طرف دیگر این موضوع اثبات شده است که تغییر در تعداد انشعابات ریشه در اثر همزیستی قارچ میکوریز به‌علت تغییر در میزان هورمون‌های گیاهی از جمله ترکیبات پلی‌فنلیک که مانع اکسیداسیون اکسین می‌شوند، است (Perez-Perez, 2007).

همزیستی میکوریزایی باعث افزایش معنی‌دار فسفر در گندم گردید (Shiranirad *et al.*, 2000). استفاده از قارچ از *Claroideoglomus etunicatum* در پسته باعث افزایش عناصر فسفر، پتاسیم، مس و روی در گیاهان دارای آب کافی و گیاهان تحت تنش خشکی و افزایش عنصر کلسیم در گیاهان تحت تنش خشکی گردید

(Abbaspour *et al*., 2012). در پژوهشی که در ارتباط با تأثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و تنش آبی بر جذب عناصر غذایی دو پایه مرکبات (نارنج و رافلمون) انجام گرفته بود (Zarei *et al*., 2016)، به این نتیجه رسیدند که دانهال‌های میکوریزی دو پایه مرکبات به خوبی توسط میکوریز آربوسکولار کلونیزه شده که موجب افزایش جذب عناصر غذایی در اندام هوایی و تعدیل اثر تنش خشکی شده است، همچنین افزایش سطح تنش خشکی میزان درصد کلونیزاسیون ریشه و جذب عناصر فسفر، آهن، منگنز و مس در اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری کاهش داده است. مشابه این نتایج، در بررسی‌های انجام گرفته توسط Sajedi & Rejali (2011) در ذرت، Kafkas & Ortas (2009) بر پسته، Bahraminezhad *et al*. (2015) بر بادام، Hamel & Smith (1991) در ذرت و سویا، Wu & Zia (2006) در نارنگی و Wu *et al*. (2006) بر نارنج سه برگ نیز حاصل شده است.

در این پژوهش نیز مشخص شد که در حضور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر اندام هوایی و ریشه افزایش یافته و تنش خشکی کاهش جذب عناصر را به‌دنبال داشت که با نتایج پژوهش‌های گزارش شده مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

میزان موفقیت در مورد گیاهچه‌های ریزازدیادی می‌تواند به‌طور مؤثری از طریق مقاوم‌سازی به‌موقع، با استفاده از عامل‌های زیستی مثل قارچ‌های میکوریز آربوسکولار افزایش یابد. مایه‌زنی با قارچ میکوریز آربوسکولار، بقای گیاهچه‌ها و درصد زنده‌مانی را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش شاخص‌های رویشی شده و همچنین دوره سازگاری و آمادگی برای ورود به محیط را کوتاه می‌کند و تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی را افزایش می‌دهد. کاربرد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در نهالستان‌ها و نشاکاری‌ها کمک بسیار مؤثری در تولید و تکثیر نهال‌ها و نشاهایی می‌کند که آمادگی مواجهه و عکس العمل مؤثری به عوامل نامساعد زنده و غیر زنده محل اصلی دارند. این نوع همزیستی در طول دوره زندگی گیاهان پایدار می‌ماند. بنابراین کاربرد قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بومی و سازگار در دوره سازگار کردن گیاهان ریزازدیادی با هرینه کم باعث کاهش هزینه‌های کود و سم در مراحل داشت گیاهان می‌شوند و عامل اثرات پایدار زیادی برای کشاورزان و محیط زیست می‌باشند.

سپاسگزاری

از گروه‌های گیاهپزشکی و علوم باغبانی دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، به‌دلیل همکاری در انجام آزمایش‌ها و شرکت‌های ریشه‌گستر ویرا و توان کشت کارمانیا از مرکز رشد دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان که در تهیه نهال‌های ریزازدیادی و برخی نمونه‌های قارچی همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

1. An, Z.Q., Hendrix, J. W., Hershman, D. E. & Henson, G. T. (1990). Evaluation of the "most probable number" (MPN) and wet-sieving methods for determining soil-borne populations of endogonaceous mycorrhizal fungi. *Mycologia*, 82, 576-581.
2. Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H. & Abdel-Wahhab, M. (2012). Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. *Journal of Plant Physiology*, 169, 704-709.
3. Abdollahi, H. (2010). *Pear (Botany, Cultivars and Rootstocks)*. Karaj, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Education Publication, pp. 92. (in Farsi)
4. Aghababaei, F. & Raiesi, F. (2009). Endomycorrhizal symbiosis formation in some commercial almond genotypes. *Iranin Journal of Horticultural Science and Technology*, 10, 127-140. (In Farsi)
5. Ahmed, M., Anjum, M. A., Shah, A. H. & Hamid, A. (2010). *In vitro* preservation of *Pyrus* germplasm with minimal growth using different temperature regimes. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 1639-1650.
6. Alizadeh, O. & Alizadeh, A. (2007). The Effect of mycorrhizal fungi on maize nutrients absorption in different soil moisture conditions. *Journal of Research in Agricultural Sciences*, 3, 101-108. (In Farsi)
7. Alizadeh Zarmehri, F. Davarinezhad, G.H. Khorasani, R. Nemati, S.H. & Keshavarz, P. (2017). The effect of vegetative and seedling pear rootstocks on vegetative characteristics and water potential of pear cultivars. *Journal of Horticulture Science (Agricultural Science and Technology)*, 31, 705-721. (in Farsi)

8. Al-Karaki, G. & Al-Raddad, A. (1997). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza*, 7, 83-88.
9. Allen, M. F., Moore Jr, T. S. & Christensen, M. (1982). Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular–arbuscular mycorrhizae. II. Altered levels of gibberellin-like substances and abscisic acid in the host plant. *Canadian Journal of Botany*, 60, 468-471.
10. Anisha, P. (2009). *Studies on inducing variability in vitro and use of mycorrhizae in hardening of gerbera*. Master of Science ٥hesis. UAS, Dharwad.
11. Auge, R. M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3-42.
12. Awotoye, O., Adewole, M., Salami, A. & Ohiembor, M. (2009). Arbuscular mycorrhiza contribution to the growth performance and heavy metal uptake of *Helianthus annuus* Linn in pot culture. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 3, 157-163.
13. Bahraminezhad, M. Sedaghati, E. Shamshiri, M. H. & Alaei, H. (2015). Effects of arbuscular mycorrhizal symbiosis on growth and some physiological and eco-physiological properties of two rootstocks of almond (GF677 and Shurab 2) **u**nder drought stress**.** *Iranin Journal of Horticultural Science and Technology*, 16, 409-424. (In Farsi)
14. Calvet, C., Pinochet, J., Hernández-Dorrego, A., Estaún, V. & Camprubí, A. (2001). Field microplot performance of the peach-almond hybrid GF-677 after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in a replant soil infested with root-knot nematodes. *Mycorrhiza*, 10, 295-300.
15. Chapman, B., Jones, D. & Jung, R. (1983). Processes controlling metal ion attenuation in acid mine drainage streams. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 1957-1973.
16. Cruz, R. E. D. & Husain, T. (2008). Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of Senna spectabilis. *Pakistan Journal of Botany*, 40, 2217-2224.
17. Darang, S. Hamidoghli, Y. & Ramazani Sayad, A. (2011). *Effects of plant growth regulators in in vitro propagation of cactus (Opuntia ficus-indica)*. Master of Science Thesis, Faculty of Agriculture, Gilan University. (in Farsi)
18. Darroudi, H., Safarnezhad, A., Akbarinia, M., Hosseini, S.M. & Hajian Shahri, M. (2016). Effects of mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* bacteria on the growth and survival of *Ribes khorasanicum* Saghafi and Assadi tissue culture plantlets. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24, 116-127. (in Farsi)
19. Ebrahimi, F. Bagherieh Najar, M. B. Iranbakhsh, A. & Aghdasi, M. (2011). *Optimization of chickpea (Cicer arientinum) tissue culture*. Master of Science Thesis, Faculty of Basic Sciences, Golestan University. (in Farsi)
20. Emami, A. (1996). *Methods of plant analysis*. Technical handbook, Soil and Water Research Institute. Tehran University Press, No. 982. (in Farsi)
21. Fan, Y., Luan, Y., An, L. & Yu, K. (2008). Arbuscular mycorrhizae formed by *Penicillium pinophilum* improve the growth, nutrient uptake and photosynthesis of strawberry with two inoculum-types. *Biotechnology Letters*, 30, 1489-1494.
22. Germana, C. (1996). Experiences on the response of almond plants (*Amygdalus communis* L.) to water stress. *II International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops*, 449, 497-504.
23. Giovannetti, M. & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhiza infection in roots. *New Phytologist*, 84, 489-500.
24. Hamel, C. & Smith, D. L. (1991). Interspecific N-transfer and Plant development in a mycorrhizal field-grown mixture. *Soil Biology and Biochemistry*, 23, 661-665.
25. Hoagland, D.R., & Arnon, D.I. (1950). The water-culture method for growing for plants without soil. Circular. *California Agricultural Experiment Station*, 347, 1-32.
26. Hazarika, B. N. (2003). Acclimatization of tissue-cultured plants. *Current Science*, 85, 1704-1712.
27. Hu, Y. & Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 541-549.
28. Irigoyen, J., Einerich, D. & Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. *Physiologia Plantarum*, 84, 55-60.
29. Jacob, H. (2000). New pear rootstocks from Geisenheim, Germany. *VIII International Symposium on Pear*, 596, 337-344.
30. James, B., Rodel, D., Lorettu, U., Reynaldo, E. & Tariq, H. (2008). Effect of vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. *Pakistan Journal of Botany*, 40, 2217-2224.
31. Kafkas, S. & Ortas, I. (2009). Various mycorrhizal fungi enhance dry weights, P and Zn uptake of four *Pistacia* species. *Journal of Plant Nutrition*, 32, 146-159.

32. Khan, A. G. (2005). Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18, 355-364.
33. Lindsay, W.L., & Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42, 241-428.
34. López-Bucio, J., Cruz-Ramırez, A. & Herrera-Estrella, L. (2003). The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, 280-287.
35. Marschner, H. & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159, 89-102.
36. Miyasaka, S. C., Habte, M., Friday, J. & Johnson, E. (2003). *Manual on arbuscular mycorrhizal fungus production and inoculation techniques*. Soil and Crop Management, Honolulu, United States Department of Agriculture, University of Hawaii.
37. Mohammadi, Z.H. Naseri, L. & Barin, M. (2016). The effect of cultivation substrates and arbuscular mycorrhizal symbiotic on establishment and growth of micro-propagated apple rootstocks (MM106). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47, 287-296. (in Farsi)
38. Morone-Fortunato, I. & Avato, P. (2008). Plant development and synthesis of essential oils in micropropagated and mycorrhiza inoculated plants of *Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 93, 139-149.
39. Murashige, T. & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497.
40. Nadian, H. (2011). Effect of drought stress and mycorrhizal symbiosis on plant growth and P uptake by two sorghum genotypes differing in root morphology. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 15, 112- 121. (in Farsi)
41. Ojha, S., Chakraborty, M., Dutta, S. & Chatterjee, N. (2008). Influence of VAM on nutrient uptake and growth of custard-apple. *Asian Journal of Experimental Sciences*, 22, 221-224.
42. Olsen, S. R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. United States Department of Agriculture, Washington.
43. Phillips, J. M. & Hayman, D. (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, 158-161.
44. Perez-Perez, J. M. (2007). Hormone signalling and root development: an update on the latest *Arabidopsis thaliana* research. *Functional Plant Biology*, 34, 163-171.
45. Qiang-Sheng Wu & Ren-Xue Xia, (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163, 417-425.
46. Raiesi, F. & Ghollarata, M. (2006). Interactions between phosphorus availability and an AM fungus (*Glomus intraradices*) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil. *Pedobiologia*, 50, 413-425.
47. Read, D., Leake, J. & Langdale, A. (1989). *The nitrogen nutrition of mycorrhizal fungi and their host plants*. Nitrogen, phosphorus and sulphur utilization by fungi, Department of Plant Sciences, University of Sheffield, pp.181-204.
48. Rutto, K. L. & Mizutani, F. (2006). Effect of mycorrhizal inoculation and activated charcoal on growth and nutrition in peach (*Prunus persica* Batsch) seedlings treated with peach root-bark extracts. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science*, 75, 463-468.
49. Sajedi, N. & Rejali, F. (2011). Effect of drought stress, zinc application and mycorrhizal inoculation on the absorption of low-energy elements in corn. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 25, 83-92. (in Farsi)
50. Schultz, C. (2001). *Effect of (vesicular-) arbuscular mycorrhiza on survival and post vitro development of micropropagated oil palms (Elaeis guineensis Jacq.)*. Niedersächsische Staats-und Universitätsbibliothek Göttingen.
51. Shiranirad, A. H. Alizadeh, A. & Hashemi Dezfooli, S. A. (2000). The study of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, phosphorus and drought stress on nutrient uptake efficiency in wheat. *Journal of Seedling and Seed*, 16, 327-349. (in Farsi)
52. Singh, N. V., Singh, S. K., Singh, A. K., Meshram, D. T., Suroshe, S. S. & Mishra, D. C. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) induced hardening of micropropagated pomegranate (*Punica granatum* L.) plantlets. *Scientia Horticulturae*, 136, 122-127.
53. Smith, S. E. & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Third edition, Academic Press, pp. 800.
54. Tadayyon, A. & Soltanian, M. (2016). Effect of arbuscular mycorrhizal fungus on growth, root colonization rate and linseed (*Linum usitatissimum* L.) P absorption under different levels of dehydration. *Journal of Plant Process and Function*, 5, 147-157. (in Farsi)

55. Tarafdar, J. & Marschner, H. (1995). Dual inoculation with *Aspergillus fumigatus* and *Glomus mosseae* enhances biomass production and nutrient uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) supplied with organic phosphorus as Na-phytate. *Plant and Soil*, 173, 97-102.
56. Thomas, F. M. & Gausling, T. (2000). Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Annals of Forest Science*, 57, 325-333.
57. Van Schilfgaarde, J. (1994). Irrigation-a blessing or a curse. *Agricultural Water Management*, 25, 203-219.
58. Viseur, J. (1987). Micropropagation of pear, *Pyrus communis* L., in a double-phase culture medium. *Symposium on In Vitro Problems Related to Mass Propagation of Horticultural Plants*, 212, 117-124.
59. Wu, Q.-S. & Xia, R.-X. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163, 417-425.
60. Wu, Q.-S., Xia, R.-X. & Zou, Y.-N. (2006). Reactive oxygen metabolism in mycorrhizal and non-mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings subjected to water stress. *Journal of Plant Physiology*, 163, 1101-1110.
61. 57. Yao, Q., Zhu, H. & Chen, J. (2005). Growth responses and endogenous IAA and iPAs changes of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) seedlings induced by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation. *Scientia Horticulturae*, 105, 145-151.
62. Zarei, M., Paymaneh, Z. & Ronaghi, A. (2016). The effects of arbuscular mycorrhizal fungus and water stress on some antioxidant enzymes activities and nutrients uptake of two citrus rootstocks. *Iran Agricultural Research*, 35, 19-26. (in Farsi)
63. Zarrinbal, M. (2016). *Pome fruits rootstocks (Apple, Pear, Quince)*. East Azarbaijan Jahad-e-Agricultural Organization, Agricultural Promotion Coordination Management, Didactic media office, First edition, No. 163. (in Farsi)