Gonbad Kavous University
Journal of Plant
Ecosystem Conservation
Volume 14, Issu 28
http://pec.gonbad.ac.ir

Morphological identification of Arbuscular Mycorrhizal Fungi symbiotic with wild Gramineae in the southern rangelands of Golestan Province

Marzieh Yazdanpanah[1], Seyed Esmaeil Razavi[2*], Ebrahim Sedaghati[3]

[1] PhD student, Department of Plant Protection, College of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
[2] Associated Professor, Department of Plant Protection, College of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
[3] Associated Professor, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran

Received: 2025/09/30; Accepted: 2025/11/25

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), as obligate symbionts, play a key role in enhancing nutrient acquisition, improving tolerance to biotic and abiotic stresses, and promoting sustainable plant disease management. Despite the economic importance of the rangelands of Golestan Province and the dependence of wild grasses on AMF, a considerable knowledge gap remains regarding the identification of these fungi in rangeland ecosystems. Accordingly, the present study aimed to morphologically identify AMF associated with the roots of dominant wild grasses in the southern rangelands of Golestan Province. Sampling was conducted at a depth of 5–30 cm in the rhizosphere of blue barley (*Hordeum glaucum*), annual bluegrass (*Poa annua*), perennial ryegrass (*Lolium perenne*), and woolly brome (*Bromus tomentellus*) in the rangelands of Nodeh Khanduz, Aqband, Alang, and Kabudwal in early summer 2022. To confirm the presence of mycorrhizal symbiosis, roots were first stained using lactoglycerol blue solution. Subsequently, AMF spores were isolated using wet-sieving and sucrose-centrifugation techniques. Fungal species were identified based on spore morphological characteristics, including shape, color, size, surface ornamentation, spore-wall structure, hyphal attachment, and other diagnostic features, using standard identification keys and authoritative international databases. Morphological assessment identified 21 AMF species belonging to the genera *Glomus* (*G. aureum, G. ambisporum, G. macrocarpum,* and *G. sinuosum*), *Rhizophagus* (*R. intraradices* and *R. irregularis*), *Funneliformis* (*F. mosseae* and *F. geosporum*), *Septoglomus* (*S. viscosum, S. turnauae,* and *S. deserticola*), *Claroideoglomus* (*C. drummondii, C. etunicatum, C. walkeri, C. lamellosum,* and *C. claroideum*), *Entrophospora* (*E. furrazolae*), *Acaulospora* (*A. bireticulata*), *Scutellospora* (*S. graeca*), and *Pacispora* (*P. franciscana* and *P. scintillans*). The species *S. graeca* and *E. furrazolae* were reported for the first time in the fungal flora of Iran. Furthermore, *H. glaucum* exhibited the highest AMF diversity, with 12 species, whereas the rhizosphere of *L. perenne* exhibited the lowest diversity, with four species. Overall, the findings demonstrate that the identified native arbuscular mycorrhizal fungi have considerable potential as effective inocula for enhancing the efficiency of grass-cover restoration in degraded rangelands of the region.

***Keywords*:** Mycorrhizal colonization, Rhizosphere, Spore, Symbiosis.

*Corresponding author: Razavi@gau.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره چهاردهم، شماره بیست و هشتم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

شناسایی ریخت‌شناسی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست گندمیان وحشی مراتع جنوبی استان گلستان

مرضیه یزدان‌پناه[1]، سیداسماعیل رضوی[2]*، ابراهیم صداقتی[3]

[1] دانشجوی دکتری بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
[2] دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
[3] دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، رفسنجان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴

چکیده

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار به‌عنوان عوامل همزیست اجباری، نقش کلیدی در بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش تحمل تنش‌های زیستی و غیرزیستی، و مدیریت پایدار بیماری‌های گیاهی ایفا می‌کنند. با وجود اهمیت اقتصادی مراتع استان گلستان و وابستگی گندمیان وحشی به قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، شکاف دانشی قابل توجهی در شناسایی این قارچ‌ها در اکوسیستم‌های مرتعی وجود دارد. از این رو، پژوهش حاضر با هدف شناسایی ریخت‌شناسی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست ریشه گندمیان وحشی غالب مراتع جنوبی استان گلستان انجام گردید. بدین منظور، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۵ سانتی‌متری فرایشه جوموشی (*Hordeum glaucum*.)، چمن یک‌ساله (*Poa annua*.)، چچم (*Lolium perenne*.) و علف پشمکی (*Bromus tomentellus*.) واقع در مراتع نوده‌خاندوز، آق‌بند، النگ و کبودوال در اوایل تابستان ۱۴۰۱ صورت گرفت. جهت اطمینان از وجود رابطه همزیستی، ابتدا رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با استفاده از محلول لاکتوگلیسرول بلو انجام گردید. سپس، اسپورهای میکوریز آربوسکولار با استفاده از روش‌های سری الک مرطوب و سانتریفیوژ در محلول ساکارز جداسازی شدند. شناسایی گونه‌های قارچی براساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی اسپور از جمله شکل، رنگ، اندازه، تزئینات سطح، ساختار دیواره اسپور، هیف اتصال و غیره و با استفاده از کلیدهای شناسایی و سایت‌های بین‌المللی معتبر، انجام گردید. بر مبنای نتایج ریخت‌شناسی، ۲۱ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار متعلق به جنس‌های *Glomus* (*G. aureum*، *G. ambisporum*، *G. macrocarpum* و *G. sinuosum*)، *Rhizophagus* (*R. intraradices* و *R. irregularis*)، *Funneliformis* (*F. mosseae* و *F. geosporum*)، *Septoglomus* (*Se viscosum*، *Se turnauae* و *Se. deserticola*)، *Claroideoglomus* (*C. drummondii*، *C. etunicatum* و *C. lamellosum*)، *Acaulospora* (*Ac. walkeri*)، *Entrophospora* (*E. furrazolae* و *C. claroideum*)، *Scutellospora* (*S. graeca*) و *Pacispora* (*P. franciscana* و *P. scintillans*) شناسایی گردید. گونه‌های *S. bireticulata* و *S. graeca* برای اولین بار از فلور قارچی ایران گزارش شدند. همچنین، گیاه جوموشی با ۱۲ گونه، بیشترین تنوع میکوریز آربوسکولار را نشان داد؛ درحالی‌که کمترین تنوع (چهار گونه) در فرایشه گیاه چچم مشاهده شد. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که گونه‌های میکوریز آربوسکولار بومی شناسایی‌شده می‌توانند به‌عنوان زادمایه‌های کارآمد برای ارتقای کارایی احیای پوشش‌های گندمیان در مراتع منطقه مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: **اسپور، فرایشه، کلونیزاسیون میکوریزی، همزیستی**

مقدمه

گندمیان یا گراس‌ها (Gramineae یا Poaceae) یکی از مهمترین خانواده‌های گیاهان گل‌دار در رده تک‌لپه‌ای‌ها[3] می‌باشند. این خانواده از نظر پراکنش جغرافیایی، اهمیت بوم‌شناختی، اقتصادی و تامین غذای انسان و دام، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. برخی گونه‌های متعلق به این

*نویسنده مسئول: Razavi@gau.ac.ir
[3] Monocotyledons

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

خانواده بخش قابل توجهی از علفزارها و مرغزارها را تشکیل می‌دهند. علفزارها و مرغزارها علاوه‌بر اینکه منبع مهمی برای تغذیه دام محسوب می‌شوند، در حفظ و نگه‌داری آب، ذخایر تنوع زیستی و همچنین، کاهش گازهای گلخانه‌ای نقش حیاتی ایفا می‌کنند. برخی گونه‌های گیاهی متعلق به خانواده گندمیان وحشی، سهم قابل‌توجهی از پوشش گیاهی علفزارها و مراتع را تشکیل می‌دهند. مراتع استان گلستان به‌دلیل شرایط آب و هوایی مساعد و حاصلخیزی خاک، پوشش گیاهی غنی و متنوعی دارند؛ به‌طوری‌که مناطق شمالی استان دارای جوامع استپی و نیمه‌استپی و مناطق جنوبی دارای جوامع کوهستانی و سرد می‌باشند. در سال‌های اخیر، به‌علت تغییرات اقلیمی، چرای بیش از حد دام و مشکلات ناشی از فرسایش خاک و هجوم علف‌های هرز، برخی گونه‌های گیاهی مراتع به مرور زمان از منطقه حذف شدند و یا جمعیت آن‌ها به شدت کاهش یافته است (Austrheim et al., 2005). بدین‌منظور، بررسی و مدیریت جوامع میکروبی خاک با تاکید بر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، می‌تواند نقش مهمی در احیاء اکوسیستم‌های تخریب شده داشته باشد.

همزیستی میکوریز[۴] یکی از شناخته‌ترین و در عین حال گسترده‌ترین و مهمترین رابطه همزیستی بین برخی قارچ‌ها با ریشه گیاهان می‌باشد که به‌عنوان بخش مهم و جدایی‌ناپذیر از اکوسیستم‌های طبیعی در سراسر دنیا شناخته می‌شود (Genre et al., 2020). در بین انواع مختلف قارچ‌های میکوریز، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF[۵]) مهم‌ترین عوامل همزیست اجباری ریشه گیاهان به‌شمار می‌آیند که با بیش از ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی رابطه همزیستی برقرار می‌کنند (Khaliq et al., 2022). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، کربوهیدرات و لیپیدهای مورد نیاز برای بقا خود را از گیاه میزبان دریافت می‌کنند و در ازای آن، میزان دسترسی گیاه به آب و مواد مغذی، به‌ویژه فسفر، را افزایش می‌دهند (Qin et al., 2020). این امر موجب بهبود رشد و نمو گیاه میزبان و افزایش تحمل و/یا مقاومت آن در برابر تنش‌های زیستی (مانند عوامل بیماری‌زا و آفات) و غیرزیستی (مانند شوری، خشکی، فلزات سنگین و کمبود عناصر غذایی) می‌شود (Devi et al., 2022; Wang et al., 2023; Li et al., 2023; Wang and Duan, 2023).

شناسایی و معرفی جنس‌ها و گونه‌های جدید میکوریز آربوسکولار روش مناسبی برای درک اهمیت و کارایی این گروه قارچی در مناطق مختلف می‌باشد تا در هر منطقه با پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی خاص، از جدایه‌های بومی این قارچ‌ها به‌منظور حفظ پوشش گیاهی و توسعه کشاورزی پایدار استفاده کرد. در دهه‌های گذشته، شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار براساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی صورت می‌گرفت. با توجه به اینکه این گروه فاقد تولیدمثل جنسی هستند یا در آن‌ها شناخته نشده است، شناسایی ریخت‌شناسی آن‌ها براساس ساختارهای قارچی حاصل از تولیدمثل غیرجنسی انجام می‌گردد (Noreen et al., 2023). بدین صورت‌که نوع و حالت تشکیل اسپور و در غیاب اسپور، وجود یا عدم وجود اندام‌های میکوریزی برون و درون ریشه‌ای مانند سلول‌های کمکی، وزیکل‌ها و آربوسکول‌ها و ویژگی‌های ساختمانی آن‌ها برای شناسایی در سطح جنس و خانواده مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین، گونه‌های قارچی براساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی اسپور (مانند شکل، رنگ، اندازه، زیرساختارهای دیواره سلولی و هیف اتصال، شکل و نحوه اتصال هیف به اسپور، باز یا بسته بودن هیف، وجود یا عدم وجود اسپوروکارپ و غیره) تشخیص داده می‌شوند (Blaszkowski, 2012). با این حال، شناسایی ریخت‌شناسی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار به داشتن تجربه عملی و علمی بستگی دارد (Clapp et al., 2001). تاکنون، بررسی‌های متعددی به‌منظور شناسایی ریخت‌شناسی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست گیاهان مختلف مانند مزارع گندم (صدروی، ۱۳۸۵)، پنبه، سویا، ذرت و آفتابگردان (صدروی، ۱۳۸۱) و گیاهان زینتی در گلخانه (مشیری‌رضوانی، ۱۳۸۷) در استان گلستان پرداخته‌اند اما هیچ پژوهشی در زمینه شناسایی گونه‌های میکوریز آربوسکولار همزیست گندمیان وحشی انجام نشده است.

ارزیابی گونه‌ها و جوامع تشکیل دهنده پوشش‌های گیاهی و ریزجانداران همزیست آن‌ها، امکان احیاء و تجدید حیات اکوسیستم‌های مراتع را فراهم می‌کند (Wang, 2017; Arevalo et al., 2025; Lethielleux-Juge, 2025). از طرفی، با مطالعه، برنامه‌ریزی و اجرای عملیات اصلاحی مانند بوته‌کاری توام گونه‌های میکوریز آربوسکولار

[۴] Mycorrhizae

[۵] Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

بومی، می‌توان در مدت زمان کوتاهی، میزان رشد و نمو گیاهان مرتعی و گسترش پوشش گیاهی را به میزان قابل توجهی افزایش داد. از این رو، با توجه به اینکه ردیابی، شناسایی و معرفی گونه‌های میکوریز آربوسکولار در هر منطقه، اولین قدم برای تولید و تهیه زادمایه قارچی می‌باشد (Qu et al., 2022)، پژوهش حاضر با هدف جداسازی و شناسایی گونه‌های میکوریز آربوسکولار همزیست برخی گندمیان وحشی مراتع جنوبی استان گلستان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

در پژوهش حاضر، گونه‌های گیاهی چچم (*Lolium perenne*)، جوموشی (*Hordeum glaucum*)، چمن یک‌ساله (*Poa annua*) و علف پشمکی (*Bromus tomentellus*) به‌عنوان گندمیان وحشی غالب انتخاب شدند. سپس، نمونه‌برداری از مراتع جنوبی استان گلستان شامل نوده‌خاندزو، آق‌بند، النگ و کبودوال در تیر ماه ۱۴۰۱ صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- مراتع منتخب استان گلستان و گونه‌های گیاهی میزبان قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

منطقه	نوع مرتع	نام مرتع	موقعیت جغرافیایی	گونه گیاهی منتخب
آزادشهر	جنوبی (ییلاقی)	نوده‌خاندوز	37° 04′ 34″ N, 55° 14′ 46″ E	چچم
مینودشت	جنوبی (ییلاقی)	آق‌بند	37° 38′ 53″ N, 55° 10′ 45″ E	جوموشی
رامیان	جنوبی (ییلاقی)	النگ	36° 58' 30" N, 55° 07' 28" E	علف پشمکی
مازیاران	جنوبی (ییلاقی)	کبودوال	36° 48' 44.4" N, 54° 09' 31.0" E	چمن یک‌ساله

بدین‌منظور، برای هر یک از گونه‌های گیاهی منتخب، حداقل چهار بوته سالم به‌صورت تصادفی انتخاب و از فاریشه هر بوته (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) حدود ۵۰۰ گرم خاک همراه با ریشه جمع‌آوری گردید. سپس، نمونه‌های خاک مربوط به هر گونه گیاهی با یکدیگر مخلوط شد تا یک نمونه تقریبا یک کیلوگرمی تهیه شود. پس از آن، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و به مدت دو هفته در معرض جریان هوای آزاد قرار گرفتند تا خشک شوند. سپس، نمونه‌های خاک تا زمان انجام مراحل جداسازی، در دمای چهار درجه سلسیوس داخل یخچال نگه‌داری شدند (Blaszkowski, 1993).

رنگ‌آمیزی ریشه جهت اثبات همزیستی میکوریزی

به‌منظور تأیید برقراری رابطه همزیستی بین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و گونه‌های گیاهی منتخب، رنگ‌آمیزی ریشه با استفاده از روش فیلیپس و هایمن (Phillips and Hayman, 1970) با اندکی تغییر انجام شد. پس از شستشو و برش ریشه‌ها به قطعات تقریبا یک سانتی‌متری، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در محلول هیدروکسید پتاسیم (KOH) ۱۰ درصد در دمای ۶۰ درجه سلسیوس جهت شفاف‌سازی قرار گرفتند. در ادامه، ریشه‌ها سه تا چهار مرتبه با آب مقطر شسته شدند. ریشه‌های گیاه علف پشمکی که دارای بافت چوبی هستند، به مدت سه تا پنج دقیقه در محلول پراکسید هیدروژن قلیایی (H_2O_2) (سه میلی‌لیتر هیدروکسید آمونیوم، ۳۰ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۰ درصد، ۵۶۷ میلی‌لیتر آب مقطر) قرار داده شدند. سپس، ریشه‌ها به مدت یک تا دو دقیقه در محلول اسید کلریدریک (HCl) ۲۰ درصد قرار گرفتند تا اسیدی شوند. پس از آن، ریشه‌ها بدون شستشو، داخل محلول رنگی تریپان بلو ۰/۰۵ درصد به مدت یک ساعت رنگ‌آمیزی شدند. در نهایت، رنگ‌بری با استفاده از محلول لاکتوگلیسرول به‌مدت یک شبانه‌روز در دمای آزمایشگاه انجام شد که منجر به مشاهده اندام‌های قارچی در محدوده رنگی از آبی پررنگ تا کم‌رنگ گردید. در آخر، چند قطعه ریشه رنگ‌آمیزی شده به‌صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از میکروسکوپ نوری، وجود یا عدم وجود ساختارهای قارچی مورد بررسی قرار گرفت (Biermann and Linderman, 1981).

جداسازی اسپورهای میکوریز آربوسکولار

جداسازی اسپورهای میکوریز آربوسکولار از نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده، با استفاده از روش‌های سری الک مرطوب (Gerdemann and Nicolson, 1963) و سانتریفیوژ در محلول ساکارز (Jenkins, 1964) انجام گردید. بدین منظور، ابتدا ۱۰۰ گرم خاک و ریشه در یک

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

لیتر آب به‌صورت سوسپانسیون درآمد. بعد از رسوب ذرات درشت خاک، مایع رویی از الک‌های فلزی که براساس کاهش قطر منافذ مرتب شده بودند (۵۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ مش)، عبور داده شد. این عمل سه تا پنج مرتبه انجام گردید. مواد آلی، ذرات درشت و ریشه‌ها پشت الک ۵۰ مش و اسپوروکارپ‌ها و اسپورهای بزرگ پشت الک ۲۰۰ مش جمع‌آوری شدند. اسپورهای بسیار کوچک قارچی پشت الک ۴۰۰ مش، با استفاده از سانتریفیوژ در محلول ساکارز ۵۵ درصد جداسازی شدند. در این روش، ابتدا سوسپانسیون خاک به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد تا اکثر اسپورها ته‌نشین شوند. سپس، محلول ساکارز ۵۵ درصد به رسوب تشکیل شده افزوده و سانتریفیوژ با سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و به مدت یک دقیقه انجام گردید. پس از آن، فاز رویی روی الک ۴۰۰ مش ریخته و شسته شد. در نهایت، مواد جمع شده در پشت الک‌ها با استفاده از استریومیکروسکوپ مورد بررسی قرار گرفتند.

تهیه اسلاید میکروسکوپی از اسپورهای قارچی

برای تهیه اسلایدهای میکروسکوپی دائمی از اسپورهای میکوریز آربوسکولار، محلول PVLG (Polyvinyl-Lacto-Glycerol) و معرف ملزر (نسبت ۱:۱) مورد استفاده قرار گرفت (Hall, 1984). بدین‌منظور، یک یا دو قطره از محلول PVLG+معرف ملزر روی لام ریخته و اسپور/اسپورها توسط سوزن یا لوپ به قطره منتقل شده و روی آن‌ها لامل گذاشته شد. در نهایت، اسلایدهای میکروسکوپی به مدت ۱۲ تا ۲۴ ساعت در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا اسپور و لایه‌های دیواره آن درون محلول رنگی تثبیت و حباب‌های هوا خارج شوند.

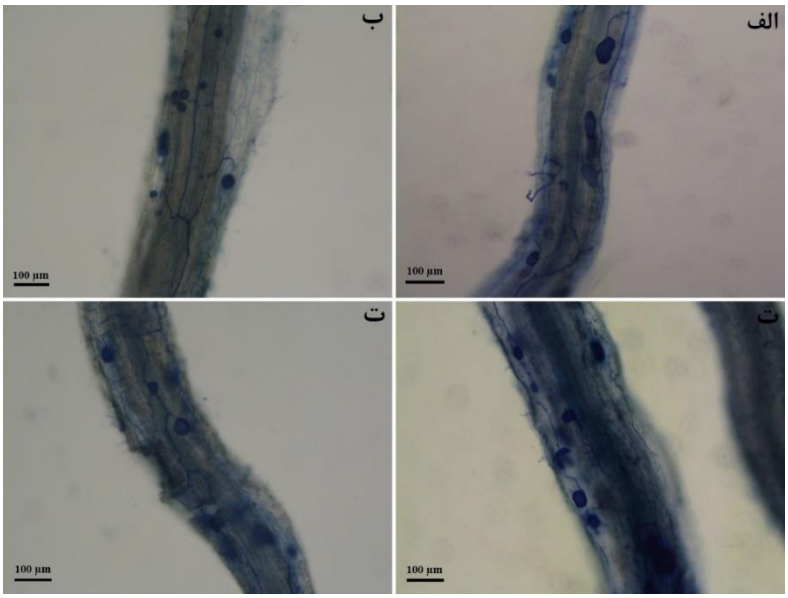
شناسایی ریخت‌شناسی گونه‌های میکوریز آربوسکولار

شناسایی ریخت‌شناسی گونه‌های میکوریز آربوسکولار با بررسی ویژگی‌های زیر توسط میکروسکوپ نوری کالیبره شده (Nikon-ECLIPSE-80i) انجام گردید: ۱- رنگ اسپور و لایه‌های دیواره آن در معرف PVLG+معرف ملزر، ۲- شکل و اندازه اسپور، ۳- ساختار دیواره اسپور از نظر تعداد، ضخامت و نوع لایه‌های آن، ۴- نحوه اتصال هیف به اسپور، ۵- شکل ایجاد شده در محل اتصال هیف به اسپور، ۶- باز یا بسته بودن منفذ هیف در محل اتصال به اسپور و نحوه انسداد در صورت بسته بودن، ۷- وجود یا عدم وجود لایه‌های قابل ارتجاع تندشی، ۸- مشخصات اسپوروکارپ و پریدیوم در صورت وجود، ۹- تشکیل یا عدم تشکیل اسپور درون ریشه، ۱۰- آرایش اسپورها (انفرادی یا خوشه‌ای). برای بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی اسپورها از استفاده شد. شناسایی گونه‌های قارچی با تطبیق و مقایسه ویژگی‌های مشاهده شده با تارنماهای اینترنتی معتبر و اختصاصی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (http://www.zor.zut.edu.pl; http://www.invam.wvu.edu) و مقالات کلیدی (Schussler and Walker, 2010; Oehl et al., 2011; Karaarslan et al., 2015) صورت گرفت. لازم به ذکر است شماره‌گذاری لایه‌های دیواره اسپور از خارجی‌ترین لایه به سمت درون می‌باشد.

نتایج و بحث

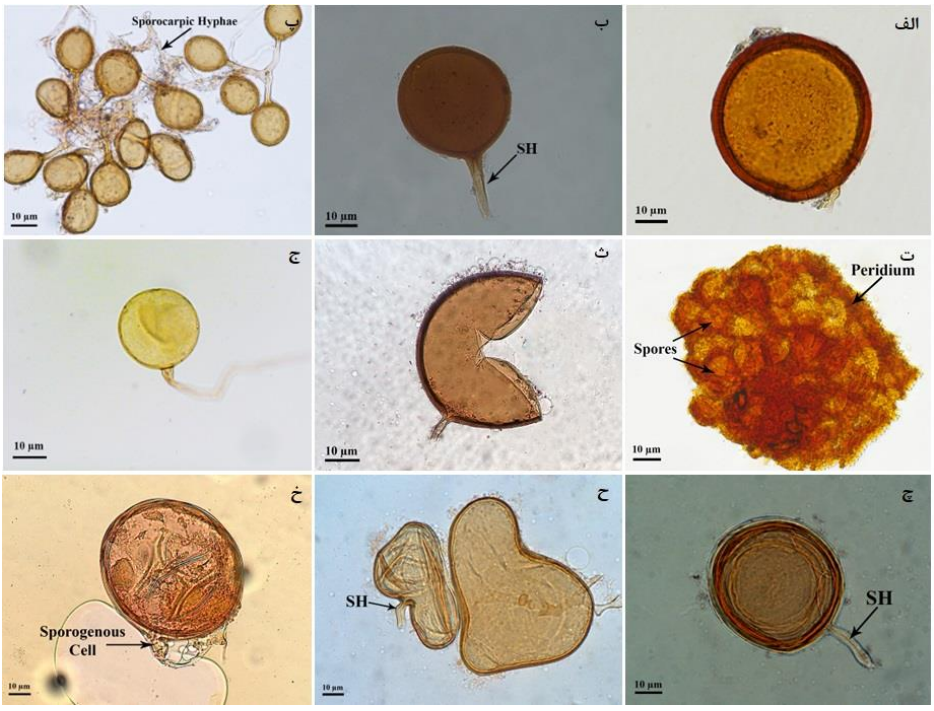
پس از بررسی ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده، ساختارهای مختلف قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (شامل وزیکل، آربوسکول، اسپور و هیف‌های درون ریشه و برون ریشه‌ای) در داخل و بین سلول‌های کورتکس ریشه مشاهده گردید (شکل ۱). نتایج حاصل از خاکشویی نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده نیز حاکی از وجود اسپورهای مختلف متعلق به این گروه قارچی بود که بیانگر برقراری رابطه همزیستی بین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و گونه‌های گیاهی منتخب می‌باشد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



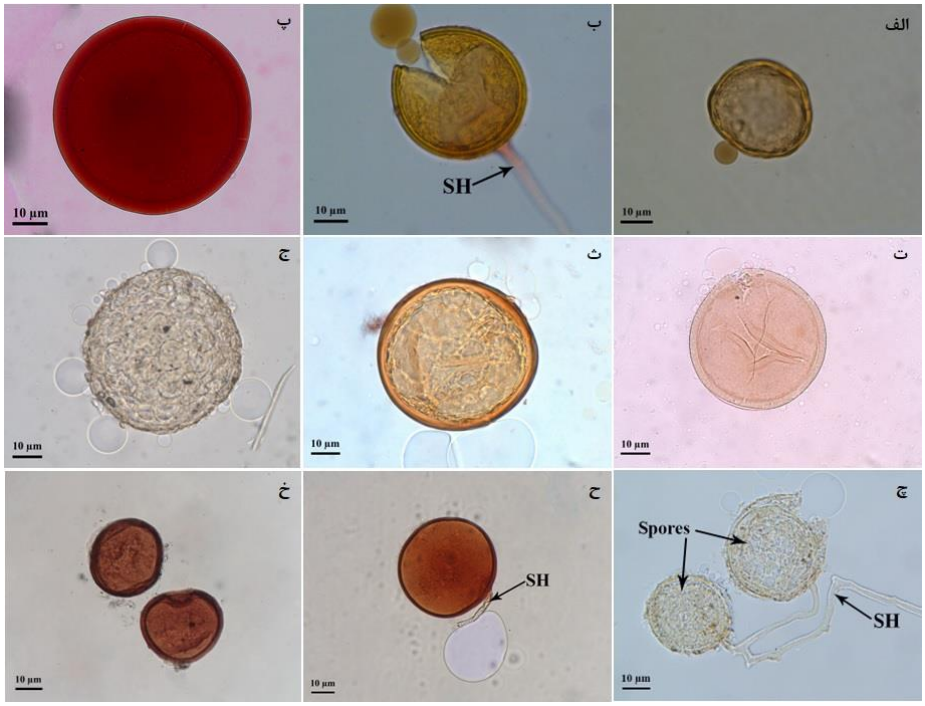
شکل ۱- ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده چچم (الف)، علف پشمکی (ب)، جوموشی (پ) و چمن یک‌ساله (ت) و وجود اندام‌های میکوریز آربوسکولار

در بررسی حاضر، ۲۱ گونه میکوریز آربوسکولار متعلق به نه جنس (*Glomus*، *Funneliformis*، *Rhizophagus*، *Septoglomus*، *Claroideoglomus*، *Scutellospora*، *Pacispora*، *Entrophospora* و *Acaulospora*) و چهار خانواده (Glomeraceae، Claroideoglomeraceae، Entrophosporaraceae، Acaulosporaceae، Gigasporaceae و Pacisporaceae) شناسایی شدند (شکل‌های ۲، ۳ و ۴).

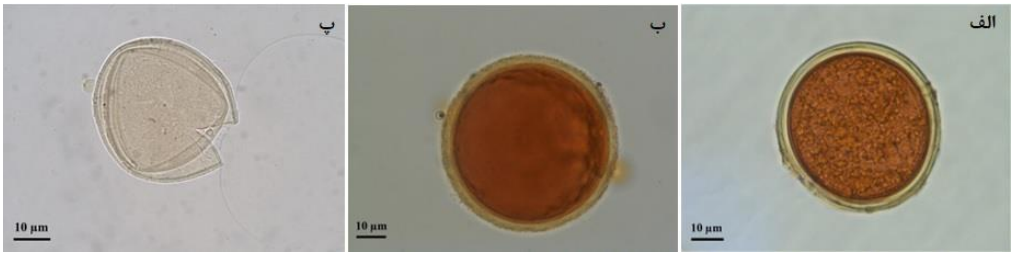


شکل ۲- گونه‌های میکوریز آربوسکولار شناسایی شده از فراریشه گندمیان وحشی منتخب؛ الف: *G. macrocarpum*، ب: *G. ambisporum*، پ: *Glomus aureum*، ت: *G. sinuosum*، ث: *F. geosporum*، ج: *F. mosseae*، چ: *R. intraradices*، ح: *R. irregularis*، خ: *S. graeca*. SH: هیف اتصال

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۳- گونه‌های میکوریز آربوسکولار شناسایی شده از فراریشه گندمیان وحشی منتخب؛ الف: *C. lamellosum*، ب: *C. claroideum*، پ: *C. etunicatum*، ت: *C. walkeri*، ث: *C. drummondii*، ج: *A. bireticulata*، چ: *Se. viscosum*، ح: *Se. deserticola*، خ: *Se. turnauae*. SH: هیف اتصال



شکل ۴- گونه‌های میکوریز آربوسکولار شناسایی شده از فراریشه گندمیان وحشی منتخب؛ الف: *P. franciscana*، ب: *P. scintillans*، پ: *E. furrazolae*

براساس نتایج به‌دست آمده، جوموشی با میزبانی ۱۲ گونه قارچی، متنوع‌ترین جامعه میکوریزی را به خود اختصاص داد. در مقابل، گیاه چچم با چهار گونه قارچی، میزبان جوامع کم‌تنوع‌تری از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بود. علف پشمکی و چمن یک‌ساله نیز به ترتیب همزیست هفت و شش گونه میکوریز آربوسکولار بودند (جدول ۲).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

جدول ۲- گونه‌های میکوریز آربوسکولار شناسایی شده از فراریشه هر گیاه

گونه‌های میکوریز آربوسکولار	علف پشمکی	جوموشی	چمن یک‌ساله	چچم
F. mosseae	❋	❋		❋
F. geosporum		❋	❋	
G. macrocarpum	❋			
G. ambisporum		❋		
G. aureum	❋			
G. sinuosum			❋	
R. intraradices		❋	❋	
R. irregularis			❋	
Se. viscosum		❋		
Se. turnauae		❋		
Se. deserticola			❋	
C. drummondii		❋		
C. etunicatum	❋	❋	❋	
C. walkeri		❋		
C. claroideum	❋			
C. lamellosum			❋	
E. furrazolae	❋			
S. graeca		❋		❋
P. franciscana		❋		❋
P. scintillans		❋		❋
A. bireticulata	❋			

گونه‌های *S. graeca* و *E. furrazolae* برای فلور قارچی ایران جدید بوده و این پژوهش، اولین گزارش از شناسایی این گونه‌های قارچی می‌باشد. سایر گونه‌های میکوریز آربوسکولار شناسایی شده، پیش از این از مناطق مختلف و روی میزبان‌های گیاهی گوناگون از جمله پسته، مرکبات، بلوط، غلات، یونجه، گیاهان دارویی و غیره جداسازی و گزارش شده‌اند (صدروی، ۱۳۸۵؛ صالحی‌جوزانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۵؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۹۶؛ حاتمی و همکاران، ۱۳۹۹؛ جعفریان و همکاران، ۱۴۰۲؛ روستا و همکاران، ۱۴۰۲؛ موسوی و همکاران، ۱۴۰۲). در ادامه، گونه‌های *S. graeca* و *E. furrazolae* به‌طور کامل توصیف شده و ویژگی‌های ریخت‌شناسی سایر گونه‌های شناسایی شده به‌صورت خلاصه در جدول ۳ ارائه خواهند شد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

جدول ۳- ویژگی‌های ریخت‌شناسی گونه‌های میکوریز آربوسکولار همزیست گندمیان وحشی منتخب

جنس	گونه	ویژگی‌های ریخت‌شناسی
Claroideoglomus	*C. etunicatum*	اسپور زرد آجری، کروی، دیواره اسپور دو لایه‌ای (لایه اول موسیلاژی و لایه دوم ورقه‌ای)، هیف اتصال استوانه‌ای تا نیمه قیفی و دو لایه‌ای با روزنه بسته
	C. walkeri	اسپور سفید مایل به زرد کم‌رنگ، کروی تا نیمه‌کروی، سه لایه (لایه اول شفاق و پایدار، لایه دوم ورقه‌ای و لایه سوم ارتجاعی و شفاف)، هیف اتصال استوانه‌ای تا کمی قیفی و دو لایه‌ای با روزنه بسته
	C. lamellosum	اسپور زرد روشن، کروی تا نیمه کروی، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول شفاف، لایه دوم ورقه‌ای و لایه سوم ارتجاعی)، هیف اتصال استوانه‌ای با کمی باریک‌شدگی و دو لایه‌ای با روزنه بسته
	C. claroideum	اسپور زرد کم‌رنگ تا زرد تیره، کروی، دیواره اسپور چهار لایه‌ای (لایه اول موسیلاژی، لایه دوم نیمه‌پایدار، لایه سوم ورقه‌ای و لایه چهارم نیمه‌ارتجاعی)، هیف اتصال استوانه‌ای شکل و سه لایه‌ای با روزنه بسته
	C. drummondii	اسپور زرد رنگ، کروی تا نیمه‌کروی، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول شفاف و ناپایدار، لایه دوم ورقه‌ای و لایه سوم شفاف و انعطاف‌پذیر)، هیف اتصال استوانه‌ای یا کمی قیفی شکل و دو لایه‌ای با روزنه بسته
Funneliformis	*F. geosporum*	اسپور زرد تیره، کروی، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول موسیلاژی، لایه دوم ورقه‌ای و لایه سوم تیغه‌ای)، هیف اتصال قیفی شکل و دو لایه‌ای با روزنه بسته
	F. mosseae	اسپور زرد لیمویی تا زرد تیره، کروی تا نیمه کروی و برخی مواقع بیضوی، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول موسیلاژی، لایه دوم شفاف و نیمه ارتجاعی، لایه سوم ورقه‌ای)، هیف اتصال قیفی شکل و سه لایه‌ای با روزنه بسته
Glomus	*G. ambisporum*	وجود دو نوع اسپور (نوع اول به رنگ قهوه‌ای تیره درون اسپوروکارپ یا منفرد در خاک فراریشه و نوع دوم، بی‌رنگ، کروی درون اسپوروکارپ یا منفرد در ریشه‌های گیاه)، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول ناپایدار، لایه دوم ورقه‌ای و لایه سوم نیمه‌ارتجاعی)، هیف اتصال مستقیم و دو لایه‌ای
	G. aureum	اسپوروکارپ نارنجی روشن تا زرد، فاقد پریدیوم و دارای هیف‌های متراکم، اسپور نارنجی روشن تا تیره، کروی، دیواره اسپور دو لایه‌ای (لایه اول شفاف و لایه دوم ورقه‌ای)، هیف اتصال استوانه‌ای شکل، مستقیم یا کمی خمیده، دو لایه‌ای با روزنه بسته
	G. macrocarpum	اسپور زرد مایل به نارنجی و کروی، دیواره اسپور دو لایه‌ای (لایه اول شفاف و لایه دوم ورقه‌ای)، هیف اتصال مستقیم و کمی باریک شده، دو لایه‌ای، روزنه بسته
	G. sinuosum	اسپوروکارپ قرمز مایل به قهوه‌ای تیره، دارای پریدیوم، اسپور نارنجی زرد تا زرد مایل به قهوه‌ای، تخم‌مرغی تا چماقی، دیواره اسپور دارای یک لایه ورقه‌ای، هیف اتصال استوانه‌ای شکل و مستقیم تا خمیده و یک لایه‌ای با روزنه باز یا بسته
Rhizophagus	*R. intraradices*	اسپوروکارپ سست و فاقد پریدیوم، اسپور زرد مایل به قهوه‌ای روشن، کروی تا نیمه کروی، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول موسیلاژی، لایه دوم نیمه‌ارتجاعی و لایه سوم ورقه‌ای)، هیف اتصال استوانه‌ای تا قیفی شکل و سه لایه‌ای
	R. irregularis	اسپور زرد مایل به قهوه‌ای، بیضوی یا نامنظم، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول ناپایدار و شفاف، لایه دوم شفاف و لایه سوم ورقه‌ای)، هیف اتصال استوانه‌ای شکل و سه لایه‌ای با روزنه باز یا بسته
Septoglomus	*Se. viscosum*	اسپور نیمه‌شفاف تا زرد کاهی، کروی تا نیمه کروی، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول موسیلاژی، لایه دوم نیمه‌ارتجاعی و لایه سوم ورقه‌ای)، هیف اتصال استوانه‌ای شکل تا کمی قیفی شکل و سه لایه‌ای با روزنه باز
	Se. deserticola	اسپور زرد مایل به نارنجی یا قهوه‌ای مایل به قرمز، کروی تا نیمه کروی، دیواره اسپور دو لایه‌ای (لایه اول موسیلاژی و لایه دوم ورقه‌ای)، هیف اتصال خمیده و دو لایه‌ای با روزنه باز یا بسته

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

ادامه جدول ۳

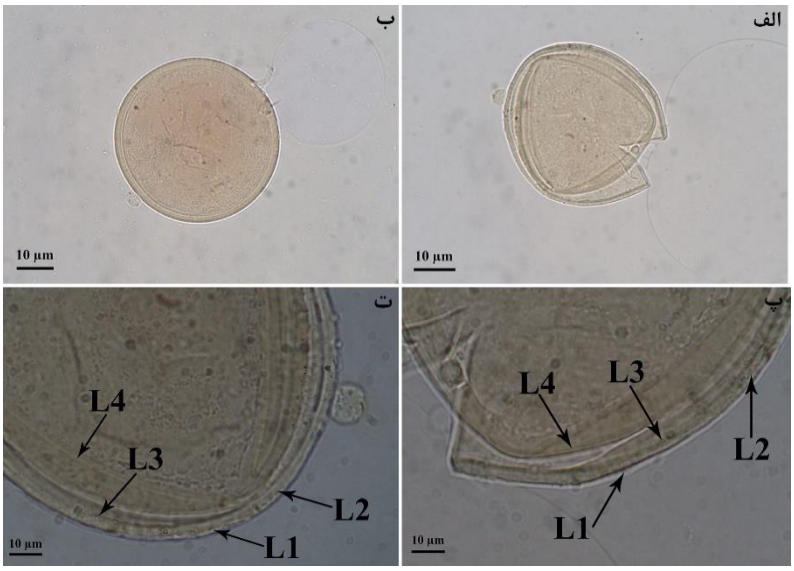
جنس	گونه	ویژگی‌های ریخت‌شناسی
Septoglomus	*Se. turnauae*	اسپور نارنجی مایل به قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره، کروی تا نیمه کروی، دیواره اسپور چهار لایه‌ای (لایه اول شفاف و ناپایدار، لایه دوم ورقه‌ای، لایه سوم ورقه‌ای و لایه چهارم نیمه‌ارتجاعی)، هیف اتصال مستقیم یا خمیده، استوانه‌ای شکل، سه لایه‌ای با روزنه بسته
Pacispora	*P. scintillans*	اسپور شفاف تا نارنجی روشن، کروی تا نیمه کروی، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول پایدار و دارای ساختارهای زگیل مانند، لایه دوم ورقه‌ای و لایه سوم ارتجاعی تا نیمه‌ارتجاعی)، دیواره تندشی دارای سه لایه شفاف و ارتجاعی، هیف اتصال شفاف، استوانه‌ای شکل و مستقیم، یک لایه‌ای با روزنه باز یا بسته
	P. franciscana	اسپور سفیدرنگ، کروی تا نیمه کروی، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول شفاف و صاف، لایه دوم ورقه‌ای و لایه سوم ارتجاعی تا نیمه‌ارتجاعی)، دیواره تندشی متشکل از سه لایه شفاف و ارتجاعی، هیف اتصال شفاف، استوانه‌ای شکل و مستقیم، دو لایه‌ای با روزنه باز یا بسته
Acaulospora	*Ac. bireticulata*	اسپور نارنجی روشن تا زرد مایل به قهوه‌ای، کروی تا نیمه‌کروی، دیواره اسپور سه لایه‌ای (لایه اول ناپایدار، لایه دوم ورقه‌ای و دارای تزئیات پنج ضلعی و لایه سوم ورقه‌ای، متصل به لایه دوم)، دیواره تندشی اول دارای دو لایه شفاف و نیمه‌پایدار، دیواره تندشی دوم دارای دو لایه شفاف و ارتجاعی

Entrophospora furrazolae Magurno et al.

این گونه قارچی دارای اسپورهای شفاف تا سفید مایل به زرد، کروی تا نیمه‌کروی و به ابعاد ۸۵-۶۰ میکرومتر می‌باشند که به‌صورت منفرد در خاک تشکیل می‌شوند (شکل ۵-الف-ب). دیواره اسپور (SW) از چهار لایه مجزا تشکیل شده است. لایه اول (L1) شفاف، ناپایدار، ارتجاعی و موسیلاژی بوده و ۰/۸-۰/۳ میکرومتر ضخامت دارد. لایه دوم (L2) که محکم به لایه سوم چسبیده است، شفاف، پایدار، ارتجاعی تا نیمه ارتجاعی و به ضخامت ۱/۵-۰/۸ میکرومتر می‌باشد. لایه سوم (L3) شفاف تا سفید مایل به زرد، نیمه‌پایدار و ورقه‌ای است که ۷-۳ میکرومتر ضخامت دارد. لایه چهارم (L4) شفاف، پایدار، ارتجاعی و نازک (۱-۰/۵ میکرومتر) می‌باشد که معمولا از لایه سوم جدا شده است (شکل ۵-پ-ت). هیف متصل به اسپور (SH) مستقیم تا خمیده، کمی قیفی شکل و به ندرت استوانه‌ای شکل بوده و عرض آن در پایه اسپور ۷/۴-۳/۵ میکرومتر می‌باشد. دیواره هیف اتصال دو لایه‌ای است که در امتداد لایه‌های اول تا سوم دیواره اسپور می‌باشند. لایه اول آن به تدریج تجزیه شده و به ندرت در اسپورهای بالغ وجود دارد. روزنه توسط یک لایه خمیده (سپتوم) در امتداد لایه چهارم دیواره اسپور، مسدود شده است. در این گونه قارچی جوانه‌زنی ناشناخته می‌باشد.

از نظر ریخت‌شناسی، گونه *E. furrazolae* شباهت زیادی به *C. drummondii* دارد. در هر دو گونه، داخلی‌ترین لایه دیواره اسپور که نازک و ارتجاعی است، در معرف ملزر واکنش نشان می‌دهد. با این حال، تفاوت کلیدی بین این دو گونه در تعداد لایه‌های دیواره اسپور می‌باشد که در بالا به آن اشاره شده است. از طرفی، در گونه *E. drummondii* لایه سوم دیواره اسپور و در *E. furrazolae* لایه اول و لایه چهارم دیواره اسپور (که در گونه اول وجود ندارد)، این واکنش رنگ‌پذیری دیده می‌شود (Blaszkowski et al., 2022).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۵- *Entrophospora furrazolae*: الف و ب: اسپور کامل، پ و ت: لایه‌های دیواره اسپور. L1: لایه اول، L2: لایه دوم، L3: لایه سوم، L4: لایه چهارم

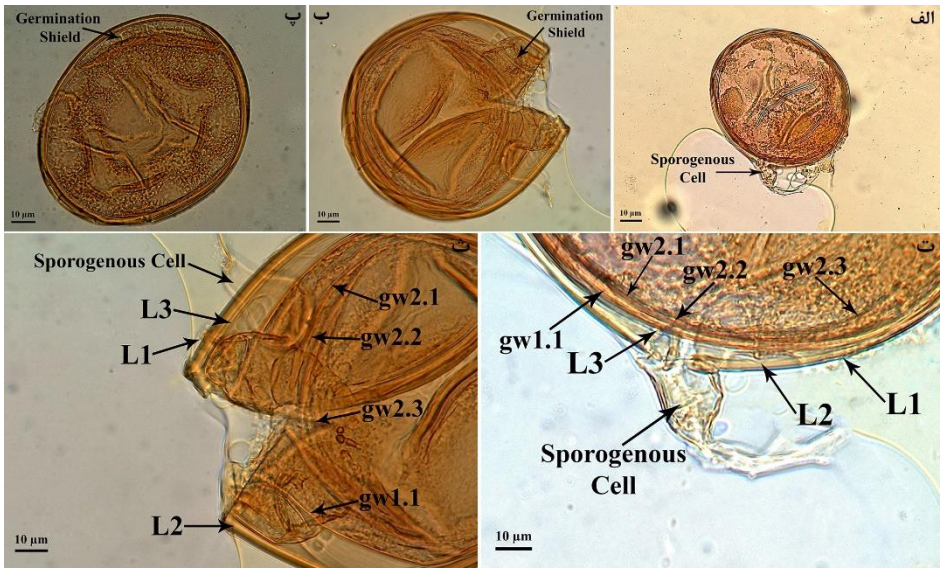
Scutellospora graeca Blaszkowski et al.

در این گونه قارچی، اسپورها به‌صورت منفرد و انتهایی روی سلول‌های اسپورزا تشکیل می‌شوند. اسپورها به رنگ زرد تا زرد روشن، بیضوی با ابعاد ۲۲۰-۱۸۵ × ۱۵۵-۱۲۰ میکرومتر و به ندرت کروی به قطر ۱۶۵-۱۴۰ میکرومتر می‌باشند (شکل ۶-الف-ب-پ). دیواره اسپور (SW) دارای سه لایه دائمی است. لایه اول (L1) شفاف، صاف، نیمه‌سخت و ۱/۲ میکرومتر ضخامت دارد. این لایه محکم به لایه دوم متصل شده است. لایه دوم (L2) به رنگ زرد تا زرد روشن و ورقه‌ای بوده و به ضخامت ۶/۵-۳/۹ میکرومتر می‌باشد. لایه سوم (L3) زرد مایل به سفید، ارتجاعی تا نیمه ارتجاعی و نازک (کمتر از ۱ میکرومتر) است (شکل ۶-ت-ث). این گونه قارچی دارای دیواره تندشی اول (gw1) و دوم (gw2) می‌باشد. دیواره تندشی اول دارای یک لایه ارتجاعی، شفاف و به ضخامت ۱/۳-۱ میکرومتر است که فقط در اسپورهای شکسته قابل مشاهده می‌باشد. دیواره تندشی دوم از سه لایه مجزا تشکیل شده است. لایه اول شفاف و به ضخامت ۳-۲/۳ میکرومتر می‌باشد. لایه دوم ارتجاعی و با ضخامت ۱/۸-۱/۴ میکرومتر بوده و در معرف ملرز به رنگ صورتی تا بنفش در می‌آید. لایه سوم ارتجاعی و به ضخامت کمتر از ۱ میکرومتر می‌باشد (شکل ۶-ت-ث). سلول اسپورزا[1] تخم‌مرغی شکل، هم‌رنگ یا کمی روشن‌تر از اسپور و به ضخامت ۲۷-۱۸ × ۲۶-۱۴ میکرومتر می‌باشد. دیواره آن از دو لایه پیوسته با لایه‌های اول و دوم دیواره اسپور تشکیل شده است که لایه اول شفاف و به ضخامت ۱/۳-۱ میکرومتر و لایه دوم با ضخامت ۲ تا ۳ میکرومتر می‌باشند. غلاف جوانه‌زنی[2] این گونه قارچی شفاف، بیضوی و به ابعاد ۳۲/۸-۹ × ۴۳/۵-۲۷ میکرومتر است (شکل ۶-ب-پ).

[1] Sporogenous cell

[2] Germination Shield

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]



شکل ۶- *Scutellospora graeca*: الف: اسپور به همراه سلول اسپورزا، ب و پ: سلول بالغ به همراه غلاف جوانه‌زنی، ت و ث: لایه‌های دیواره اسپور و دیواره‌های تندشی. L1: لایه اول، L2: لایه دوم، L3: لایه سوم، gw1.1: لایه اول دیواره تندشی اول، gw2.1: لایه اول دیواره تندشی دوم، gw2.2: لایه دوم دیواره تندشی دوم، gw2.3: لایه سوم دیواره تندشی دوم، Germination shield: غلاف جوانه‌زنی

بحث و نتیجه گیری

شناسایی و طبقه‌بندی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار به‌طور عمده، براساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی اسپورها انجام می‌شود که رویکردی ساده، سریع و مقرون به صرفه محسوب می‌گردد (Blaszkowski, 2012). با استفاده از این روش، امکان تمایز جنس‌ها و خانواده‌های مختلف میکوریز آربوسکولار براساس شاخص‌هایی همچون نحوه تولید اسپور و نوع اتصال هیف به اسپور، فراهم می‌شود. در حالی‌که شناسایی دقیق‌تر در سطح گونه، مستلزم بررسی ویژگی‌های ریزساختاری دیواره اسپور از جمله رنگ، تعداد، نوع و ضخامت لایه‌های دیواره و همچنین، وجود یا عدم وجود ساختارهای تندشی می‌باشد (Souza, 2015). این بررسی‌های میکروسکوپی علاوه‌بر شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، به‌عنوان شواهد معتبری برای تأیید وجود همزیستی میکوریزی در گیاهان یک منطقه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش به‌کار گرفته شده در بررسی حاضر، با وجود چالش‌های ناشی از تنوع ریخت‌شناختی، کارایی خود را به عنوان روشی پایه و کاربردی در مطالعات بوم‌شناختی و تنوع زیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در رویشگاه‌های طبیعی به خوبی به اثبات رساند.

نتایج حاصل از این بررسی حاکی از تنوع بالای گونه‌های میکوریز آربوسکولار در فراریشه گندمیان وحشی منتخب بود که احتمالا با غنای بالای گونه‌های گیاهی موجود در مراتع استان گلستان، مرتبط می‌باشد (Hiiesalu et al., 2014; Stevens et al., 2020). علاوه‌برگیاه میزبان، جمعیت و تنوع این گروه قارچی تحت تأثیر عوامل دیگری از جمله شرایط اقلیمی منطقه، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک (نظیر حاصلخیزی، بافت، اسیدیته و رطوبت)، شدت نور، درجه حرارت، میزان مواد مغذی در دسترس و ترکیب جوامع میکروبی ناحیه فراریشه قرار می‌گیرد (Silva-Flores et al., 2019; Xiao et al., 2019; Miao-Miao et al., 2020; Alrajhei et al., 2022). واکنش گونه‌های مختلف میکوریز آربوسکولار به این عوامل در زیستگاه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد (Kivlin et al., 2013). در این مطالعه، برخی گونه‌های قارچی مانند *F. mosseae* و *C. etunicatum* از اکثر مراتع جداسازی و شناسایی شدند که با یافته‌های مطالعات دیگر مبنی بر سازگاری اکولوژیکی گسترده این گونه‌ها و تحمل بالای آن‌ها به نوسانات محیطی همخوانی دارد (Chen et al., 2018b; Melo et al., 2020; Chaudhary et al., 2025). در مقابل، گونه‌هایی مانند *A. bireticulata* یا *C. lamellosum* تنها از یک رویشگاه/گیاه میزبان خاص گزارش شدند. اگرچه این الگو می‌تواند نشان دهنده حساسیت بالقوه این گونه‌ها به شرایط محیطی خاص و یا وجود روابط همزیستی اختصاصی‌تر در آن اکوسیستم باشد (Lu et al., 2022) اما با توجه به اینکه

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

از هر مرتع تنها یک گونه گیاهی بررسی شده است، نمی‌توان با قاطعیت تفاوت‌های مشاهده شده را به شرایط محیطی نسبت داد. همچنین، عدم اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک و داده‌های اقلیمی دقیق در زمان نمونه‌برداری، امکان تحلیل‌های چندمتغیره برای شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر ساختار جامعه قارچی را محدود نموده است. در حقیقت، تفکیک سهم دقیق هر یک از این عوامل و تأیید قطعی آن نیازمند بررسی‌های تکمیلی با نمونه‌برداری گسترده‌تر از میزبان‌های گیاهی مختلف می‌باشد تا براساس آن اثرات میزبان از اثرات محیطی متمایز گردد (Chagnon and Brisson, 2017). از سوی دیگر، الگوی پراکنش مشاهده شده می‌تواند پیچیدگی روابط اکولوژیک حاکم بر جامعه میکوریز آربوسکولار در مراتع استان گلستان و اختصاصی‌تر بودن همزیستی در برخی شرایط محیطی را به خوبی نشان می‌دهد.

مطابق نتایج به‌دست آمده از بررسی حاضر، علف پشمکی، چمن یک‌ساله، چچم و جوموشی از نظر تنوع گونه‌های میکوریز آربوسکولار همزیست با یکدیگر تفاوت قابل توجهی داشتند. مشاهده بالاترین تنوع گونه‌ای در گیاه جوموشی و کمترین تنوع در چچم را می‌توان به ترکیبی از ویژگی‌های ذاتی گیاه میزبان (مانند ترکیبات موجود در ترشحات ریشه) و شرایط محیطی هر مرتع باشد (Bennett et al., 2017). ویژگی‌های ژنتیکی گیاه و ساختار سیستم ریشه‌ای آن، نقش تعیین‌کننده‌ای در برقراری موفقیت‌آمیز رابطه همزیستی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار دارند (van Der Heijden et al., 2015). در حقیقت، گیاهانی که از سیستم ریشه‌ای گسترده و متراکمی برخوردارند، وابستگی کمتری به این همزیستی نشان می‌دهند. در مقابل، گیاهان با تراکم ریشه‌ای محدود، به میزان قابل توجهی از این رابطه سود برده و شبکه‌های هیفی قارچی، نقش مکمل ریشه را ایفا کرده و دسترسی به عناصر غذایی کم‌تحرک مانند فسفر را بهبود می‌بخشد (Kahiluoto et al., 2000; Zhu et al., 2016). همچنین، توانایی گونه‌های گیاهی مختلف برای برقراری همزیستی میکوریزی، به‌طور ذاتی متفاوت می‌باشد (Bever et al., 2009; Willis et al., 2013). برخی گیاهان با به‌کارگیری سازوکارهای بیوشیمیایی و مولکولی ویژه، سبب افزایش پذیرش کلونیزاسیون میکوریزی و برخی دیگر نسبت به این همزیستی واکنش بازدارنده یا محدود نشان می‌دهند (Smith and Read, 2008). در این مطالعه، گیاهان بومی مراتع استان گلستان به‌عنوان ذخایر ژنتیکی طبیعی عمل کرده و منجر به شناسایی دو گونه قارچی جدید شدند. این یافته بر اهمیت اکولوژیک گندمیان وحشی به عنوان میزبانانی کلیدی برای حفظ و نگهداری تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در اکوسیستم‌های مرتعی تأکید می‌کند.

علی‌رغم وجود اختصاصیت میزبانی بسیار پایین در قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (Dhar et al., 2015)، در برخی گونه‌های قارچی، ترجیح میزبانی یا رابطه ترجیحی با گیاه میزبان مشخصی وجود دارد (Chen et al., 2018a). به این معنا که یک گونه قارچی ممکن است در حضور چند گیاه میزبان، رشد و عملکرد بهتری روی یک گیاه داشته باشد. ترجیح میزبان به عوامل متعددی از قبیل نوع وغلظت سیگنال‌های شیمیایی گیاه (نظیر استریگولاکتون‌ها)، ترکیب بیوشیمیایی ترشحات ریشه، ساختار و آناتومی ریشه و همچنین سازگاری تکاملی بین قارچ و گیاه بستگی دارد (Klironomos, 2003; Tahat et al., 2012). در حقیقت، این تفاوت‌ها ممکن است ناشی از ترشحات ریشه گیاهان میزبان باشد که در مراحل مختلف رشدی یا تحت تاثیر شرایط محیطی متفاوت، ترکیبات شیمیایی مختلفی تولید می‌کنند. این ترشحات می‌توانند به‌صورت فعالانه در گزینش جامعه میکوریز آربوسکولار همزیست نقش داشته باشند و گونه‌هایی که بیشترین سازگاری دارند، انتخاب کنند (Brito et al., 2021). اگرچه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بیشتر به‌عنوان همزیست‌های مفید شناخته می‌شوند، اما پتانسیل ایجاد اثرات منفی در شرایط خاص محیطی وجود دارد (Johnson et al., 1997). در این مطالعه، تمامی ۲۱ گونه شناسایی‌شده متعلق به جنس‌های شناخته‌شده‌ای بودند که در پژوهش‌های متعددی به‌عنوان قارچ‌های مفید معرفی شده‌اند (Schussler and Walker, 2010). همچنین، مشاهده ساختارهای عملکردی مانند آربوسکول‌های فعال و وزیکل‌ها در ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده و سلامت ظاهری گیاهان میزبان از یک سو و از سوی دیگر، عدم مشاهده هیچ گونه علائم بیماری یا اختلال رشد در بررسی حاضر، مؤید ماهیت مفید همزیستی میکوریز آربوسکولار در شرایط اکولوژیکی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

به‌طور کلی، شناسایی تنوع گونه‌ای و اکولوژیکی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در رویشگاه‌های طبیعی، به‌ویژه مراتع، نه تنها سبب درک بهتر از روابط پیچیده گیاه-قارچ می‌شود، بلکه زمینه‌ساز بهره‌برداری هدفمند از این ریزجانداران در کشاورزی پایدار نیز خواهد بود (Abdel-Fattah et al., 2011; Kivlin et al., 2013). این پژوهش به‌طور مشخص نشان داد که مراتع جنوبی استان گلستان دارای جوامع متنوع میکوریز آربوسکولار است که نشان‌دهنده پتانسیل اکولوژیکی بالای این بوم‌سازگان به‌عنوان ذخایر طبیعی می‌باشد. از طرفی، وجود چنین تنوعی در مراتع دست‌نخورده، می‌تواند به‌عنوان یک شاخص سلامت خاک و پایداری اکوسیستم در نظر گرفته شود. بنابراین، با توجه به تنوع بالای گونه‌های میکوریز آربوسکولار شناسایی‌شده در این پژوهش، به‌ویژه گونه‌های بومی و فراوان مانند *F. mosseae* و *C. etunicatum*، توصیه می‌شود از این منابع قارچی به‌عنوان زادمایه‌های بومی در برنامه‌های احیای مراتع، افزایش کارایی جذب عناصر غذایی و بهبود پایداری و حفاظت پوشش‌های گندمیان منطقه استفاده گردد؛ زیرا گونه‌های شناسایی‌شده علاوه بر گندمیان، قابلیت همزیستی با طیف گسترده‌ای از گیاهان مرتعی را نیز داشته و می‌توانند به‌عنوان ابزارهای زیستی مهم در مدیریت پایدار اکوسیستم‌های طبیعی به‌کار روند.

منابع

جعفریان، ن.، میرزایی، ج.، امیدی‌پور، ر.، کوچ، ی. ۱۴۰۲. شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست با گونه‌های گیاهی در رویشگاه‌های مختلف بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در ایلام، بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۱۱(۲۲): ۷۳-۸۷.

حاتمی، ن.، عیدی، ب.، صداقتی، ا.، درویش‌نیا، م. ۱۳۹۹. مطالعه‌ی همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با برخی گیاهان دارویی یک‌ساله و شناسایی ریخت‌شناسی گونه‌های غالب این قارچ‌ها در استان کرمان، فصلنامه علمی زیست‌شناسی میکروارگانیسم‌ها، ۹(۳۳): ۵۵-۴۱.

روستا، م.ج.، میتینی‌زاده، م.، نوری، ا.، زرافشار، م.، عنایتی، م. ۱۴۰۲. بررسی تنوع، فراوانی، میزان همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با درختان و گیاهان مرتعی در ایستگاه کوثر، بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۱۱(۲۱): ۱۶۹-۱۵۹.

صالحی‌جوزانی، غ.، اکبری‌والا، س.، ثابت‌جهرمی، م.، مرسلی، ح. ۱۳۹۰. جداسازی و شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار غالب در ریزوسفر گندم، جو و علف‌های هرز برخی مناطق زراعی شور ایران، مجله علمی-پژوهشی زیست‌فناوری گیاهان زراعی، ۱: ۷۵-۶۱.

صدروی، م. ۱۳۸۱. معرفی پنج گونه گلوموس از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار ایران، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ایران، ۹: ۳۰-۱۵.

صدروی، م. ۱۳۸۵. قارچ‌های میکوریز آربوسکولار مزارع گندم در استان گلستان، مجله رستنی‌ها، ۷: ۱۴۰-۱۲۹.

مشیری‌رضوانی، ر. ۱۳۷۸. شناسایی قارچ‌های همزیست ریشه مهمترین گیاهان زینتی در گلخانه‌های استان گلستان، پایان¬نامه کارشناسی ارشد بیماری¬شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

موسوی، ن.، صداقتی، ا.، خدایگان، پ.، علایی، ح.، حاتمی، ن. ۱۴۰۲. مطالعه تنوع و کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریز آربوسکولار منطقه حفاظت شده کلاه‌قاضی، استان اصفهان، فصلنامه علوم محیطی، ۲۱(۳): ۴۸-۳۱.

میرزایی، ج.، دوستکامی، س.، مرادی، م. ۱۳۹۶. شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست با گونه‌های گیاهی در منطقه حفاظت شده مانشت و قلارنگ ایلام، جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۰(۴): ۵۴۹-۵۵۷.

یزدان‌پناه، م.، صداقتی، ا.، خدایگان. پ.، علایی. ح.، نادی. م. ۱۳۹۵. شناسایی مورفولوژیکی و مولکولی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست با ریشه پسته در استان کرمان، علوم و فناوری پسته، ۲(۴): ۲۸-۱۱.

Abdel-Fattah, G.M., El-Haddad, S.A., Hafez, E.E., Rashad, Y.M. 2011. Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. Microbiological Research, 166(4): 268-281.

Alrajhei, K., Saleh, I., Abu-Dieyeh, M.H. 2022. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in plant roots and rhizosphere soil from different arid land environment of Qatar. Plant Direct, 6(1): e369.

Arevalo, Y., Avila-Salem, M.E., Lojan, P., Urgiles-Gomez, N., Pucha-Cofrep, D., Aguirre, N., Benavidez-Silva, C. 2025. Arbuscular mycorrhizal fungi in the ecological restoration of tropical forests: a bibliometric review. Forests, 16(8): 1266.

Austrheim, G., Evju, M., Mysterud, A. 2005. Herb abundance and life-history traits in two contrasting alpine habitats in southern Norway. Plant Ecology, 179(2): 217-229.

Bever, J.D., Richardson, S.C., Lawrence, B.M., Holmes, J., Watson, M. 2009. Preferential

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

Clapp, J.P., Rodriguez, A., Dodd, J.C. 2001. Inter-and intra-isolate rRNA large subunit variation in *Glomus coronatum* spores. New Phytologist, 149: 539-554.

Devi, N.O., Tombisana Devi, R.K., Debbarma, M., Hajong, M., Thokchom, S. 2022. Effect of endophytic Bacillus and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) against Fusarium wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 32: 1-14.

Dhar, P.P., Al-Qarawi, A.A., Mridha, M.A. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungal association in Asteraceae plants growing in the arid lands of Saudi Arabia. Journal of Arid Land, 7(5): 676-686.

Genre, A., Lanfranco, L., Perotto, S., Bonfante, P. 2020. Unique and common traits in mycorrhizal symbioses. Nature Reviews Microbiology, 18: 649-660.

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

Hall, I.R. 1984. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Hiiesalu, I., Partel, M., Davison, J., Gerhold, P., Metsis, M., Moora, M., Opik, M., Vasar, M., Zobel, M., Wilson, S.D. 2014. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi: associations with grassland plant richness and biomass. New Phytologist, 203(1): 233-244.

Johnson, N.C., Graham, J.H., Smith, F.A. 1997. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism–parasitism continuum. The New Phytologist, 135(4): 575-585 .

Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. Plant Disease Reporter, 48: 692.

Kahiluoto, H., Ketoja, E., Vestberg, M. 2000. Promotion of utilization of arbuscular mycorrhiza through reduced P fertilization 1. Bioassays in a growth chamber. Plant and Soil, 227(1): 191-206.

Karaarslan, E., Uyanoz, R., Dogu, S. 2015. Morphological identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza on bulbous plants (Taurus mountain in Turkey). Archives of Biological Sciences, 67(2): 411-426.

allocation to beneficial symbiont with spatial structure maintains mycorrhizal mutualism. Ecology Letters, 12(1): 13-21.

Bennett, J.A., Maherali, H., Reinhart, K.O., Lekberg, Y., Hart, M.M., Klironomos, J. 2017. Plant-soil feedbacks and mycorrhizal type influence temperate forest population dynamics. Science, 355(6321): 181-184.

Biermann, B., Linderman, R.G. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: a proposed method towards standardization. New Phytologist, 87(1): 63-67.

Blaszkowski, J. 1993. Comparative studies of the occurrence of arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) in cultivated and uncultivated soils of Poland. Acta Mycologica, 28: 93-140.

Blaszkowski, J. 2012. Glomeromycota, W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences.

Blaszkowski, J., Sanchez-Garcia, M., Niezgoda, P., Zubek, S., Fernandez, F., Vila, A., Al-Yahya'ei, M.N., Symanczik, S., Milczarski, P., Malinowski, R., Cabello, M. 2022. A new order, Entrophosporales, and three new *Entrophospora* species in Glomeromycota. Frontiers in Microbiology, 13: 962856.

Brito, I., Carvalho, M., Goss, M.J. 2021. Managing the functional diversity of arbuscular mycorrhizal fungi for the sustainable intensification of crop production. Plants, People, Planet, 3(5): 491-505.

Chagnon, P.L., Brisson, J. 2017. The role of mycorrhizal symbioses in phytotechnology. Botany, 95(10): 971-982.

Chaudhary, A., Poudyal, S., Kaundal, A. 2025. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in maintaining sustainable agroecosystems. Applied Microbiology, 5(1): 6-25.

Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., Reinhardt, D. 2018a. Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi–from ecology to application. Frontiers in Plant Science, 1270(9): 1-14.

Chen, X., Tang, M., Zhang, X., Hamel, C., Liu, S., Huo, Y., Sheng, M. 2018b. Effects of plant neighborhood on arbuscular mycorrhizal fungal attributes in afforested zones. Forest Ecology and Management, 422: 253-262.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

Oehl, F., Silva, G.A., Goto, B.T., Sieverding, E. 2011. Glomeromycota: three new genera, and glomoid species reorganized. Mycotaxon, 116: 75-120.

Phillips, J.M., Hayman, D.S. 1970. Improved procedures clearing root and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Mycological Research, 55: 158-161.

Qin, Z., Zhang, H., Feng, G., Christie, P., Zhang, J., Li, X., Gai, J. 2020. Soil phosphorus availability modifies the relationship between AM fungal diversity and mycorrhizal benefits to maize in an agricultural soil. Soil Biology and Biochemistry, 144: 107790.

Qu, S.L., Wu, Y.F., Liu, Z.K., Wang, G.L., Chen, Y.J., Rong, Y.P. 2022. Research progress for effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and development of alfalfa. Acta Agrestia Sinica, 30(10): 2529.

Schussler, A., Walker, C. 2010. The Glomeromycota: a species list with new families and new genera.

Silva-Flores, P., Bueno, C.G., Neira, J., Palfner, G. 2019. Factors affecting arbuscular mycorrhizal fungi spore density in the Chilean Mediterranean-type ecosystem. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 19(1): 42-50.

Smith, S.E., Read, D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. UK. London, Academic Press, 125 pp.

Souza, T. 2015. Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi. Cham: Springer, 153 pp.

Stevens, B.M., Propster, J.R., Opik, M., Wilson, G.W., Alloway, S.L., Mayemba, E., Johnson, N.C. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi in roots and soil respond differently to biotic and abiotic factors in the Serengeti. Mycorrhiza, 30(1): 79-95.

Tahat, M.M., Sijam, K. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant root exudates bio-communications in the rhizosphere. African Journal of Microbiology Research, 6(46): 7295-7301.

Van Der Heijden, M.G., Martin, F.M., Selosse, M.A., Sanders, I.R. 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. New Phytologist, 205(4): 1406-1423.

Khaliq, A., Perveen, S., Alamer, K.H., Zia Ul Haq, M., Rafique, Z., Alsudays, I.M. Althobaiti, A.T., Saleh, M.A., Hussain, S., Attia, H. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis to enhance plant–soil interaction. Sustainability, 14(13): 7840.

Kivlin, S.N., Emery, S.M., Rudgers, J.A. 2013. Fungal symbionts alter plant responses to global change. American Journal of Botany, 100(7): 1445-1457.

Klironomos, J.N. 2003. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. Ecology, 84(9): 2292-2301.

Lethielleux-Juge, C. 2025. roles of mycorrhizal symbioses and associated soil microbiomes in ecological restoration. Frontiers in Microbiology, 16: 1456041.

Li, W., Li, W.B., Xing, L.J., Guo, S.X. 2023. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on microorganism of phenanthrene and pyrene contaminated soils. International Journal of Phytoremediation, 25(2): 240-251.

Lu, N., Zhang, P., Wang, P., Wang, X., Ji, B., Mu, J. 2022. Environmental factors affect the arbuscular mycorrhizal fungal community through the status of host plants in three patterns of Chinese fir in southern China. Global Ecology and Conservation, 36: e02121.

Melo, C.D., Pimentel, R., Walker, C., Rodriguez-Echeverria, S., Freitas, H., Borges, P.A. 2020. Diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi along a land use gradient in Terceira Island (Azores). Mycological Progress, 19(7): 643-656.

Miao-Miao, X.I.E., Yu, W.A.N.G., Qiu-Shuang, L.I., Kamil, K.U.C.A., Qiang-Sheng, W.U. 2020. A friendly-environmental strategy: application of arbuscular mycorrhizal fungi to ornamental plants for plant growth and garden landscape. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 48(3): 1100-1115.

Noreen, S., Yaseen, T., Iqbal, J., Abbasi, B.A., Farouk Elsadek, M., Eldin, S.M., Ijaz, S., Ali, I. 2023. Morphological and molecular characterizations of arbuscular mycorrhizal fungi and their influence on soil physicochemical properties and plant nutrition. ACS Omega, 8(36): 32468-32482.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]

Willis, A., Rodrigues, B.F., Harris, P.J. 2013. The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. Critical Reviews in Plant Sciences, 32(1): 1-20.

Xiao, Y., Yang, L., Nie, X., Li, C., Xiong, F., Wang, L., Zhou, G. 2019. Effects of slope position on phylogenetic diversity and structure of alpine shrub community. Chinese Journal of Ecology, 38(6): 1611 .

Zhu, X., Song, F., Liu, S., Liu, F. 2016. Arbuscular mycorrhiza improves growth, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency in wheat grown under elevated CO_2. Mycorrhiza, 26(2): 133-140.

Wang, F. 2017. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in mining-impacted sites and their contribution to ecological restoration: Mechanisms and applications. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 47(20): 1901-1957.

Wang, H., Hao, Z., Zhang, X., Xie, W., Chen, B. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi induced plant resistance against fusarium wilt in jasmonate biosynthesis defective mutant and wild type of tomato. Journal of Fungi, 8(5): 422.

Wang, Y., Li, Y., Duan, T. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungus changes alfalfa response to pathogen infection activated by pea aphid infestation. Frontiers in Microbiology, 13: 1074592.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-11-12]