

Changes in growth and nutrient concentrations of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in response to inoculation of different species of mycorrhizal fungi

Shakila Ghoroori¹, Mohammad Moghaddam^{2*}, Nasrin Farhadi³

1- MSc Student, Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(shakila.ghoroori@gmail.com)

2- Corresponding Author, Associate Prof., Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(m.moghaddam@um.ac.ir)

3- PhD., Department of Horticultural Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(nasrin.farhadi88@gmail.com)

Received Date: 24/06/2022

Accepted Date: 04/10/2022

Abstract

Introduction: The use of bio-fertilizers along with the rational use of chemical fertilizers can be a good solution to reduce environmental pollution. Bio-fertilizers include microorganisms such as bacteria, fungi, cyanobacteria, etc., which improve the structure and quality of the soil and strengthen the soil in terms of nutrients. Mycorrhizal arbuscular fungi are present in many soils and coexist with the roots of most plant species (Wang et al. 2021). Due to the high importance of fenugreek in food and pharmaceutical industries and the need to reduce environmental pollution caused by the improper use of chemical fertilizers, in this study the effect of inoculation of ten species of mycorrhiza fungi of different genera on growth and some biochemical characteristics of fenugreek were investigated.

Material and methods: A pot experiment was conducted to investigate the inoculation effect of different species of mycorrhizal fungi on the growth and nutrient elements of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) based on a completely randomized design with three replications in the research greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad during 2020-2021. The treatments were included 10 species of mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum*, *Glomus claroideum*, *Glomus calledonium*, *Glomus interaradices*, *Glomus fasciculatum*, *Acaulospora langula*, *Scutellospora castanea*, *Glomus versiforme*, *Gigaspora margarit* and non-inoculation (control). The studied traits were morphological traits (plant height, number of branches, number of nodes, internode length, leaf length and width, fresh and dry weight of plant aerial parts, root length, fresh and dry weight of roots) and the content of macro and micro elements (N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, B, Cu, Zn).

Results and discussion: The results of analysis variance showed that the effect of mycorrhizal fungi on growth and the content of nutrient elements was significant at the level of 1% probability. Mycorrhiza inoculation significantly increased the height of fenugreek plants. The lowest plant height was observed in the un-treated plants and the highest plant height was related to plants inoculated with *R. castanea*. The highest leaf length and width was recorded in plants inoculated with *R. intraradices*, which were 7.06 and 31.63% higher than the control, respectively. The results showed that the highest fresh weight of plant aerial part was obtained in the inoculated plants with *R. castanea*, which was 111.66% (more than twice) higher than the un-inoculated plants. However, *F. mosseae* caused a decrease (30.88%) of fresh weight compared to the control treatment. The highest plant dry weight belonged to plants inoculated with *R. castanea*, *A. langula* and *D. versiformis* which were 133.58% higher than the un-inoculated plants. The lowest plant dry weight was obtained in the control treatment which was not significantly differed from the treatment of *C. etunicatum*. Comparison of the mean data showed that inoculation with mycorrhiza fungi effectively increased the root growth of fenugreek. Although inoculation of fenugreek with mycorrhiza fungi had a significant effect on improving the nutrient uptake, but the plant response varied depending on the studied fungus species and in some species reduction in nutrient contents was recorded. Literature survey showed that the inoculation with appropriate species of mycorrhizal fungi can effectively increase the growth and biomass of fenugreek by improving the plant physiological traits and absorption of nutrient elements (Latef and Chaoping, 2011; Baghbani arani et al., 2017).

Conclusions: According to the obtained results, the response of fenugreek to inoculation was depended on the mycorrhizal fungi species therefore determining suitable species of fungi is necessary to improve the growth and yield of this plant. Generally, inoculation of fenugreek with *C. claroideum*, *R. castanea* and *R. intraradices* can be suggested as a suitable alternative to chemical fertilizers to increase the yield of fenugreek under greenhouse and field condition.

Keywords: Biomass, Symbiosis, Nutrient elements, Root growth.

تغییر در رشد و غلظت عناصر غذایی گیاه سنبليله (*Trigonella foenum-graecum*) L. در واکنش به تلقیح گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا

شکیلا غروری^۱، محمد مقدم^{۲*}، نسرين فرهادی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(shakila.ghoroori@gmail.com)

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(m.moghadam@um.ac.ir)

۳- دکتری گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(nasrin.farhadi88@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳

چکیده

به منظور بررسی و مقایسه تأثیر ۱۰ گونه قارچ میکوریزا متعلق به هفت جنس مختلف (*Rhizophagus Racocetra*، *Gigaspora*، *Acaulospora*، *Diversispora*، *Funneliformis*، *Claroideoglomus*، *Funneliformis*، *Diversispora*، *Gigaspora*، *Acaulospora*، *Funneliformis*، *Claroideoglomus*) بر زیست توده و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه سنبليله، پژوهشی گلدانی بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در پژوهش حاضر تغییرات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره، طول میانگره، طول و عرض برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، محتوای نسبی آب برگ و غلظت عناصر غذایی پرمصرف (N, P, K, Mg, Ca) و کم مصرف (Fe, Mn, Zn, Cu, B) در گیاه سنبليله در واکنش به تلقیح میکوریزایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر قارچ‌های میکوریزا بر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. تلقیح با گونه‌های مناسب قارچ میکوریزا به‌طور کارآمد از طریق بهبود محتوای نسبی آب برگ و جذب عناصر غذایی منجر به افزایش رشد و بهبود خصوصیات رشدی از جمله زیست‌توده گیاه سنبليله گردید. گیاهان تلقیح شده با قارچ *Racocetra castanea* بیشترین عملکرد را از نظر وزن تر و خشک داشتند و بیشترین مقدار عناصر غذایی در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های *Rhizophagus intraradices* و *C. claroideum* حاصل گردید. براساس یافته‌های حاصل، واکنش گیاه سنبليله به تلقیح با گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا متفاوت بوده و تعیین گونه مناسب قارچ جهت بهبود رشد و عملکرد این گیاه ضروری می‌باشد. طبق نتایج این مطالعه تلقیح گیاه سنبليله با قارچ‌های *R. intraradices*، *R. castanea*، *C. claroideum* می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسب کودهای شیمیایی جهت افزایش عملکرد این گیاه در سطح گلخانه و مزرعه پیشنهاد گردد.

کلمات کلیدی: زیست‌توده، همزیستی، عناصر غذایی، رشد ریشه.

مقدمه

شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گیاه دولپه‌ای و یکساله متعلق به خانواده لگومینوز (Leguminosae)، بومی جنوب اروپا، آسیا و منطقه مدیترانه است (Sarwar et al., 2020). شنبلیله دارای شاخه های نازک و برگ‌هایی شبیه برگ‌های شبدر و دارای سه برگچه می‌باشد. این گیاه دارای یک ساقه اصلی و تعدادی شاخه با برگ‌های بدون دم‌برگ است که به ساقه متصل بوده و ارتفاع آن به ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر می‌رسد و ریشه‌ی آن تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متر در خاک نفوذ می‌کند (Siavash moghadam et al., 2017). از اثرات درمانی این گیاه می‌توان به ضد درد، ضد التهاب، ضد سرطان، کاهش دهنده کلسترول خون و کنترل کننده بیماری دیابت اشاره کرد (Mandegary et al., 2012).

استفاده از کودهای زیستی در کنار مصرف سنجیده و علمی کودهای شیمیایی می‌تواند راه‌حل مناسبی برای کاهش آلودگی‌های محیط زیست باشد (Asadirahmani et al., 2012). کودهای زیستی شامل ریزجاندارانی از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها، سیانوباکتری‌ها و غیره می‌باشند که ساختار و کیفیت خاک را بهبود می‌بخشند و خاک را از نظر مواد مغذی تقویت می‌نمایند. قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در بسیاری از خاک‌ها وجود دارند و با ریشه اکثر گونه‌های گیاهی رابطه همزیستی برقرار می‌کنند. همزیستی قارچ‌ها با گیاهان شناخته‌شده‌ترین، گسترده‌ترین و مهم‌ترین روابط همزیستی در کره زمین است که با افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب عناصر معدنی از خاک و منابع غیرقابل دسترس گیاه، باعث بهبود عملکرد و کیفیت گیاه می‌شود (Zand et al., 2014). در حال حاضر استفاده از قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا به‌عنوان کودهای زیستی، کاربرد فراوانی در سیستم‌های کشاورزی پایدار برای افزایش کمیت و کیفیت محصولات زراعی و باغی دارند (Wang et al., 2021).

قارچ‌های میکوریزا علاوه بر رشد و نمو، در افزایش

مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. این قارچ‌ها دارای هیف‌های گسترده‌ای هستند که در شرایط کم‌آبی یا شوری می‌توانند با افزایش سطح جذب و سرعت جذب ریشه، رشد گیاهان را بهبود بخشند (Afkari, 2018). نتایج بررسی محققین نشان می‌دهد همزیستی گیاه و قارچ‌های میکوریزا، راهکار مفید برای افزایش مواد آلی خاک، تقویت جمعیت میکروبی خاک و افزایش کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌خصوص آب آبیاری می‌باشد (Aghhavan shajari et al., 2015; Hussain et al., 2021). تأثیر قارچ‌های میکوریزا بر تنوع زیستی گیاه به قدرت همزیستی بین گیاه و قارچ، پاسخ رشدی گیاه به تلقیح میکوریزا و میزان انتقال مواد مغذی از قارچ به گیاه میزبان بستگی دارد (Jiang et al., 2017).

بر اساس گزارش Rahimi و همکاران (۲۰۱۹) تلقیح با قارچ میکوریزا با تنظیم سیستم‌های آنتی‌اکسیدان موجب بهبود رشد گیاه شنبلیله شد. افزایش رشد و زیست توده گیاه شنبلیله تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا توسط Bijani و همکاران (۲۰۱۵) و Irankhah و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش شده است. یافته‌های Azimi و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار زیست‌توده در گیاه آویشن باغی نیز شد. در حال حاضر با افزایش جمعیت جهان و لزوم تأمین منابع غذایی سالم برای این جمعیت رو به رشد، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی و جایگزینی آن‌ها با کودهای زیستی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. باتوجه به اهمیت بالای گیاه شنبلیله در صنایع غذایی و دارویی در این پژوهش اثر تلقیح ۱۰ گونه قارچ میکوریزا مربوط به جنس‌های مختلف بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌فرعی، تعداد گره، طول میانگره، طول و عرض برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه شنبلیله مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی و مقایسه اثر تلقیح ۱۰ گونه قارچ آربوسکولار مایکوریزا بر زیست توده کل و جذب عناصر غذایی گیاه شنبلیله در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. ۱۰ گونه قارچ مورد مطالعه متعلق به ۷ جنس:

Racocetra
Rhizophagus
Claroideoglomus
Funneliformis
Diversispora
Acaulospora
Gigaspora

بود. تیمارهای این آزمایش شامل تلقیح گیاه شنبلیله با گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا:

Racocetra castanea
Rhizophagus intraradices
Claroideoglomus etunicatum
Claroideoglomus claroideum
Funneliformis mosseae
Rhizophagus fasciculatus
Diversispora versiformis
Funneliformis caledonium
Acaulospora longula
Gigaspora margarita

و تیمار شاهد (خاک غیراستریل) بود. از آنجایی که هدف از این مطالعه بررسی تأثیر و مقایسه مایه‌زنی گونه‌های مختلف قارچ‌های مایکوریزا در شرایط طبیعی بود، جهت مشابهت‌سازی با شرایط مزرعه بستر کشت مورد استفاده استریل نشد. براساس بررسی‌های انجام شده بیشترین میکروارگانیسم‌های موجود در خاک مورد استفاده باکتری‌های ریزوبیوم و حل کننده فسفات بود. مایه تلقیح قارچ‌های مایکوریزا که به‌طور میانگین ۸۵ تا ۱۰۰ اسپور در هر گرم مایه تلقیح بود از شرکت زیست‌فناور توران مایکوپرسیکا در شاهرود تهیه شد. مایه تلقیح مایکوریزا قبل از کاشت بذرها با کل بستر کشت که حاوی ۱۰ کیلوگرم خاک بود به‌صورت یکنواخت مخلوط گردید. در تمام ده گونه قارچ مایکوریزای مورد مطالعه در این پژوهش مقدار

مصرف هر گونه قارچ مایکوریزا در تیمارهای آزمایشی براساس توصیه شرکت ۳۰۰ گرم برای هرگلدان با قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر بود. گلدان‌ها با نسبت حجمی ۱:۱:۱ از ماسه، خاک باغچه و خاک‌برگ پر گردید. پس از تهیه مخلوط خاکی، بذره‌های گیاه شنبلیله که توده بومی مشهد بوده و در منطقه مورد مطالعه کشت و کار می‌گردد، با هیپوکلریت سدیم ۳ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر فراوان آبشویی شدند. بذور در ۵ فروردین ۱۴۰۰ در گلدان‌ها کشت و گیاهان تا مرحله تولید بذر (خرداد ۱۴۰۰) نگهداری شدند.

ارزیابی خصوصیات رشدی و عملکردی

به‌منظور بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر خصوصیات رشدی و عملکردی شنبلیله صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره، طول میانگره، طول و عرض برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین این پارامترها میانگین ۳ بوته برای هر تکرار ثبت شد. اندازه‌گیری صفات در مرحله تشکیل غلاف (۹۰ روز پس از کاشت بذر) انجام گردید. جهت اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، فاصله میانگره‌ها، طول و عرض برگ و طول ریشه از خط‌کش استفاده شد. جهت تعیین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه از ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. اندام هوایی و ریشه بلافاصله بعد از برداشت وزن و برای تعیین وزن خشک، در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار داده و سپس توزین شدند.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

برای تعیین وضعیت آب گیاه، محتوای نسبی آب برگ (RWC) اندازه‌گیری شد. ابتدا نمونه‌های برگ را تهیه نموده و سپس وزن تر آن‌ها (FW) اندازه‌گیری و در مرحله بعد روی شیکر به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت وزن آماس (TW) نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس یک عاملی (One way ANOVA) با استفاده از Minitab 18 برای آنالیز داده‌های جمع‌آوری شده استفاده شد. مقایسه میانگین صفات نیز با آزمون چنددامنه‌ای Bonferoni در سطح احتمال ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

ارزیابی خصوصیات رشدی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق که شامل ۱۰ گونه قارچ میکوریزا بود بر کلیه صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه در گیاه شنبلیله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تلقیح میکوریزا به‌طور معنی‌داری ارتفاع بوته‌های شنبلیله را افزایش داد. کمترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد دیده شد و بیشترین ارتفاع بوته مربوط به گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *R. castanea* بود که ۳۷/۳۶ درصد بیشتر از گیاهان شاهد بود (جدول ۲).

بیشترین تعداد شاخه‌فرعی در گیاهان تلقیح‌شده با *F. mosseae* حاصل شد که با تیمار قارچ‌های *C. etunicatum* و *claroideum* تفاوت معنی‌داری نداشت، به‌طوری‌که تعداد شاخه‌فرعی در این تیمارها نسبت به شاهد ۳۶/۳۵ درصد افزایش داشت (جدول ۲). بیشترین فاصله میانگره در تلقیح با قارچ *R. castanea* حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۴۶/۸۵ درصد افزایش داشت، در مقابل کمترین طول میانگره در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *F. mosseae* مشاهده شد که با شاهد و قارچ‌های *R. intraradicese* و *claroideum* تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). براساس نتایج به‌دست آمده بیشترین تعداد گره مربوط به تلقیح گیاهان با قارچ *G. claroideum* بود که نسبت به تیمار شاهد ۲۹/۸۹ درصد افزایش داشت (جدول ۲).

به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شد (Sánchez-Moreno et al., 1998). درصد محتوای نسبی آب برگ از فرمول زیر تعیین گردید:

$$RWC\% = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100$$

اندازه‌گیری غلظت عناصر در برگ شنبلیله

نیتروژن

جهت اندازه‌گیری میزان نیتروژن، ۰/۳ گرم از نمونه خشک آسیاب شده گیاه در لوله هضم ریخته شد. سپس ۱/۱ گرم کاتالیزور همراه با ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به آن افزوده شد و مخلوط حاصل در لوله آزمایش به مدت ۲ ساعت روی دستگاه هضم قرار گرفت. بعد از سردشدن محتویات لوله، مقدار ۲۰ میلی‌لیتر سود ۱۰ نرمال و ۳۰ میلی‌لیتر محلول اسید بوریک اضافه شد و سپس با اسیدسولفوریک ۰/۰۰۵ نرمال عمل تیتراسیون صورت گرفت. براساس میلی‌لیتر اسیدسولفوریک مصرف شده، میزان نیتروژن به صورت درصد نیتروژن موجود در نمونه با ماکروکجدال اندازه‌گیری شد (Emami, 1996).

پتاسیم، فسفر، منیزیم، کلسیم، آهن، روی، منگنز، مس، بور

بعد از کالبره نمودن دستگاه توسط استانداردهای مورد نیاز، مقدار عناصر پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، کلسیم، روی، منگنز، مس و بور با دستگاه ICP (مدل ICP-OES) اندازه‌گیری شد. به این منظور ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ به ۰/۱۲۵ گرم از بافت خشک برگ اضافه گردید. سپس به مدت ۲۴ ساعت در زیر هود قرار داده تا هضم اسیدی صورت گیرد و در زیر هود حرارت داده شده تا بخارات اسیدی از آن خارج شود. در نهایت، حجم محلول با آب مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و از کاغذ صافی عبور داده شد. از محلول شفاف رویی جهت اندازه‌گیری مقدار عناصر مذکور در دستگاه ICP استفاده گردید (Asadi karam et al., 2016).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر قارچ‌های میکوریزا بر ویژگی‌های رشدی گیاه شنبلیله

Table 1- Analysis of variance effect of mycorrhiza fungi on growth characteristic of fenugreek

S.O.V	df	MS											
		Plant height	Branch number	Internode length	No. nodes	Leaf length	Leaf width	Fresh weight of aerial parts	Dry weight of aerial parts	Root length	Fresh weight of roots	Dry weight of roots	Relative water content
Mycorrhiza	10	29.1934**	0.67652**	0.58838**	3.3023**	0.06338**	0.11927**	10.8100**	1.38971**	11.1691**	0.009782**	0.001016**	438.84**
Error	22	0.1129	0.04545	0.08408	0.2341	0.01135	0.01410	0.0285	0.00125	0.0313	0.000152	0.000167	46.48
CV (%)	-	8.24	4.21	10.32	6.36	10.32	14.32	9.36	12.32	8.32	12.32	8.07	9.11

معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد**

**Significance at the 1% probability level

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر قارچ‌های میکوریزا بر خصوصیات رشدی گیاه شنبلیله

Table 2- Mean comparisons of mycorrhiza fungi effect on growth characteristics of fenugreek

Mycorrhiza fungi	Plant height (cm)	Branch number	Internode length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight of aerial parts (g)	Dry weight of aerial parts (g)	Number of nodes	Root length (cm)	Fresh weight of roots (cm)	Dry weight of roots (cm)	Relative water content (%)
Control	26.57 ⁱ	2.75 ^c	2.71 ^c	3.11 ^{abc}	1.58 ^{bc}	4.38 ^f	1.33 ^g	9.33 ^{cd}	13.5 ^{cd}	0.22 ^{bc}	0.05 ^b	30.66 ^d
<i>F. mosseae</i>	30.16 ^{ef}	3.75 ^a	2.58 ^c	2.96 ^{bc}	1.50 ^{bc}	3.02 ^g	1.462 ^f	9.42 ^{cd}	11.5 ^f	0.14 ^c	0.04 ^b	67.67 ^{ab}
<i>C. etunicatum</i>	26.92 ⁱ	3.17 ^{abc}	3.11 ^{abc}	3.23 ^{ab}	1.50 ^{bc}	4.57 ^f	1.35 ^g	11.11 ^{ab}	14.25 ^{ab}	0.23 ^{bc}	0.05 ^b	50.40 ^{bcd}
<i>C. claroideum</i>	34.57 ^b	3.50 ^{ab}	2.88 ^c	2.87 ^c	1.43 ^{bc}	6.52 ^d	2.01 ^e	12.12 ^a	13.75 ^{bc}	0.24 ^{bc}	0.06 ^b	60.60 ^{abc}
<i>F. caledonum</i>	29.75 ^{fg}	2.66 ^{cd}	2.99 ^{bc}	3.04 ^{abc}	1.61 ^{bc}	7.16 ^c	1.97 ^e	10.36 ^{bc}	8.62 ^h	0.21 ^{cd}	0.06 ^b	52.32 ^{bc}
<i>R. intraradicese</i>	28.32 ^h	2.50 ^{cd}	2.72 ^c	3.33 ^a	2.08 ^a	8.26 ^b	2.48 ^c	9.84 ^{bcd}	13.12 ^{de}	0.16 ^{de}	0.07 ^{ab}	55.74 ^{abc}
<i>R. fasciculatum</i>	28.90 ^{gh}	2.00 ^d	3.11 ^{abc}	3.15 ^{abc}	1.39 ^c	5.69 ^e	2.66 ^b	8.66 ^d	12.75 ^e	0.21 ^c	0.07 ^{ab}	40.69 ^{cd}
<i>A. langula</i>	31.17 ^{de}	2.75 ^c	3.22 ^{abc}	3.27 ^{ab}	1.43 ^{bc}	8.39 ^b	3.05 ^a	9.33 ^{cd}	14.37 ^a	0.27 ^b	0.11 ^a	57.26 ^{abc}
<i>R. castanea</i>	36.50 ^a	3.00 ^{bc}	3.98 ^a	2.95 ^{bc}	1.45 ^{bc}	9.25 ^a	3.08 ^a	10.77 ^{abc}	11.25 ^f	0.30 ^a	0.09 ^{ab}	58.70 ^{abc}
<i>D. versiformis</i>	33.03 ^c	2.75 ^c	3.83 ^{ab}	3.16 ^{abc}	1.65 ^{bc}	6.75 ^{cd}	3.034 ^a	11.15 ^{ab}	11.25 ^f	0.30 ^a	0.08 ^{ab}	75.20 ^a
<i>G. margarita</i>	32.00 ^{cd}	2.83 ^{bc}	3.16 ^{abc}	3.245 ^{ab}	1.76 ^{ab}	5.62 ^e	2.34 ^d	10.90 ^{ab}	9.37 ^g	0.13 ^c	0.07 ^{ab}	59.40 ^{abc}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان بر اساس آزمون بونفرونی اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

In each column, numbers with at least one similar letter based on the Bonferoni test do not differ significantly at the 1% probability level

versiform حاصل شد که ۱۴۵/۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت شد که تفات معنی داری با تیمار *G. mosseae* نداشت. کمترین مقدار این صفت در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۲).

عناصر غذایی برگ

با توجه به نتایج جدول آنالیز واریانس داده‌ها اثر گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا بر جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز، مس و بور در برگ گیاه شنبلیله در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). براساس نتایج تمامی قارچ‌های مورد استفاده میزان نیتروژن را نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین میزان نیتروژن در گیاهان تیمار شده با قارچ *R. intraradices* (۳/۸۹ درصد) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد (۲/۴۴ درصد) ۵۹/۴۲ درصد بیشتر بود (جدول ۴). بیشترین میزان جذب فسفر در برگ شنبلیله در تیمارهای *D. versiformis* و *C. clarioideum* ثبت گردید که میزان فسفر در این تیمارها ۱۶/۲۳ و ۱۴/۹۳ بیشتر از شاهد بود (جدول ۴). کاربرد مایکوریزا میزان پتاسیم برگ را نیز در گیاه شنبلیله تحت تأثیر قرار داد به طوری که بیشترین میزان پتاسیم در برگ شنبلیله در تلقیح گیاهان با قارچ‌های *R. fasciculatum*، *F. mosseae* و *C. clarioideum* بوده که به ترتیب با افزایش ۲/۰۳، ۱/۳۲ و ۰/۴۴ درصد میزان پتاسیم نسبت به شاهد همراه بودند (جدول ۴). بیشترین میزان جذب منیزیم در گیاه شنبلیله در تلقیح گیاهان با قارچ *F. mosseae* بوده که نسبت به تیمار شاهد ۱۱/۳۹ درصد بیشتر بود (جدول ۴). میزان کلسیم در گیاهان تیمار شده با قارچ *R. castanea*، ۲۰/۱۹ درصد بیشتر از شاهد بود که نشان دهنده تأثیر این قارچ بر جذب عناصر غذایی گیاه میزبان است (جدول ۴). بیشترین میزان عنصر آهن در تیمار با قارچ *D. versiformis* حاصل شد. مقدار آهن به جز دو گونه قارچ *R. castanea* و *A. langula* در تمامی گونه‌های دیگر نسبت به شاهد افزایش داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد

بیشترین طول و عرض برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ *R. intraradices* ثبت شد که نسبت به شاهد به ترتیب ۷/۰۶ و ۳۱/۶۳ درصد بیشتر بود (جدول ۲). نتایج حاکی از آن بود که بیشترین وزن تر اندام هوایی مربوط به گیاهان تلقیح شده با قارچ *R. castanea* بود که ۱۱۱/۶۶ درصد (بیش از دو برابر) نسبت به شاهد بیشتر بود. در صورتی که قارچ *F. mosseae* موجب کاهش ۳۰/۸۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های *R. castanea*، *A. langula* و *D. versiformis* بود که ۱۳۳/۵۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشتند. کمترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار شاهد حاصل شد که تفاوت معنی داری با تیمار قارچ *C. etunicatum* نداشت (جدول ۲).

مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر آن بود که تلقیح با قارچ‌های مایکوریزا به طور مؤثری طول ریشه گیاه شنبلیله را افزایش داده است. بیشترین طول ریشه در تلقیح با قارچ *A. langula* مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۶/۴۳ درصد افزایش داشت (جدول ۲). بیشترین وزن تر ریشه مربوط به تیمار گیاهان با قارچ‌های *R. castanea* و *D. versiform* با افزایش ۳۶/۳۵ درصد وزن تر ریشه نسبت به شاهد بودند. کمترین وزن تر ریشه در تیمار با قارچ‌های *G. margarita* و *F. mosseae* ثبت شد که ۴۰/۹۱ و ۳۶/۳۵ درصد کمتر از شاهد بود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار گیاهان با قارچ *A. langula* با افزایش ۱۲۰ درصد وزن تر ریشه نسبت به شاهد بود و در مقابل کمترین وزن خشک ریشه در گیاهان تیمار شده با قارچ *F. mosseae* ثبت گردید (جدول ۲).

محتوای نسبی آب برگ

تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده اثر معنی دار تلقیح با قارچ‌های مایکوریزا بر محتوای نسبی آب برگ در گیاه شنبلیله بود (جدول ۱). بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۵/۲۰ درصد) در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G.*

رویشی گیاه بالا می‌رود (Nadeem et al., 2014; Zolfaghari et al., 2014; Mbusango et al., 2019). در واقع طی همزیستی با مایکوریزا حدود ۸۰ درصد از نیتروژن و فسفر میزبان فراهم می‌شود و این نشان‌دهنده این است که این قارچ‌ها یک جزء ضروری در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی هستند و عاملی مهم در بهبود جذب و رشد مواد مغذی گیاه میزبان می‌باشند (Van der heijden et al., 2015; Zang et al., 2020). البته این همزیستی براساس ریشه میزبان و ویژگی‌های مورفولوژیک قارچ همزیست متفاوت بوده و بر میزان جذب عناصر تأثیرگذار است (Aghababiyi et al., 2011). در میان مواد مغذی، نیتروژن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار بوده زیرا در ساختار برخی از ترکیبات ماکرو و میکرو آلی گیاهی شامل کلروفیل، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه وجود دارد. در نتیجه عاملی تأثیرگذار در عملکرد گیاه بوده و میزان جذب آن در اثر تلقیح با قارچ‌های مایکوریزا افزایش می‌یابد و در نهایت رشد گیاه را باعث می‌شود که در تولید محصول، بیش از سایر عناصر غذایی مورد نیاز است (Latef and Chaoxing, 2017; Baghbani arani et al., 2011). تأثیر کاربرد قارچ مایکوریزا در گیاه کاسنی، تنباکو، آویشن باغی و همیشه-بهار نشان داد که صفات رشدی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌فرعی، شاخه گل‌دهنده و وزن خشک گل، تعداد شاخ و برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ و وزن خشک ساقه، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه و جذب عناصر معدنی در اثر همزیستی بهبود یافته است. زیرا مایکوریزا با بیشتر در دسترس قرار دادن میزان فسفر، منگنز و آهن در اندام هوایی میزبان باعث بهبود رشد آن می‌شود (Yazdan panah gohari et al., 2012; Dolatabadi et al., 2019; Kheyri et al., 2020; Mesbah et al., 2021).

که بیشترین میزان روی در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *clarideum* حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۷۶/۰۵ درصد افزایش داشت و به جز گونه فوق، سایر گونه‌ها میزان روی را نسبت به شاهد کاهش دادند (جدول ۴). در تمامی گونه‌های تلقیح‌شده با شنبلیله به جز *G. margarita* میزان منگنز نسبت به شاهد افزایش داشت. بیشترین میزان منگنز در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *D. versiformis* مشاهده شد (جدول ۴).

میزان عنصر مس در تلقیح با تمامی قارچ‌ها نسبت به شاهد افزایش داشت. بیشترین میزان مس در گیاهان تلقیح شده با قارچ *G. margarita* حاصل شد که میزان مس را ۱۸۲/۱۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۴). همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا به‌طور معنی‌داری میزان بور را در گیاه شنبلیله تحت تأثیر قرار داد. بیشترین بور در گیاهان تلقیح شده با *F. mosseae* و کمترین میزان آن در تلقیح با قارچ *D. versiformis* حاصل شد که به‌ترتیب همراه با افزایش ۷۳/۱۸ و کاهش ۷۷/۵۷ درصدی این عنصر نسبت به شاهد بود (جدول ۴).

قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا (AMF) از مهم‌ترین کودهای زیستی هستند که در اغلب مناطق وجود دارند و با ریشه اکثر گونه‌های گیاهی رابطه همزیستی دارند (Sadhana et al., 2014). هیف مایکوریزا به داخل سلول‌های قشر ریشه نفوذ می‌کند و ساختاری تحت عنوان آربوسکول را تشکیل می‌دهند که واسطه‌ای برای تبادل متابولیت‌ها بین قارچ و سیتوپلاسم میزبان است. نتایج یک مطالعه نشان داد که در بین گونه‌های مختلف مایکوریزا، گونه *F. mosseae* و گونه *R. intraradices* به‌ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر افزایش شاخص‌های رویشی داشته‌اند، زیرا این قارچ‌ها از طریق گسترش عملکرد سیستم ریشه گیاه، در به دست آوردن آب اهمیت بسزایی دارند و با ایجاد همزیستی بر روی ریشه میزبان، سطح تماس ریشه با خاک را افزایش داده و در اثر افزایش جذب عناصر خصوصاً عناصر غیرقابل دسترس برای ریشه، رشد

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر قارچ‌های میکوریزا بر میزان جذب عناصر غذایی گیاه شنبلیله
Table 3- Analysis of variance effect of mycorrhiza fungi on absorption of nutrients of fenugreek

S.O.V	df	MS									
		N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Mycorrhiza	10	29.1934**	0.009782**	11.1691**	3.3023**	1.38971**	10.8100**	0.06338**	0.11927**	0.58838**	0.67652**
Error	22	0.1129	0.000152	0.0313	0.2341	0.00125	0.0285	0.01135	0.01410	0.08408	0.04545
CV (%)	-	8.11	10.34	6.65	7.41	9.07	12.74	5.98	6.87	14.30	16.07

معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد **
** Significance at the 1% probability level

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر قارچ‌های میکوریزا بر میزان جذب عناصر غذایی در برگ گیاه شنبلیله
Table 4- Mean comparisons of mycorrhiza fungi effect on absorption of nutrients of fenugreek

Mycorrhiza fungi	N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	%					mg kg ⁻¹ DW				
Control	2.44 ^b	0.15 ^d	1.13 ^a	0.79 ^c	5.01 ^c	144.86 ⁱ	65.57 ^f	379.20 ^b	143.68 ^h	211.20 ^g
<i>F. mosseae</i>	1.75 ^{ef}	0.06 ^j	1.14 ^a	0.88 ^a	5.65 ^b	160.77 ^h	92.66 ^b	316.12 ^f	163.45 ^g	365.77 ^a
<i>C. etunicatum</i>	1.67 ^{ef}	0.13 ^g	0.99 ^b	0.70 ^e	5.08 ^c	294.36 ^d	65.72 ^f	256.95 ^g	282.04 ^c	295.57 ^b
<i>C. claroideum</i>	1.89 ^{de}	0.18 ^a	1.14 ^a	0.73 ^d	5.62 ^b	367.46 ^c	83.19 ^c	667.60 ^a	213.87 ^e	295.56 ^b
<i>F. caledonium</i>	2.40 ^d	0.13 ^f	0.76 ^d	0.80 ^{bc}	5.72 ^b	197.91 ^f	73.43 ^d	327.04 ^e	157.67 ^g	254.21 ^d
<i>R. intraradicese</i>	3.89 ^a	0.16 ^b	0.83 ^c	0.65 ^f	5.25 ^c	614.92 ^b	73.81 ^d	172.63 ^j	243.93 ^d	231.47 ^f
<i>R. fasciculatum</i>	2.70 ^b	0.12 ^h	1.153 ^a	0.62 ^g	5.12 ^c	177.76 ^g	72.32 ^e	368.08 ^c	167.20 ^{fg}	209.49 ^h
<i>A. langula</i>	2.52 ^b	0.16 ^c	1.11 ^a	0.64 ^{fg}	5.01 ^c	102.59 ^j	63.39 ^g	349.02 ^d	356.69 ^b	257.74 ^c
<i>R. castanea</i>	2.17 ^{cd}	0.15 ^e	1.04 ^b	0.82 ^b	6.03 ^a	108.68 ^j	72.49 ^e	204.04 ⁱ	175.73 ^f	235.12 ^e
<i>D. versiformis</i>	1.65 ^{ef}	0.18 ^a	0.54 ^e	0.33 ⁱ	0.98 ^e	1918.35 ^a	96.73 ^a	221.70 ^h	162.58 ^g	47.36 ^j
<i>G. margarita</i>	1.51 ^f	0.09 ⁱ	0.72 ^d	0.52 ^h	3.84 ^d	275.35 ^e	60.61 ^h	126.58 ^k	405.39 ^a	163.81 ⁱ

در هر ستون اعداد با حروف یکسان بر اساس آزمون بونفرونی اختلاف معنی‌داری با هم ندارند
In each column, numbers with at least one similar letter based on the Bonferoni test do not differ significantly at the 1% probability level.

مشاهده شد که احتمالاً به این دلیل است که مایکوریزا با برقراری همزیستی با گیاه میزبان پیوندهای همزیستی مفیدی برقرار نموده که باعث اصلاح سیستم ریشه و افزایش تحرک و جذب چندین عنصر ضروری شده در نتیجه نقش حیاتی در رشد گیاه دارند و تعداد گره و میزان لگ‌هموگلوبین این گیاه در شرایط تیمار با مایکوریزا نسبت به شاهد چه در شرایط تنش و چه در شرایط عادی بالاتر می‌رود (Hashem et al., 2016) و با پژوهش حاضر هم‌خوانی داشته به‌طوری‌که تلقیح با *F. mosseae* تعداد شاخه‌فرعی و تلقیح با *A. langula* طول ریشه و وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد. طبق گزارش Moteszarezhadeh et al. (2017) بیشترین وزن خشک اندام هوایی و مواد مغذی فسفر، آهن و روی در تیمار گیاه ذرت علوفه‌ای با *R. intraradice* نسبت به *F. mosseae* به‌دست آمد. همچنین مشخص شد بین همزیستی مایکوریزایی و مقدار جذب عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز گیاه با برخی از شاخص‌های رشد ذرت مانند عملکرد خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع، سطح برگ و قطر ساقه رابطه مستقیمی وجود دارد و این همزیستی باعث بهبود جذب عناصر غذایی می‌شود (Bustani and Farkhondejad, 2018). به‌طورکلی استفاده از کودهای زیستی به‌طور قابل توجهی باعث بهبود رشد رویشی و زایشی و همچنین جذب مواد مغذی در شنبلیله شد. بنابراین برای گیاه شنبلیله کود زیستی توصیه می‌شود؛ زیرا این کودها سیستم ریشه‌ای را بهبود بخشیده و ریشه‌های عمیق‌تر و فراوان‌تری ایجاد کرد و باعث جذب بهتر مواد مغذی در نتیجه بهبود خصوصیات رشدی این گیاه می‌شود (Chiachi et al., 2015).

نتیجه‌گیری کلی

قارچ‌های مایکوریزا از مهم‌ترین کودهای بیولوژیک هستند که امروزه کاربرد فراوانی در نظام‌های کشاورزی پایدار دارند. این قارچ‌ها به‌منظور افزایش کیفیت و پایداری

طی پژوهش Poralی و همکاران (۲۰۱۴) روی گیاه آلئوئورا نشان داد که کاربرد گونه *R. intraradices* مایکوریزا بر شاخص‌هایی نظیر وزن تر و خشک گیاه، وزن تر و خشک ریشه، حجم ریشه، سطح برگ اثر دارد؛ زیرا جذب عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن در گیاه آلئوئورا تحت تأثیر قرار داده و زمانی که این قارچ توأم با دو سویه باکتری *Pseudomonas fluorescens* و *Pseudomonas* به کار برده شد صفات مزبور و کمیت و کیفیت گیاه به شدت تحت تأثیر قرار گرفت و نسبت به شاهد تأثیر معنی‌داری داشت. این مطالعه با نتایج حاصل از این پژوهش هم‌خوانی داشت و همزیستی با *R. intraradices* میزان وزن تر و خشک گیاه، وزن تر و خشک ریشه را با افزایش محتوای نسبی آب و جذب بیشتر عناصر غذایی نسبت به شاهد بهبود بخشید. طبق گزارش Sohrabi و همکاران (۲۰۱۸) در اثر تلقیح نخود با سه گونه قارچ *D. versiformis*، *R. intraradices* و *C. etunicatum* چه در شرایط تنش و چه بدون تنش، گیاهان تلقیح‌شده دارای رشد و عملکرد بهتری در مقایسه با شاهد بودند. زیرا مایکوریزا با افزایش جذب آب و عناصر غذایی، سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاه نخود گردید و راهکاری مناسب جهت افزایش عملکرد است. در پژوهش حاضر هم نتایج نشان‌دهنده آن است که در اثر تلقیح با قارچ‌های *A. langula*، *R. castaneae* و *D. versiformis* وزن تر و خشک گیاه نسبت به شاهد افزایش چشم‌گیری داشته است. زیرا محتوای نسبی آب گیاه و جذب عناصر غذایی در این تیمارها نسبت به شاهد بهبود یافته است.

Mazarei و همکاران (۲۰۱۷)، طی پژوهشی تأثیر سه گونه قارچ مایکوریزا *D. versiformis*، *R. intraradices* و *F. mosseae* بر گیاه دارویی خارمریم روی صفاتی شامل تعداد برگ، وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، تعداد شاخه-فرعی، وزن خشک ساقه، طول و وزن خشک ریشه نشان دادند و بالاترین میزان این صفات در تلقیح با *F. mosseae*

Iran: Opportunities and Challenges 26(1): 77 – 87.

Azimi, R., Warrior, M. and Asghari, H. R. 2013. The effect of mycorrhizal fungus inoculation on the initial establishment and morphological characteristics of the medicinal plant *Thyme* in the natural field. *Agricultural Research of Iran* 11 (4): 666-676.

Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojari, M. and A. Mokhtassi Bidgoli. 2017. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops and Products* 109: 346-357.

Bijhani, M., Yadollahi, P., Asgharipour, M. R. and Heydari, M. 2015. The effect of mycorrhizal inoculation of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) on its yield and some physiological characteristics under drought conditions. *Journal of Crop Ecophysiology* 9 (3): 337-352.

Bustani, H.R. and A. Farkhondejad. 2018. Effect of growth-promoting bacteria, mycorrhizal fungus salinity stress on the uptake of some nutrients by maize (*Zea mays* L.). *Plant Process and Function* 7(24): 39-52.

Chaichi, M. R., Dadresan, M., Hosseini, M. B., Pourbabaie, A., Yazdani, D. and Zandvakili, O. R. 2015. Effect of bio fertilizers on the growth, productivity and nutrient absorption of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *International Journal of Agriculture Innovations and Research* 3(5): 2319-1473.

Dolatabadi, H., Mohammadi Goltapeh, E., Moieni, A. and Varma, A. 2012. Evaluation of different densities of auxin and endophytic fungi (*Piriformospora indica* and *Sebacina vermifera*) on *Mentha piperita* and *Thymus vulgaris* growth. *Journal of Biotechnology* 11(7): 1644-1650.

Emami, A. 1996. Plant decomposition methods. Soil and Water Research Institute Publications, Tehran.

Hashem, A., Abd Allah, E. F., Alqarawi, A. A., Al-Huqail, A. A., Wirth, S. and D. Egamberdieva. 2016. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. *Frontiers in Microbiology* 7: 1089.

Hussain, H. A., Qingwen, Z., Hussain, S., Hongbo, L., Waqqas, A. and Li, Z. 2021. Effects of Arbuscular mycorrhizal fungi on maize growth, root colonization, and root exudates varied with inoculum and application method. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 21(2): 1577-1590.

عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی به‌ویژه در گیاهان دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان چنین اظهار نمود که میان اکثر گونه‌های قارچ میکوریزای مورد استفاده در این تحقیق با ریشه گیاه شنبلیله، همزیستی بالایی برقرار شد، به‌گونه‌ای که صفات اندازه‌گیری شده در اغلب تیمارهای تلقیح‌شده با گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشتند؛ که علت آن را می‌توان ناشی از بهبود روابط آبی گیاه و جذب بهتر عناصر غذایی توسط قارچ‌های میکوریزا دانست که منجر به افزایش رشد و بهبود خصوصیات رشدی از جمله وزن تر و خشک گیاه شنبلیله گردید. طبق نتایج این مطالعه تلقیح گیاه شنبلیله با قارچ‌های *R. castanea*, *C. claroideum* و *R. intraradices* می‌تواند شرایط را جهت بهبود عملکرد و کیفیت گیاه سبزی-دارویی شنبلیله فراهم نموده و به-عنوان کود بیولوژیک، جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی گردند.

منابع

Afkari, A. 2019. Investigation of the coexistence of mycorrhizal arbuscular fungi on some physiological traits of Single Cross 704 hybrid maize under water stress. *Journal of Developmental Biology* 11(3): 86-75.

Aghababaei, F., Raisi, F. and H. Nadia, 2011. The effect of mycorrhizal symbiosis on nutrient uptake by some commercial almond genotypes in a sandy loam soil. *Soil Research* 25(2): 138-147.

Aghwani Shajari, M., Rezvani Moghadam, P., Ghorbani, R. and M. Nasiri Mahallati. 2015. Effects of application of organic fertilizers, science. *Biochemical on quantitative and qualitative yield of coriander (Coriandrum sativum)*, *Horticultural Sciences* 29(4): 486-500.

Asadi Karam, A., Asrar, Z. and B. Keramat. 2016. The effect of methyl jasmonate application on proline content and uptake of copper, iron, zinc and magnesium in *Lepidium sativum* under copper toxicity. *Journal of Plant Research* 29(2): 253-243.

Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., Asgharzadeh, A., Rajali, F. and M. Afshari. 2012. Biofertilizers in

- colonization and some characteristics of stevia root in soilless cultivation system. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 29(2): 189-204.
- Motesharezadeh, B., Ahmadiyan, E., Alikhani, H. A. and Azarnivand, H. 2017. The use of coal gangue as a cultivation bed conditioner in forage maize inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48(11): 1266-1279.
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A. and Ashraf, M. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances* 32(2): 429-448.
- Pour Ali, Sh., Hatamzadeh, A. and Ehteshami, S. M. R. 2015. Investigation of mycorrhizal symbiosis and growth-promoting bacteria on quantitative and qualitative characteristics of *Aloe vera*. *Iranian Seed Science and Research* 2(2): 61-70.
- Rahimi, A., Dovlati, B., Amirnia, R. and Heydarzade, S. 2019. Effect of application of mycorrhizal fungus and *Azotobacter* on physiological characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. under water stress conditions. *Iranian Journal of Plant Biology* 11(4): 1-18.
- Sadhana, B. 2014. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) as a biofertilizer-a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 3(4): 384-400.
- Sarwar, S., Hanif, M. A., Ayub, M. A., Boakye, Y. D. and Agyare, C. 2020. Fenugreek. In *Medicinal Plants of South Asia* (pp. 257-271). Elsevier.
- Siavash Moghadam, S., Rahimi, A., Heidarzadeh, S., Moradzadeh, S. and Hasanlu, M. 2017. The symbiotic effect of mycorrhiza on yield and biochemical properties of fenugreek. *Journal of Medicinal Plants Biotechnology* 3(1): 40-52.
- Sohrabi, Y., Visani, W., Heidari, Gh. R., Mohammadi, Kh. and Ghasemi Golazani, Gh. 2018. The effect of several species of mycorrhiza fungi on the growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences* 12(2): 507-524.
- Van der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A. and Sanders, I. R. 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist* 205(4): 1406-1423.
- Wang, Y. H., Zhang, N. L., Wang, M. Q., He, X. B., Jiang, J., Moore, J. A., Priyadarshi, A. and Classen, A. T. 2017. Plant-mycorrhizal interactions mediate plant community coexistence by altering resource demand. *Ecology* 98(1): 187-197.
- Irankhah, S., Ganjali, A., Lahoti, M. and Mashreghi, M. 2016. Investigating the effect of *Pseudomonas putida* bacteria and *Glomus intraradices* fungus on some morphological and biochemical traits of fenugreek plant. *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)* 30(1): 112-121.
- Khevari, Z., Moghaddam, M. and Moradi, M. 2020. Study the effect of different mycorrhizal fungi on some growth indices, photosynthetic pigments, flavonoids and carotenoid content of pot marigold flower. *Journal of Horticultural Plant Nutrition* 3(1): 37-50.
- Latef, A. A. H. A. and Chaoxing, H. 2011. Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperature stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 33(4): 1217-1225.
- Mandegary, A., Pournamdari, M., Sharififar, F., Pournourmohammadi, Sh., Fardiar, R. and Shooli, S. 2012. Alkaloid and flavonoid rich fractions of fenugreek seeds (*Trigonella foenum-graecum* L.) with antinociceptive and anti-inflammatory effects. *Journal Food and Chemical Toxicology* 50: 2503-2507.
- Mazarei, A., Sirus Mehr, A. R. and Babaei, Z. 2017. The effect of mycorrhiza on some morphological and physiological characteristics of *Silybum marianum* L. under drought stress. *Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research* 33 (4): 620-635.
- Mbusango, A., Nurbaiti, A., Fitriatin, B. N., Solihin, M. A. and Istifadah, N. 2019. Arbuscular mycorrhiza increased N, P, K, and Fe uptake, growth and yield of vegetables grown on Andisols with different rates of NPK fertilizers. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 393(1): 012009.
- Mesbah, R., Ardakani, M. R., Moghaddam, A. and Rafiei, F. 2021. Correlation and path analysis of Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) yield vs root traits and relative water content as affected by *Azotobacter*, mycorrhizal symbiosis and biochar application under dry-land farming conditions. *International Agrophysics* 35(4): 319-329.
- Mohammadi, S. N., Barmaki, M. and Judgment, M. 2019. The effect of mycorrhizal culture media and symbiosis on leaf yield, percentage of root

growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L). Journal of Saffron Research 2(2): 141-151.

Zhang, R., Mu, Y., Li, X., Li, S., Sang, P., Wang, X., and Xu, N. 2020. Response of the arbuscular mycorrhizal fungi diversity and community in maize and soybean rhizosphere soil and roots to intercropping systems with different nitrogen application rates. Science of the Total Environment 740: 139810.

Zolfaghari, M., Nazeri, W., Sefidkan, F., and Rajali, F. 2014. The effect of different species of mycorrhiza on the growth characteristics and the amount of essential oil of basil (*Ocimum basilicum* L.) Plant Production 37(4): 47-56.

Lv, Z. Q., Wei, J. and Li, Y. 2021. Sex-specific differences in the physiological and biochemical performance of arbuscular mycorrhizal fungi-inoculated mulberry clones under salinity stress. Frontiers in Plant Science 12.

Yazdanpanah Gohari, A., Ghanbari Jahromi, M. and Zarrinia, V. 2019. The effect of coexistence with mycorrhiza species on quantitative and qualitative traits of chicory seed masses in greenhouse conditions. To Agriculture, <https://dx.doi.org/10.22059/jci.2021.314730.2484>.

Zand, A., Riahi, H., Shariatmadari, Z. and Zanganeh, S. 2014. The effect of coexistence with mycorrhizal fungus *Funneliformis mosseae* on the