اثر همزیستی دو گونه مایکوریزا آربوسکولار بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه مرتعی *Agropyron elongatum* (Host). Beauv در شرایط گلخانه

فاطمه شیرعلی[۱*]، رضا الماسی[۲] و بختیار فتاحی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷

چکیده

مایکوریزا یک ارتباط همزیستی بین گیاهان و برخی قارچ‌های خاکزی است که نقش مهمی در تولید پایدار محصولات کشاورزی، حاصل‌خیزی خاک و احیا مراتع دارد. در چندین سال گذشته تمایل به استفاده از قارچ های مایکوریزا در عملیات کشاورزی و محیط زیستی، به سبب نقش آنها در بهبود رشد و سلامت گیاه، حاصلخیزی خاک و افزایش پایداری دانه های خاک افزایش پیدا کرده است. در این پژوهش، با هدف بیان قابلیت‌های استفاده از قارچ‌های مایکوریزا در احیا و اصلاح مراتع، اثر مایه‌زنی دو گونه مایکوریزای آربوسکولار، *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformis mosseae*، بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه علف گندمی بلند (*Agropyron elongatum*) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با اعمال دو تیمار و بیست تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر انجام شد. ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاهان مانند طول ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان شامل محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای فنول کل و محتوای عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد هر دو گونه مایکوریزا، به ویژه گونه *R. intraradices*، قابلیت بالایی در همزیستی و بهبود ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مورد نظر در گیاهان دارند. به عبارت دیگر گونه *F. mosseae* منجر به بهبود صفات مورفولوژیکی مانند طول ساقه، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی، به ترتیب به میزان ۳۱۸، ۲۴۰ و ۲۲۰ درصد شده است. همچنین این قارچ، محتوای فنول، نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتن را در گیاهان مایه‌زنی شده به ترتیب به میزان ۱۳۴، ۱۳۱، ۱۶۲، ۱۸۱،۱۷۲، ۱۷۸، ۱۷۴ و ۱۷۵ درصد افزایش داده است. از سویی دیگر، گونه *R. intraradices*، صفات طول ساقه، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی را به ترتیب به میزان ۴۷۴، ۳۲۵ و ۳۱۷ درصد بهبود بخشیده است و اثر افزایشی آن بر محتوای فنول، نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتن، در گیاهان مایه‌زنی شده به ترتیب به میزان ۱۵۳، ۱۷۲، ۱۶۳، ۳۳۷،۲۴۴، ۲۵۱، ۲۴۶ و ۲۵۰ درصد بوده است. بنابراین گونه مایکوریزا *R. intraradices* به عنوان شریک بهتر برای همزیستی با گیاه علف گندمی بلند و اصلاح مراتع با پوشش غالب این گیاه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مایکوریزا، علف‌گندمی بلند، جذب عناصر، رنگدانه های فتوسنتزی، فنول، زی‌توده، احیا مرتع.

[۱]. دانش‌آموخته کارشناسی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

*: نویسنده مسئول: rezaalmasi@ymail.com

[۲] - استادیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

[۳]. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]

مقدمه

تخریب مراتع یک مشکل بسیار مهم و یک تهدید جدی برای زندگی میلیون‌ها نفر از مردم جهان به ویژه در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود. این مسئله که در نتیجه افزایش جمعیت، چرای زیاد، وجود معادن، شرایط نامساعد آب‌وهوایی و مسائلی از این قبیل می‌باشد عواقبی چون کاهش ارائه خدمات اکوسیستم، ناامنی غذایی و اجتماعی را در پی داشته‌است (۲۰ و ۴۳). دخالت‌های انسانی و بهره‌برداری‌های غیر اصولی سبب افزایش آلودگی و تخریب اکوسیستم در چندین دهه گذشته شده است. با توجه به سرعت کم احیا پوشش گیاهی در اراضی و مراتع همچنین فقر عناصر غذایی خاک، عملیات احیا پوشش گیاهی در این مناطق امری مهم و ضروری می‌باشد (۵).

در چندین سال گذشته برای احیا مراتع، از مایکوریزا به طور گسترده استفاده شده است (۲۵ و ۴۷). مایکوریزا، قارچهایی خاکزی هستند از طریق همزیستی با ریشه گیاهان و تولید یک سیستم بیولوژیکی، دسترسی گیاهان به عناصر غذایی را تسهیل می‌کنند (۴ و ۱۶). ریسه‌های قارچ مایکوریزا مساحت وسیع‌تری از خاک را در مقایسه با ریشه گیاهان طی می‌کند و به کمک شبکه ریسه‌ای گسترده‌ای که در خاک ایجاد می‌کند، با افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و انتقال آنها به صورت وزیکول‌هایی به گیاهان، تغذیه آنها را بهبود می‌بخشد (۱۱ و ۳۸). از سویی دیگر، گیاه نیز تامین منابع کربنی مایکوریزا را برعهده دارد (۴). پژوهش‌ها نشان می‌دهد افزون بر افزایش جذب مواد غذایی، قارچهای مایکوریزا با بهبود فتوسنتز، میزان بهره‌وری گیاهان را افزایش داده و با تولید ترکیبات محرک رشد و تحریک تولید ترکیبات دفاعی در گیاه، موجب استقرار بهتر و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده و احیا اکوسیستم می‌شوند (۱، ۲۵ و ۴۴). در پژوهشی بر گیاه *Bromus kopetdaghensis* نشان داده شد که مایه‌زنی با مایکوریزا گونه *Glomus intraradices* باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی شده است (۵). بر اساس پژوهشی که بر گیاه *Medicago sativa* انجام شده است، مایه‌زنی گونه‌های *G. intraradices*، *Glomus versiforme*، *Glomus elanicatum* و *Glomus aggregatum* موجب افزایش جذب عناصر غذایی نیتروژن و فسفر در این گیاه می‌شود (۴۵).

پژوهشی بر نقش سه گونه از قارچهای مایکوریزا آربوسکولار، *Glomus mosseae*، *G. intraradices* و *Glomus etunicatum*، در اصلاح علف‌زارهای آسیای میانه نشان داد که مایه‌زنی با این قارچها منجر به افزایش زی‌توده و تراکم چهار گونه از گیاهان علفی، *Erodium oxyrrhynchum*، *Hyalea pulchella*، *Trigonella arcuata* و *Schismus arabicus* و تسریع احیا مراتع شده است (۴۷).

علف‌گندمی بلند با نام علمی *Agropyron elongatum* از خانواده *Poaceae* و از گیاهان بومی ایران است؛ که با نام‌های دیگری چون علف‌گندمی شور و علف‌گندمی خوشه‌ای نیز شناخته می‌شود و در سطح پهناوری از مراتع ایران رشد می‌کند. این گیاه مرتعی به جهت تولید علوفه سبز و خشک اهمیت زیادی دارد. با توجه به تحمل این گیاه نسبت به تنش‌های زنده و غیر زنده و عملکرد خوبی که این گیاه در خاک‌های شنی و مناطق خشک از خود نشان می‌دهد؛ نقش مهمی در حفاظت دیم‌زارها در فرسایش‌های آبی و بادی ایفا می‌کند (۱۰، ۱۸، ۲۷ و ۲۸).

دو گونه قارچ *Rhizophagus intraradices* (قبلا *Glomus intraradices*) و *Funneliformis mosseae* (قبلا *Glomus mosseae*) متعلق به دسته مایکوریزاهای وزیکولار آربوسکولار (Vesicular Arbuscular Mycorrhiza, VAM) هستند. قارچهای VAM گروهی تک‌نیایی هستند که در رده Glomeromycetes، راسته Glomerales و خانواده Glomeraceae قرار می‌گیرند (۳۳). مایکوریزاهای آربوسکولار توجه زیادی را به عنوان کودهای زیستی به خود جلب کرده‌اند. این قارچها همزیست اجباری هستند و قادر به ایجاد رابطه همزیستی با حدود ۸۰ درصد گیاهان هستند (۳۶).

با توجه به اهمیت حاصلخیزی خاک در رشد بهتر گیاهان و نقش این مهم در حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی در برابر عواملی چون تنش‌های محیطی، فرسایش خاک و آبشویی عناصر مورد نیاز گیاهان، عملیات حفظ و احیای اکوسیستم‌های طبیعی ضرورت پیدا می‌کند. این پژوهش با رویکرد بیان قابلیت‌ها و اثرهای همزیستی دو گونه از قارچهای مایکوریزا آربوسکولار، *F. mosseae* و *R. intraradices* با گیاه *Agropyron elongatum* جهت

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]

کاربرد در احیا و اصلاح اکوسیستم‌های طبیعی صورت گرفته‌است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر همزیستی قارچ‌های مایکوریزا بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه *Agropyron elongatum*، آزمایش کاملا تصادفی با اعمال دو تیمار (دو گونه قارچ مایکوریزا) و بیست تکرار که شامل مایه‌زنی با اسپور دو گونه قارچ مایکوریزای *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus intraradices* به میزان ۵۰ اسپور در گرم خاک بود، در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر انجام شد.

کاشت بذرها و اعمال تیمار

برای هر قارچ، در ۲۰ گلدان پلاستیکی به ابعاد ۱۸×۲۱ سانتی‌متر تعداد ۲۰ عدد بذر در خاک استریل مایه‌زنی شده با اسپور قارچ کشت شدند و بلافاصله آبیاری انجام شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیکی

ویژگی‌های مورفولوژیکی مانند طول ساقه و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی قبل از تولید خوشه، اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری طول ساقه از خط‌کش دقیق استفاده شد. برای تعیین وزن خشک اندام‌هوایی، گیاهان از محل طوقه بریده شدند و عمل خشک کردن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت انجام شد. سپس اقدام به اندازه‌گیری وزن خشک با ترازوی دیجیتال (AND GF-200) و با دقت ۰/۰۰۱ گرم شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های بیوشیمیایی

درصد عنصرهای پتاسیم (۲۱) فسفر (۲۹) و نیتروژن (۸) و همچنین محتوای فنول کل (۳۵) و رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتن) (۳ و ۴۲) در نمونه‌های گیاهی اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری درصد عناصر یک گرم از نمونه‌های خشک و پودر شده گیاهی به کروزه چینی منتقل شد و در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکسترگیری انجام شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار به کروزه افزوده شد و با کمک حرارت ملایم مواد خاکستر در اسید حل شد. محلول به دست آمده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد و حجم نهایی توسط آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

برای اندازه‌گیری درصد پتاسیم موجود در برگ، از روش شعله سنجی در دستگاه فلیم فوتومتر (JENWAY PFP7) (۲۱) استفاده شد و فسفر با روش رنگ سنجی در دستگاه اسپکتروفوتومتر (HACH DR6000) در طول موج ۶۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۲۹). درصد نیتروژن نیز به روش کجلدال تعیین شد (۸). اندازه‌گیری میزان فنول نیز به روش رنگ سنجی به وسیله معرف فولین سیوکالتو (F-C reagent) انجام گرفت و در طول موج ۷۶۵ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر(HACH DR6000) اندازه‌گیری شد و نتایج بر حسب میلی‌گرم اسیدگالیک در گرم بافت تر بیان شد (۳۵).

به‌منظور اندازه‌گیری میزان رنگدانه‌های برگ (کلروفیل *a*، *b* و کارتنوئید) عصاره‌گیری برگ به روش آرنون (۱۹۶۷)، با استفاده از استون ۸۰ درصد (V/V) صورت گرفت. بدین منظور ۰/۱ گرم بافت برگ در ۵ میلی‌لیتر استون عصاره‌گیری شد و سپس میزان رنگدانه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (HACH DR6000) تعیین شد. جذب نوری کلروفیل a در طول موج ۶۶۳ نانومتر، کلروفیل b در طول موج ۶۴۵ و غلظت کارتنوئید در طول موج ۴۷۰ اندازه‌گیری شد (۳) و بر اساس میلی‌گرم در گرم بافت تر بیان شد (۴۲).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 16.0 و رویه ANOVA و مقایسه میانگین تیمارها به روش آزمون Tukey's در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت ($p<0/05$).

نتایج

مایه‌زنی گیاه *Agropyron elongatum* با اسپورهای دو گونه مایکوریزا، منجر به افزایش قابل توجهی در رشد گیاهان شد. افزایش رشد در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ *R. intraradices* بیشتر از گیاهان مایه‌زنی شده با *F. mosseae* بود (شکل ۱).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]

شکل ۱: افزایش رشد رویشی در گیاه *Agropyron elongatum* ناشی از مایه‌زنی خاک استریل با اسپور دو گونه قارچ مایکوریزا. به ترتیب از چپ به راست: گیاهان شاهد کشت شده در خاک استریل بدون مایه‌زنی با اسپور قارچ مایکوریزا، گیاهان مایه‌زنی شده با اسپور *F. mosseae*، گیاهان مایه‌زنی شده با اسپور *R. intraradices*

نتایج تجزیه واریانس نیز نشان دهنده تفاوت معنی‌دار (p<۰/۰۱) شاخص‌های رشدی مانند طول ساقه و وزن تر و خشک اندام هوایی در گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ‌ها در مقایسه با گیاهان شاهد بود (جدول ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده (میانگین مربعات) در مایه‌زنی با اسپور مایکوریزا. ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	طول ساقه (cm)
قارچ	۲	۰/۰۱۳**	۰/۰۰۳**	۹۰۰/۵۶۳**
خطا	۶	۰/۰	۰/۰	۶/۹۵۲
انحراف از میانگین (SD)		۰/۰۵۹۸	۰/۰۲۸۵	۱۵/۱۷۷

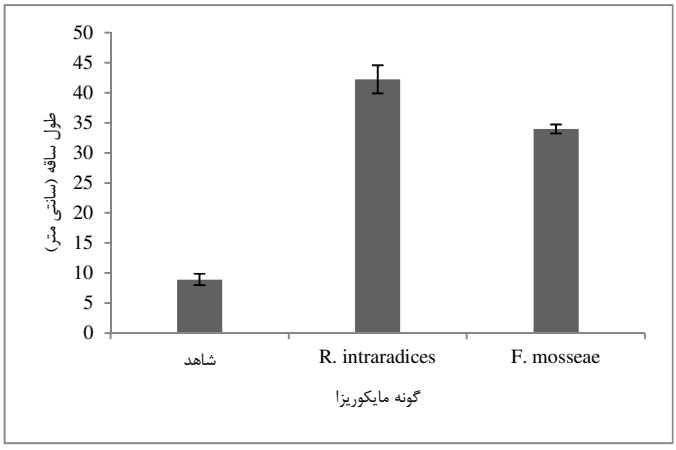
تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی (جدول ۲) نیز نشان از نقش معنی‌دار (p<۰/۰۱) مایه‌زنی با قارچ‌ها در افزایش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتن در گیاهان A. elongatum، داشت. افزایش معنی‌دار (p<۰/۰۱) محتوای فنول کل در گیاهان نیز در اثر تیمار با قارچ‌ها دیده شد. همچنین مایه‌زنی گیاهان با قارچ‌های مایکوریزا اثر معنی‌داری در افزایش جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر داشت (p<۰/۰۱) (جدول ۲).

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده (میانگین مربعات) ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a (mg/g)	کلروفیل b (mg/g)	کلروفیل کل (mg/g)	کاروتن (mg/g)	فنول کل (mg/g)	درصد نیتروژن	درصد فسفر	درصد پتاسیم
قارچ	۲	۰/۷۰۵**	۰/۱۰۵**	۱/۳۵۶**	۰/۰۳۷**	۱۱۹۷/۷۸۸**	۱/۰۵۱**	۰/۰۳۴**	۰/۵۹۳**
خطا	۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰	۳۰/۹۳۲	۰/۰۷۸	۰/۰۰۱	۰/۰۲۶
انحراف از میانگین (SD)		۰/۳۲۸۳	۰/۱۲۶۷	۰/۴۵۴۶	۰/۰۷۵۶	۱۴/۰۵۷۹	۰/۵۰۴۹	۰/۰۸۲۷	۰/۳۵۹۳

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]

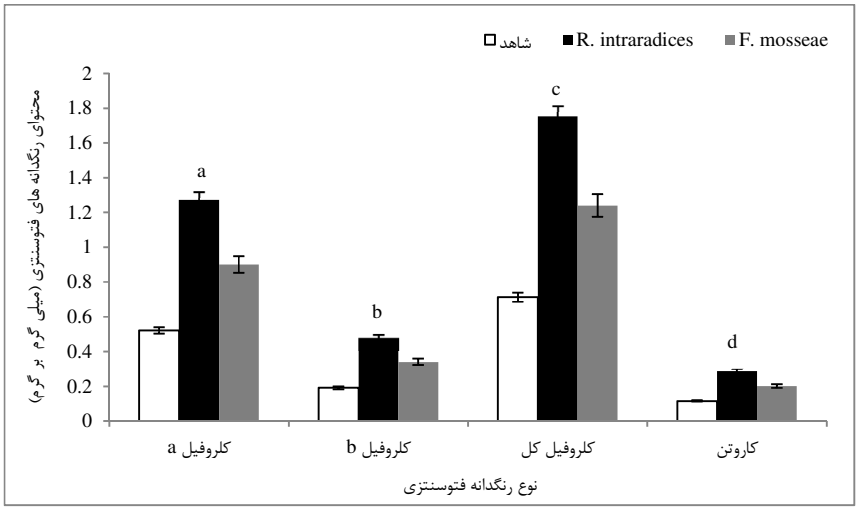
مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی با قارچ‌های مایکوریزا بر صفات طول ساقه، وزن تر و وزن خشک گیاهان نشان داد، گیاهان مایه‌زنی شده با *R. intraradices* و *F. mosseae*، افزایش معنی‌داری در مقادیر این صفات در مقایسه با گیاهان شاهد دارند (p<۰/۰۱). همچنین گیاهان مایه‌زنی شده با *R. intraradices* در مقایسه با گیاهان مایه‌زنی شده با *F. mosseae*، افزایش معنی‌داری در مقادیر عددی این صفات نشان دادند (p<۰/۰۵) (شکل ۲). به عبارت دیگر مقادیر عددی صفات طول ساقه (بر حسب سانتی‌متر)، وزن تر و وزن خشک (بر حسب گرم) در گیاهان مایه‌زنی شده با گونه مایکوریزا *F. mosseae*، به ترتیب برابر با ۲۸/۳۶، ۰/۱۴۲ و ۰/۰۶۴ بود. در حالی که در گیاهان شاهد، این مقادیر به ترتیب، ۸/۹، ۰/۰۵۹ و ۰/۰۲۹ بودند و می‌توان گفت که قارچ *F. mosseae*، منجر به بهبود صفات گفته شده به ترتیب به میزان ۳۱۸، ۲۴۰ و ۲۲۰ درصد در گیاهان مایه‌زنی شده نسبت به شاهد شده است. از سویی دیگر، مقادیر عددی صفات طول ساقه، وزن تر و وزن خشک در گیاهان مایه‌زنی شده با گونه *R. intraradices*، به ترتیب برابر با ۴۲/۲، ۰/۱۹۲ و ۰/۰۹۲ بودند و این قارچ منجر به بهبود این صفات به ترتیب به میزان ۴۷۴، ۳۲۵ و ۳۱۷ درصد در گیاهان مایه‌زنی شده نسبت به شاهد شده است.



شکل ۲: مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی با مایکوریزا بر طول ساقه (برحسب سانتی‌متر). میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون Tukey's ندارند (p<۰/۰۵).

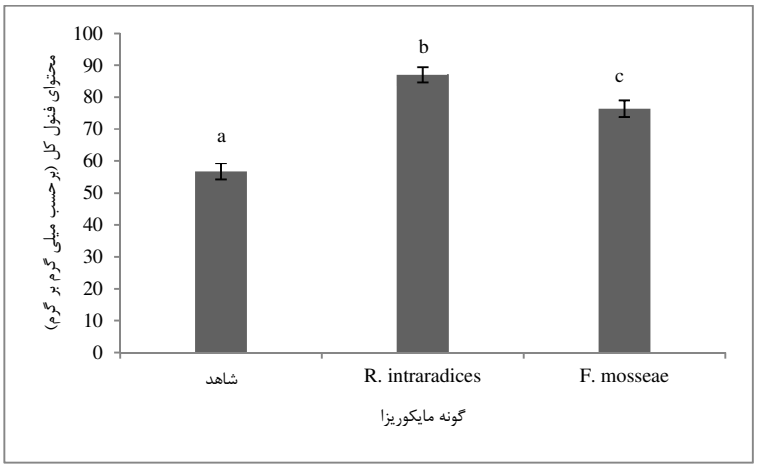
مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی با مایکوریزا بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتن گیاهان نیز بیانگر اثر معنی‌دار (p<۰/۰۱) تیمار با قارچ‌ها در افزایش صفات گفته شده در مقایسه با گیاهان شاهد است. در مقایسه بین دو گونه مایکوریزا، مایه‌زنی با گونه *R. intraradices* منجر به افزایش معنی‌داری (p<۰/۰۱) در تمامی رنگدانه‌های فتوسنتزی نسبت به *F. mosseae* شد (شکل ۳). محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی (برحسب میلی‌گرم بر گرم) شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتن، در گیاهان مایه‌زنی شده با *F. mosseae*، به ترتیب برابر با ۰/۹۰، ۰/۳۴، ۱/۲۴ و ۰/۲۰ بودند که نشان از بهبود به ترتیب ۱۷۲، ۱۷۸، ۱۷۴ و ۱۷۵ درصدی در گیاهان مایه‌زنی شده دارد. در حالی که در اثر مایه‌زنی با *R. intraradices*، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتن، در گیاهان مایه‌زنی شده به ترتیب ۱/۲۷، ۰/۴۸، ۱/۷۵ و ۰/۲۸ بودند که به ترتیب افزایش ۲۴۴، ۲۵۱، ۲۴۶ و ۲۵۰ درصدی را نشان می‌دهند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]



شکل ۳: مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی با مایکوریزا بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتن (برحسب میلی‌گرم بر گرم). میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون Tukey's ندارند (p<۰/۰۵).

مایه‌زنی گیاهان *A. elongatum* با هر دو گونه مایکوریزا در افزایش معنی‌دار محتوای ترکیبات فنولی گیاهان در مقایسه با گیاهان شاهد نقش داشته است (*p*<۰/۰۱). گونه *R. intraradices* در مقایسه با *F. mosseae* منجر به افزایش معنی‌دار (p<۰/۰۵) ترکیبات فنولی در گیاهان شده است (شکل ۴). محتوای فنول گیاهان مایه‌زنی شده (بر حسب میلی‌گرم بر گرم) با گونه‌های مایکوریزای *F. mosseae* و *R. intraradices*، به ترتیب برابر با ۷۶/۴۲ و ۸۷/۳۰ بودند که به ترتیب افزایش ۱۳۴ و ۱۵۳ درصدی در محتوای فنول گیاهان مایه‌زنی شده را نشان می‌دهد. محتوای فنول در گیاهان شاهد ۵۶/۷۶ بود.

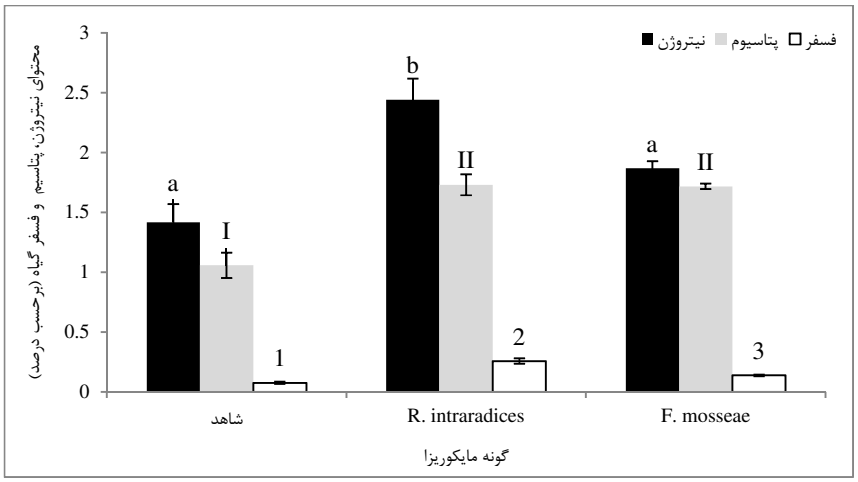


شکل ۴: مقایسه میانگین‌های اثر مایه زنی با مایکوریزا بر محتوای فنول کل (برحسب میلی‌گرم بر گرم). میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون Tukey's ندارند (p<۰/۰۵).

درصد عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گیاهان *A. elongatum* مایه‌زنی شده با *F. mosseae*، به ترتیب برابر با ۱/۸۶، ۱/۷۲ و ۰/۱۴ بود. در گیاهان مایه‌زنی شده با *R. intraradices*، این مقادیر به ترتیب برابر با ۲/۴۴، ۱/۷۳ و

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]

۰/۲۵ و در گیاهان شاهد برابر با ۱/۴۱، ۱/۰۵ و ۰/۰۷ بودند. مقایسه میانگین‌های درصد عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گیاهان *A. elongatum* نیز نشان داد که قارچ *R. intraradices* در افزایش معنی‌دار (p<۰/۰۱) این عناصر در گیاهان نقش مهمی دارد (شکل ۵)؛ به گونه‌ای که این قارچ به ترتیب منجر به افزایش ۱۷۲، ۱۶۳ و ۳۳۷ درصدی این عناصر در گیاهان شده است. همچنین قارچ *F. mosseae* در افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم (p<۰/۰۱) و فسفر (p<۰/۰۵) نقش دارد اما نقش افزایشی این قارچ در جذب نیتروژن، معنی‌دار نبود (p= ۰/۱۱). این قارچ به ترتیب منجر به افزایش ۱۳۱، ۱۶۲ و ۱۸۱ درصدی در جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر شده است. قارچ *R. intraradices* در مقایسه با قارچ *F. mosseae*، منجر به جذب بیشتر فسفر (p<۰/۰۱) و نیتروژن (p<۰/۰۵) شده است اما تفاوت این دو قارچ در افزایش جذب پتاسیم (p=۰/۹۹) معنی‌دار نبود (شکل ۵).



شکل ۵: مقایسه میانگین‌های اثر مایه‌زنی با مایکوریزا بر درصد نیتروژن، پتاسیم و فسفر گیاه. میانگین‌های دارای حروف و اعداد مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون Tukey's ندارند (p<۰/۰۵).

بحث و نتیجه گیری

به طور کلی می‌توان گفت که در نتیجه مایه‌زنی هر دو گونه قارچ به گیاهان *A. elongatum* ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مورد نظر در گیاهان، بهبود چشم‌گیری نشان داده‌اند اما نقش گونه مایکوریزا *R. intraradices* در این بهبود بسیار پر رنگ‌تر از گونه *F. mosseae* بوده است. به طوری که در تمامی صفات مورد بررسی، به جز اثر بر میزان جذب پتاسیم، اختلاف معنی‌داری بین دو گونه قارچ مایکوریزا وجود دارد. از سوی دیگر گونه *F. mosseae* در جذب نیتروژن گیاهان اثر معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد نداشت. بنابراین باید گفت که گونه *R. intraradices* از پتانسیل بیشتری برای همزیستی با *A. elongatum* برخوردار است. برخی از پژوهش‌های پیشین نیز نشان دهنده پتانسیل بالاتر گونه *R. intraradices* نسبت به گونه *F. mosseae*، در جذب عناصر و بهبود رشد برخی گیاهان خانواده گرامینه مانند گندم (۳۹) و برنج (۱۳) است. در حالی که در هم‌کنش با گیاه ذرت، گونه *F. mosseae* توانایی بالاتری نسبت به گونه *R. intraradices* در بهبود رشد نشان داده است (۲۲). پژوهش‌ها نشان داده است که انتخاب بهترین ترکیب قارچ-گیاه برای همزیستی مایکوریزایی، توسط عوامل زیادی مانند ژنتیک گیاه و قارچ، ترشحات ریشه گیاه، نوع متابولیت‌های قارچی و بسیاری عوامل دیگر تعیین می‌شود (۷ و ۳۲).

افزایش مقاومت به بیماری‌ها در همزیستی گیاه-مایکوریزا، با رقابت با بیمارگرها بر سر جا و منابع غذایی (۶)، القا واکنش‌های مقاومت سیستمیک اکتسابی (*Systemic Acquired Resistance, SAR*) (۳۰، ۳۷ و ۴۰) و افزایش تولید ترکیبات دفاعی مانند ترکیبات فنولی در ارتباط است

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]

(۲۳). نتایج پژوهش حاضر نیز افزایش ترکیبات فنولی در گیاهان *A. elongatum* مایه‌زنی شده با هر دو گونه مایکوریزا را نشان داد.

افزایش فتوسنتز توسط قارچ‌های VAM از راه افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و سرعت فتوسنتز انجام می‌شود (۲، ۱۹، ۳۱، ۳۴ و ۴۶). هم‌راستا با پژوهش‌های گفته شده، رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان *A. elongatum* مایه‌زنی شده با هر دو قارچ، افزایش معنی‌داری نشان دادند و یکی از دلایل بهبود رشد در گیاهان مورد بررسی می‌تواند افزایش فتوسنتز در اثر افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد.

پتاسیم و فسفر بخشی از عناصر پرمصرف برای رشد و نمو گیاه هستند که به دلیل کمبود منابع آنها در خاک، اغلب به صورت عوامل محدود کننده رشد عمل می‌کنند. بنابراین افزایش جذب فسفر و پتاسیم توسط مایکوریزا اثر زیادی روی بهبود رشد و نمو گیاه دارد (۱۴، ۲۴ و ۴۱). بخشی از بهبود رشد گیاهان *A. elongatum* ناشی از قارچ-های مایکوریزا در این پژوهش نیز در پاسخ به افزایش جذب این عناصر اتفاق افتاده است.

اثرات منفی، خنثی و مثبت قارچ‌های *VAM* در جذب نیتروژن گزارش شده است (۱۲ و ۱۵). اما اغلب قارچ‌های مایکوریزا *VAM* قادر به جذب و انتقال مقادیر بالای نیتروژن به گیاه هستند (۹ و ۱۷). باید گفت که توانایی قارچ‌های *VAM* در بهبود جذب نیتروژن گیاه میزبان در بین اعضای شاخه *Glomeromycota* متفاوت است و این پدیده به علت تنوع بین گونه‌ای در این قارچ‌هاست و قابلیت بالای همزیستی به این بستگی دارد که جدایه قارچ مورد نظر متعلق به چه گونه‌ای باشد (۲۶). به عنوان نمونه، در پژوهشی که روی گیاه *Medicago sativa* انجام شد، از میان ۳۱ جدایه قارچی، تنها ۶ جدایه قادر به افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه یونجه بودند (۲۶). در پژوهش حاضر نیز نشان داده شد که مایکوریزا *F. mosseae*، برخلاف گونه *R. intraradices*، قادر به ایجاد تفاوت معنی‌داری در محتوای نیتروژن گیاه *A. elongatum* نیست. این نتیجه می‌تواند به دلیل تفاوت بین گونه‌ای در دو قارچ مورد بررسی باشد و همراه با ویژگی‌های دیگری مانند کارآیی بالاتر در جذب فسفر، افزایش معنی‌دار رنگدانه‌های فتوسنتزی و فنول کل که در نهایت این تفاوت‌ها منجر به افزایش معنی-دار طول ساقه، وزن تر و خشک گیاه شده است، نشان از توانایی بالاتر گونه *R. intraradices* برای همزیستی با *A. elongatum* دارد. بنابراین برای احیا و اصلاح مراتع با پوشش غالب *A. elongatum* بهتر است از این گونه مایکوریزا استفاده شود.

References

1. Abbasi, H., A. Akhtar & R. Sharf, 2015. Vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi: A tool for sustainable agriculture. American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology, 5: 40-49.
2. Adolfsson, L., K. Solymosi, M. X. Andersson, A. Keresztes, J. Uddling, & B. Schoefs, 2015. Mycorrhiza symbiosis increases the surface for sunlight capture in *Medicago truncatula* for better photosynthetic production. PLoS ONE, 10(1): e0115314.
3. Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23: 112-121.
4. Azarnia, M., S. Safikhani & A. Biabani, 2015. The effect of bio-fertilizer on crops yield, sustainable agriculture and organic farming. Journal of Biosafety, 8(2): 85-97. (In Persian)
5. Azimi, R., M. Jankju & H.R. Asghari, 2015. Effect of mycorrhiza inoculation on seedlings establishment and morphological parameters of *Bromus kopetdaghensis* under field conditions. Journal of Range and Watershed Management, 67 (4): 559-570. (In Persian)
6. Bodker, L., R. Kjoller, K. Kristensen & S. Rosendahl, 2002. Interactions between indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and *Aphanomyces euteiches* in field-grown pea. Mycorrhiza, 12: 7–12.
7. Bonfante, P. & A. Genre, 2010. Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. Nat. Communications, 1: 48.
8. Bremner, J.M. & C.S. Mulvancy, 1982. Nitrogen Total pp. 595-624. In: A., Klute (Ed), Methods of soil Analysis-part 2, Agron. Monogr. No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
9. Bucking, H. & A. Kafle, 2015. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in the nitrogen uptake of plants: current knowledge and research gaps. Agronomy, 5: 587-612.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]

10. Chen, F., Z. Luo, Z. Zhang, G. Xia & H. Min, 2007. Variation and potential value in wheat breeding of low-molecular-weight glutenin subunit genes cloned by genomic and RT-PCR in a derivative of somatic introgression between common wheat and *Agropyron elongatum*. Molecular Breeding, 20: 141–152.
11. Ganugi, P., A. Masoni, G. Pietramellara & S.A. Benedettelli, 2019. Review of studies from the last twenty years on plant–arbuscular mycorrhizal fungi associations and their uses for wheat crops. Agronomy, 9: 840-854.
12. George, E., H. Marschner & I. Jakobsen, 1995. Role of arbuscular-mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. Crit. Rev. Biotechnol., 15:257–270.
13. Hajiboland, R., N. Aliasgharzad & R. Barzeghar, 2009. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on uptake of Zn and P by two contrasting rice genotypes. Plant Soil Environment, 55 (3): 93-100.
14. Haro, R. & B. Benito, 2019. The role of soil fungi in K+ plant nutrition. International Journal of Molecular Sciences, 28 (13): 3169.
15. Hawkins, H.J. & E. George, 1999. Effect of plant nitrogen status on the contribution of arbuscular mycorrhizal hyphae to plant nitrogen uptake. Physiologia Plantarum, 105 (4): 694-700.
16. Hughes, J.K., A. Hodge, A.H. Fitter & O.K Atkin, 2008. Mycorrhizal respiration: implications for global scaling relationships. Trends Plant Sci., 13(11): 583–588.
17. Jin, H., P.E. Pfeffer, D.D. Douds, E. PiotrowskiI, P.J. Lammers & Y. Shachar-Hill, 2005. The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. New Phytologist, 168 (3): 687-696.
18. Kamali, N., A. Sadeghipour & M. Souri, 2017. Investigating the toxicity effects of nano Fe_3O_4 on germination and early growth of *Agropyron desertorum* and *Agropyron elongatum*. Rangeland, 11(3):321-330.
19. Kaschuk, G., T.W. Kuyper, P.A. Leffelaar, M. Hungria & K.E. Giller, 2009. Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses? Soil Biol. Biochem., 41(6): 1233–1244.
20. Khaksarzadeh, V., M. Jankjuo & A. Lakziyan, 2016. Effects of livestock grazing and canopy of rangeland shrubs on the symbiosis between mycorrhiza and *Bromus kopetdaghensis*. Journal of Rangeland, 9 (4): 344-352.
21. Knudsen, D., G.A. Peterson & P.E. Pratt, 1982. Lithium, sodium and potassium. pp. 225-246. In: A. L. page (Ed.), Methods of Soil Analysis-Part 2, Agron. Monogr. No 9, American Society of Agronomy, Madison, WI.
22. Koda, A.D., G. Dagbenonbakin, F. Assogba, P.A. Noumavo, N.A. Agbodjato, S. Asogba, R.M. Aguegue, A. Adjanohoun, R. Rivera, B.M. de la Novalpons & L. Baba-Moussa, 2018. *Zea mays* response to mycorrhizal fertilization on ferruginous soil of northern Benin. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 6: 919-928.
23. Lopez-Raez, J.A., V. Flors, J.M. Garcia, & M.J. Pozo, 2010. AM symbiosis alters phenolic acid content in tomato roots. Plant Signal. Behav., 5: 1138–1140.
24. Luo, W., J. Li, X. Ma, H. Niu, S. Hou & F. Wu, 2019. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on uptake of selenate, selenite, and selenomethionine by roots of winter wheat. Plant and Soil, 438: 71–83.
25. Maltz, M.R. & K. Treseder, 2015. Sources of inocula influence mycorrhizal colonization of plants in restoration projects: A meta-analysis. Restoration Ecology, 23(5): 625–634.
26. Mensah, J.A., A.M. Koch, P.M. Antunes, E.T. Kiers, M. Hart & H. Bucking, 2015. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi is associated with differences in phosphate and nitrogen uptake and fungal phosphate metabolism. Mycorrhiza, 25: 533-546.
27. Moradi, A., F. Sharifzadeh, R. Tavakol-Afshari & R. Maali-Amiri, 2010. Seed priming effects on germination and seedling growth of tall wheat grass (*Agropyron elongatum*) under control and drought stress conditions. Rangeland, 4(3): 462-473. (In Persian)
28. Moradi, A., F. Sharifzadeh, R. Tavakol-Afshari & R. Maali-Amiri, 2013. Seed proteome analysis of tall wheatgrass under drought and low temperature conditions. Iranian Journal of Field Crop Science, 44(3): 379-397. (In Persian)
29. Olsen, S.R. & L.E. Sommers, 1982. Phosphorus. pp. 403-430. In: A., Klute (Ed), Methods of soil Analysis-part 2, Agron. Monogr. No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
30. Pozo, M.J., S.C. Jung, J.A. Lopez-Raez & C. Azcón-Aguilar, 2010. Impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on plant response to biotic stress: The role of plant defense mechanisms. pp. 193–207. In: H. Koltai and Y. Kapulnik (eds.), Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Springer, Netherlands, Dordrecht.
31. Romero-Munar, A., N.F. Del-Saz, M. Ribas-Carbó, J. Flexas, E. Baraza, & I. Florez-Sarasa, 2017. Arbuscular mycorrhizal symbiosis with *Arundo donax* decreases root respiration and increases both photosynthesis and plant biomass accumulation. Plant Cell Environ., 40 (7): 1115–1126.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]

32. Sanders, I.R. & D. Croll, 2010. Arbuscular mycorrhiza: The challenge to understand the genetics of the fungal partner. Annual Review of Genetics, 44(1): 271-292.
33. Schlussler, A., D. Schwarzott & C.A. Walker, 2001. New fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. Mycological Research, 105: 1413-1421.
34. Sheng, M., M. Tang, H. Chen, B. Yang, F. Zhang & Y. Huang, 2008. Influence of arbuscular mycorrhiza on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. Mycorrhiza, 18 (7): 287-296.
35. Singleton, V.L., & A. Rossi, 1965. Colorimetry of total phenolics with phospho-molybdic-phospho-tungustic acid reagent. American Journal of Enology and Viticulture, 16 (3): 144-158.
36. Smith, S.E. & D.J. Read, 2008. Mycorrhizal Symbiosis, 3rd Edition. Academic Press, London. 800 p.
37. Song, Y.Y., M. Cao, L.J. Xie, X.T. Liang, R.S. Zeng, Y.J. Su, J.H. Huang, R.L. Wang & S.M. Luo, 2011. Induction of DIMBOA accumulation and systemic defense responses as a mechanism of enhanced resistance of mycorrhizal corn (*Zea mays*) to sheath blight. Mycorrhiza, 21: 721–731.
38. Souza, T., 2015. Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Springer, Switzerland. 153 p.
39. Suri, V.K., A.K. Choudhary, G. Chander & T.S. Verma, 2011. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and applied phosphorus on root colonization in wheat and plant nutrient dynamics in a phosphorus-deficient acid alfisol of western Himalayas. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42 (10): 1177-1186.
40. Van der Ent, S., S.M. Van Wees, C.J. Pieterse, 2009. Jasmonate signaling in plant interactions with resistance-inducing beneficial microbes. Phytochemistry, 70: 1581–1588.
41. Vance, C.P., C. Uhde-Stone & D.L. Allan, 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytologist, 157: 423-447.
42. Wellburn, A.R. & H. Lichtenthaler, 1984. Formulae and program to determine total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Advance Photosynthesis Research, 11: 9-12.
43. Yirdaw, E., M. Tigabu & A. Monge, 2017. Rehabilitation of degraded dryland ecosystems – review. Silva Fennica, 51 (1): 1673-1705.
44. Zare, M., A. Siroosmehr & S. Abdkhani, 2015. Effects of mycorrhizal fungi on morphological and physiological parameters of Sorghum (*Sorghum bicolor*) under chrome stress. Rangeland, 9(2): 159-169. (In Persian)
45. Zhang, F., M. Liu, Y. Li, Y. Che & Y. Xiao, 2019. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, biochar and cadmium on the yield and element uptake of *Medicago sativa*. Science of the Total Environment, 655: 1150–1158.
46. Zhang, T., Y. Hu, K. Zhang, C. Tian & J. Guo, 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. Industrial Crops and Products, 117: 13-19.
47. Zhang, T., Y. Sun, Z. Shi & G. Feng, 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi can accelerate the restoration of degraded spring grassland in central Asia. Rangeland Ecology and Management, 65:426–432.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.13.7]