مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۳۰ شماره ۳، صفحه ۲۵۶-۲۴۱، (۱۴۰۱)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2022.360138.2069
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350883.1401.30.3.3.1

تنوع زیستی و همزیستی قارچ‌های میکوریز با درختان بادام (*Amygdalus* sp.) در جنگل‌های زاگرس، استان ایلام

مریم کاظم‌زاده [۱]، جواد میرزایی [۲*] و ناهید جعفریان [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌داری، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. پست الکترونیک: j.mirzaei@ilam.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶

چکیده

همزیستی قارچ‌های میکوریزی با ریشه گیاهان، یکی از مهم‌ترین روابط همزیستی در خاک است. در این پژوهش، تنوع زیستی و همزیستی قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار (AMF) با ریشه درختان بادام بی‌برگ (*Amygdalus arabica* Olivier)، تنگرس (*A. lycioides* Spach)، بادام برگ‌سنجدی (*A. elaeagnifolia* Spach) و بادام شرقی (*A. orientalis* Mill.) در سه رویشگاه در استان ایلام بررسی شدند. پس از نمونه‌گیری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، اسپورهای قارچ‌های میکوریز به‌روش الک مرطوب جدا شدند و قارچ‌ها براساس ویژگی‌های ریخت‌شناختی اسپور شناسایی شدند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، ۳۴ گونه AMF متعلق به ۱۰ جنس مختلف وجود داشتند. بیشترین تنوع زیستی این قارچ‌ها (۲۸ گونه) در بادام بی‌برگ مشاهده شد. همچنین، ۱۹ گونه AMF در بادام برگ‌سنجدی، ۲۵ گونه در بادام شرقی و ۲۶ گونه در تنگرس شناسایی شدند. بیشترین میانگین فراوانی نسبی در بین جنس‌ها و گونه‌های قارچ همزیست با جنس بادام به‌ترتیب متعلق به *Glomus* با ۴۹ درصد و *G. nanolumen* با ۲۱ درصد بودند. تراکم اسپورهای AMF، غنای گونه‌ای و شاخص تنوع شانون- وینر آن‌ها بین گونه‌های مختلف بادام، اختلاف معنی‌داری داشتند. به‌طوری‌که بیشینه هر سه شاخص مذکور در بادام بی‌برگ مشاهده شد. همچنین، تراکم اسپور با مقدار فسفر و درصد شن خاک، همبستگی منفی و با درصد رس خاک، همبستگی مثبت نشان داد.

واژه‌های کلیدی: غنای گونه‌ای، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، کلنیزاسیون، منطقه نیمه‌خشک.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین همزیستی‌های موجود در خاک، ارتباط بین گیاهان و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF) است. این قارچ‌ها به‌عنوان همزیست اجباری با ریشه گیاهان ارتباط برقرار می‌کنند و از طریق هیف‌های خود، بخشی از مواد غذایی لازم را برای گیاه میزبان فراهم می‌کنند (Dotzler *et al.*, 2009). طبیعت خاک و ترکیب گیاهی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بر تنوع زیستی گونه‌های AMF بومی تأثیر می‌گذارد. همچنین، بهره‌وری زیست‌توده گونه‌های گیاهی نیز تحت تأثیر غنا و تنوع گونه‌های قارچی است (Hashem *et al.*, 2018). این قارچ‌ها قادر به ایجاد رابطه همزیستی با ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی زمینی هستند (Wilkes, 2021).

رابطه همزیستی گیاه و قارچ در همه‌جا وجود دارد و نقش‌های بوم‌شناختی بسیار مهمی در بوم‌سازگان‌های طبیعی ایفا می‌کند (Arriagada *et al*., 2004). همزیستی ریشه و AMF با افزایش تحمل گیاه به تنش‌های زیستی، اثرات مهمی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد. به‌طوری‌که این همزیستی سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر استرس‌های محیطی (خشکی، شوری، آفات و بیماری‌ها) (Calvet *et al*., 2004)، افزایش فتوسنتز و تثبیت نیتروژن زیستی در گیاه میزبان (Wehner *et al*., 2010) و کمک به رشد و استقرار نهال‌ها (Brundrett, 1991) می‌شوند. تشکیل همزیستی با AMF، توانایی گیاهان را برای جذب آب و مواد غذایی (به‌ویژه فسفر) از خاک بهبود می‌بخشد و درنتیجه، رشد آن‌ها را در زیر خاک در شرایط نامساعد افزایش می‌دهد (Requena *et al*., 2001). به این دلیل‌ها، نقش قارچ‌های مذکور در برنامه‌های احیایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار مهم هستند (Allen, 2007; Mirzaei & Noorbakhsh, 2015).

یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت پایدار بوم‌سازگان زاگرس، احداث و احیای جنگل‌ها در مناطق تخریب‌یافته و در معرض تخریب است. در مناطق تخریب‌یافته به‌علت از بین رفتن پوشش گیاهی، عناصر غذایی خاک کاهش می‌یابند که سبب محدودیت در استقرار و تجدیدحیات طبیعی می‌شود. یکی از راهکارهای مقابله با این مشکل، استفاده از گونه‌های بومی منطقه و بهبود توانایی نهال در مقابله با تنش‌های محیطی مانند کمبود آب و عناصر غذایی است. بادام (*Amygdalus* spp.) از گونه‌های بومی در جنگل‌های زاگرس است. باتوجه‌به دامنه بوم‌شناختی وسیع این جنس، گونه‌های مختلف آن با تنوع ژنتیکی زیاد در مناطق خشک و نیمه‌خشک رویش دارند. ازجمله مهم‌ترین گونه‌های بادام در جنگل‌های زاگرس می‌توان بادام بی‌برگ (*A. arabica* Olivier)، بادام برگ‌سنجدی (*A. elaeagnifolia* Spach)، تنگرس (*A. lycioides* Spach) و بادام شرقی (*A. orientalis* Mill.) اشاره کرد. این گونه‌ها مناسب احیا و غنی‌سازی جنگل‌های زاگرس به‌ویژه در مناطق تخریب‌یافته هستند (Jahanbazi Goujani *et al*., 2006). باتوجه‌به کاربرد بیشتر گونه‌های درختی بومی در مناطق تخریب‌شده به‌علت سازگاری و تنوع زیستی بیشتر آن‌ها و نقش قارچ‌های میکوریز در افزایش احتمال موفقیت احیای این مناطق، شناسایی و بررسی تنوع قارچ‌های میکوریز همزیست با گونه‌های بومی از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

درزمینه شناسایی قارچ‌های همزیست در بعضی نقاط دنیا، پژوهش‌هایی انجام گرفته است. اثرات احتمالی قارچ‌ها بر رشد گونه‌های گیاهی برای اولین‌بار توسط Kamienski در سال ۱۸۸۱ گزارش شد (Sjöberg, 2005). در ایران در سال ۱۳۶۳ برای اولین‌بار گونه‌های میکوریزی *Gigaspora margarita* و *Glomus fasciculatum* از باغ‌های مرکبات جنوب کشور جداسازی شدند (Mehravaran & Minassian, 1984). طی سال‌های اخیر، پژوهش‌های بسیاری در خصوص شناسایی قارچ‌های میکوریزی همزیست با درختان جنگلی صورت گرفته است. ازجمله، بررسی تنوع زیستی قارچ‌های میکوریز همزیست با سه گونه اقاقیا (*Acacia* spp.) در جنوب غربی عربستان سعودی حاکی از شناسایی پنج جنس AMF شامل *Glomus*، *Claroideoglomus*، *Acaulospora*، *Gigaspora* و *Scutellospora* بودند (Mahdhi *et al*., 2020). در پژوهشی دیگر، ۱۵ گونه AMF متعلق به هفت جنس و چهار خانواده همزیست با اقاقیا (*Acacia gerrardii* Benth.) در زیستگاه‌های مختلف عربستان سعودی شناسایی شدند (Hashem *et al*., 2018). پژوهش‌های محدودی نیز در خصوص تنوع زیستی گونه‌های AMF در ایران انجام گرفته‌اند. Jafarian و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تنوع زیستی قارچ‌های میکوریز همزیست با هشت گونه درختی و درختچه‌ای ازجمله بادام بی‌برگ و بادام برگ‌سنجدی در جنگل‌های شهرستان ایلام، ۴۲ گونه AMF متعلق به ۱۳ جنس را شناسایی کردند. همچنین، حضور نُه گونه قارچ همزیست با بادام شرقی در ذخیره‌گاه جنگلی تنگ خشک سمیرم در استان اصفهان (Elahi *et al*., 2013)، هفت گونه AMF همزیست با بادامک (*A. scoparia* Spach) در استان ایلام

(Mirzaei & Heydari, 2014) و ۱۸ گونه متعلق به هفت جنس AMF همزیست با ریشه‌های شوراب ۲ و GF677 از بادام (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb) در استان کرمان (Bahrami Nezhad, 2015) گزارش شدند. بااین‌حال، تاکنون پژوهشی در خصوص شناسایی و بررسی تنوع زیستی گونه‌های AMF همزیست با چندین گونه مختلف بادام در ایران صورت نگرفته است. در پژوهش پیش‌رو، قارچ‌های میکوریز همزیست با چهار گونه بادام شامل بادام بی‌برگ، بادام برگ‌سنجدی، تنگرس و بادام شرقی با هدف شناسایی گونه‌های AMF و بررسی ارتباط بین تراکم اسپور و تنوع زیستی این قارچ‌ها با ویژگی‌های خاک بررسی شدند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

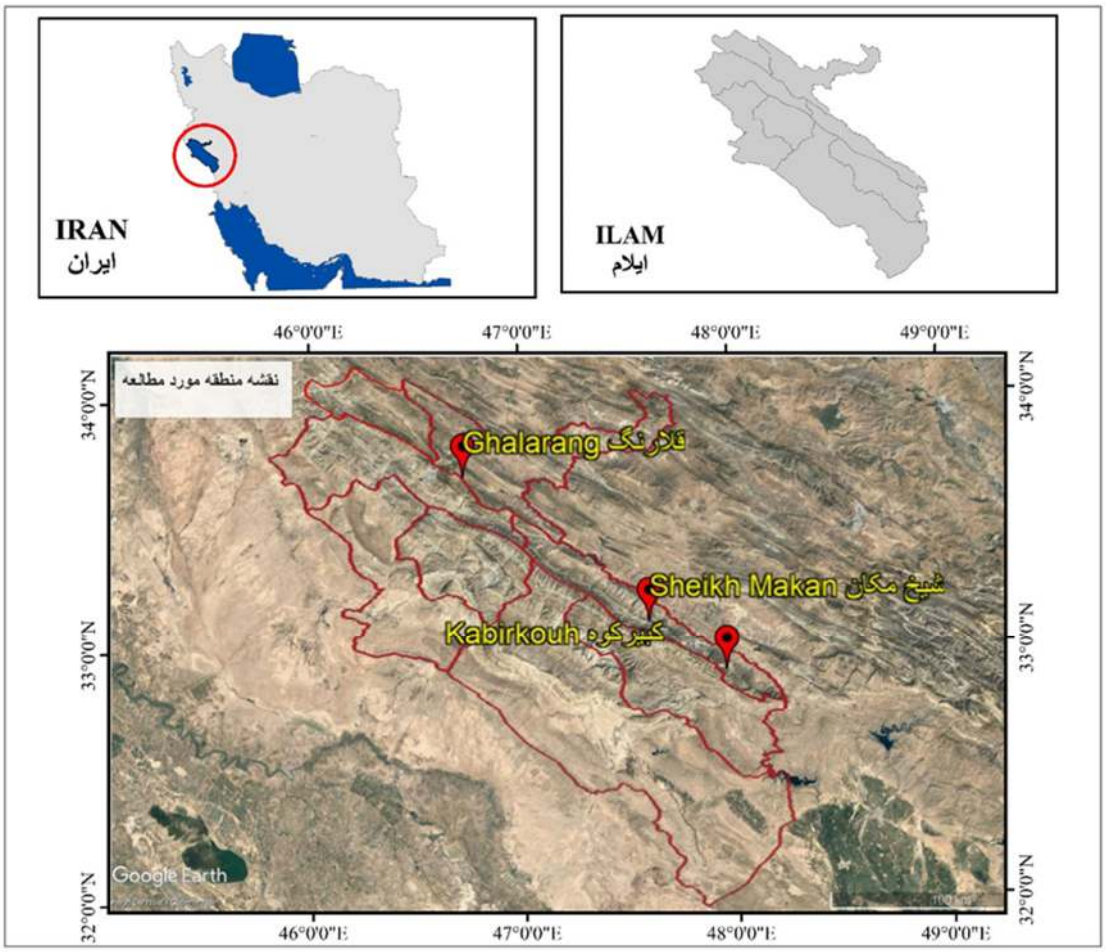
این پژوهش در سه منطقه از توابع استان ایلام شامل قلارنگ در شهرستان ایلام و کبیرکوه و روستای شیخ مکان در شهرستان دره‌شهر انجام گرفت (شکل ۱). منطقه قلارنگ با میانگین ارتفاعی ۲۱۷۸ تا ۲۲۱۳ متر از سطح دریا در مختصات جغرافیایی ″۹ ′۳۷ °۳۳ عرض شمالی و ″۳۰ ′۴۴ °۴۶ طول شرقی قرار دارد. میانگین شیب این منطقه ۳۳ درصد و جهت جغرافیایی غالب آن، شمال شرقی و جنوب شرقی است. منطقه کبیرکوه نیز با میانگین ارتفاع ۱۰۰۷ متر از سطح دریا در مختصات جغرافیایی ″۲۹ ′۵۶ °۳۲ عرض شمالی و ″۳ ′۴۶ °۴۷ طول شرقی قرار دارد. این منطقه با میانگین شیب ۳۶ درصد در جهت جغرافیایی غالب شمال و شمال شرقی واقع شده است. مختصات جغرافیایی روستای شیخ مکان ″۳۶ ′۰۵ °۳۳ عرض شمالی و ″۲۲ ′۲۴ °۴۷ طول شرقی و جهت آن، شمال و شمال شرقی است. میانگین ارتفاع از سطح دریا و شیب آن نیز به‌ترتیب ۷۵۲ متر و ۴۲ درصد هستند.

براساس داده‌های ده‌ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۶) ایستگاه هواشناسی و سینوپتیک شهرستان ایلام، میانگین بارندگی سالانه در شهرستان‌های ایلام و دره‌شهر به‌ترتیب ۴۹۸/۲ و ۴۰۴/۷ میلی‌متر هستند. میانگین دمای سالانه در مناطق مذکور نیز به‌ترتیب ۱۷/۱ و ۲۱/۷ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد.

روش پژوهش

نمونه‌برداری

به‌منظور شناسایی و استخراج اسپور قارچ‌های میکوریزی همزیست با ریشه بادام، نمونه‌برداری از خاک ریشه‌گاه (ریزوسفر) متعلق به پایه‌های چهار گونه شامل بادام بی‌برگ، تنگرس، بادام برگ‌سنجدی و بادام شرقی در فصل بهار سال ۱۳۹۶ انجام گرفت (جدول ۱). به‌طوری‌که از هر گونه درختی، پنج پایه به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب شد و از خاک قسمت سایه‌انداز آن‌ها، یک نمونه ترکیبی (ترکیبی از سه نمونه خاک) از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری (درمجموع، ۲۰ نمونه خاک) تهیه شد. هر نمونه در آزمایشگاه به دو بخش تقسیم شدند. بخش اول برای بررسی ویژگی‌های خاک (نیتروژن، پتاسیم، فسفر، ماده آلی، کربن آلی، آهک، pH، شوری، رطوبت اشباع، وزن مخصوص ظاهری و بافت خاک) و بخش دوم نیز به‌منظور استخراج و شناسایی گونه‌های AMF استفاده شدند. به‌منظور تعیین درصد کلنیزاسیون نیز نمونه‌هایی از ریشه‌های مویی با قطر یک میلی‌متر تهیه شدند (Bouamri *et al.*, 2006).



شکل ۱- موقعیت رویشگاه‌های مطالعه‌شده

Figure 1. Location of the studied sites

جدول ۱- مشخصات درختان بادام (*Amygdalus* spp.) مطالعه‌شده

Table 1. Characteristics of studied *Amygdalus* trees

نام گونه Species Name	رویشگاه Habitat	فرم رویشی Growth form	میانگین ارتفاع درخت (m) Average tree height (m)
بادام بی‌برگ *A. arabica*	کبیرکوه Kabirkouh	درختچه shrub	0.5
بادام برگ‌سنجدی *A. elaeagnifolia*	قلارنگ Ghalarang	درخت Tree	3.5
بادام شرقی *A. orientalis*	قلارنگ Ghalarang	درخت و درختچه Tree and shrub	1.5
تنگرس *A. lycioides*	شیخ مکان Sheikh Makan	درختچه shrub	1.5

استخراج اسپورهای AMF و شناسایی آن‌ها

با استفاده از روش الک مرطوب و سانتریفیوژ با ساکارز، اسپور قارچ‌ها استخراج شد (Manimegalai *et al*., 2011). شناسایی قارچ‌های میکوریز براساس صفات ریخت‌شناختی اسپور مانند شکل، رنگ، اندازه، تعداد لایه دیواره، ضخامت لایه‌های دیواره و شکل ریسه انجام گرفت. برای بررسی و اندازه‌گیری این ویژگی‌ها از میکروسکوپ نوری کالیبره‌شده Olympus (BH2) استفاده شد. شناسایی گونه‌های قارچی با استفاده از کلید شناسایی Schenck و Pérez (۱۹۹۰) و دو وب‌گاه معتبر http:// https://invam.ku.edu/species-descriptions و www.amf-phylogeny.com انجام گرفت. تصویر قارچ‌ها با استفاده از میکروسکوپ Olympus (CX22LED) مجهز به سیستم عکس‌برداری TrueChrome Metrics تهیه شد.

به‌منظور تعیین تراکم جمعیت اسپورهای AMF، حداقل پنج نمونه خاک هریک با وزن ۱۰ گرم از هر گونه درختی مورد مطالعه انتخاب شد. سپس، با کمک میکروسکوپ بینوکولار Olympus (DF PLAN 1X) اسپورهایی که پشت کاغذ صافی جمع شده بودند، شمارش شدند. به‌این‌ترتیب برای هر گونه، میانگین نمونه‌ها به‌عنوان تراکم جمعیت اسپور آن گونه در نظر گرفته شد (Rezaee Danesh, 2013). گونه غالب قارچ براساس اینکه کدام گونه در بیشتر نمونه‌ها حضور داشتند، تعیین شد. درصد فراوانی نسبی نیز از تقسیم اسپورهای متعلق به یک گونه قارچی به کل اسپورها و ضرب این نسبت در صد به‌دست آمد.

آنالیز نمونه‌های خاک

بافت خاک به‌روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) و شوری خاک (EC) با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی و به‌وسیله عصاره گل اشباع محاسبه شد. pH به‌وسیله دستگاه pH متر و به‌کارگیری مخلوط نسبت یک به ۲/۵ از خاک و آب مقطر، پتاسیم قابل‌جذب در محلول استات‌آمونیوم و با دستگاه Flame Photometer (Moreno *et al*., 2007)، فسفر به‌روش اولسن و با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (Olsen *et al*., 1954)، ماده آلی و کربن آلی به‌روش Walkley-Black (Walkley & Black, 1934)، نیتروژن کل خاک به‌روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982) و مقدار آهک به‌روش تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شدند (Page *et al*., 2004).

رنگ آمیزی و تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه درختان

به‌منظور تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه، پس از تهیه نمونه‌هایی از ریشه‌های مویی، آن‌ها با استفاده از روش Phillips و Hayman (۱۹۷۰) رنگ‌آمیزی شدند. تعیین درصد کلنیزاسیون نیز طبق روش Biermann و Lindrerman (۱۹۸۱) انجام گرفت. براین‌اساس، پس از قرارگیری قطعه‌هایی از ریشه‌های رنگ‌آمیزی‌شده در زیر میکروسکوپ نوری Olympus (CH2) درصد کلنیزاسیون با برآورد طولی از ریشه که به ساختمان‌های قارچی (وزیکول، آربسکول و هیف) آلوده بود، محاسبه شد.

شاخص‌های تنوع زیستی

تنوع زیستی قارچ‌های میکوریزی در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های تنوع شانون- وینر (H در رابطه ۱) و سیمپسون ($D-1$ در رابطه ۲) اندازه‌گیری شد. غنای گونه‌ای با محاسبه تعداد کل گونه و بر اساس رابطه ۴ تعیین شد. یکنواختی گونه‌ای نیز با استفاده از شاخص پایلو ($Pielou$ در رابطه ۳) در نرم‌افزار PAST محاسبه شد. این شاخص در تفسیر تنوع زیستی در بوم‌سازگان‌های جنگلی، بسیار مناسب‌تر از شاخص‌های غنای گونه‌ای است.

$$\acute{H} = -\sum_i^s P_i \, LnP_i \qquad \text{رابطه (۱)}$$

$$1 - D = 1 - \sum_i^s {P_i}^2 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

$$Pielou = \acute{H}/Ln\, S \qquad \text{رابطه (۳)}$$

$$R = S \qquad \text{رابطه (۴)}$$

P_i بیانگر سهم افراد در گونه iام (n_i) نسبت به کل نمونه (N) است که به‌صورت $P_i = \frac{n_i}{N}$ تعریف می‌شود. S نیز نشان‌دهنده تعداد گونه‌ها و R نشان دهنده غنای گونه‌ای است.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 انجام گرفت. پس از بررسی پراکنش نرمال داده‌ها توسط آزمون کولموگروف- سمیرنوف، به‌منظور ارزیابی معنی‌داری اختلاف بین پارامترهای مورد بررسی در گونه‌های مختلف بادام از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و مقایسه میانگین دانکن استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون نیز برای بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک با درصد کلنیزاسیون ریشه، تراکم اسپور و شاخص‌های تنوع زیستی AMF به‌کار برده شد.

نتایج

در این پژوهش، ۳۴ گونه مختلف قارچ میکوریز آربوسکولار متعلق به ۱۰ جنس و پنج خانواده (Archaeosporaceae، Diversisporaceae، Ambisporaceae، Acaulosporaceae و Glomeraceae) شناسایی شدند. از بین گونه‌های شناسایی‌شده، ۱۰ گونه متعلق به جنس *Glomus*، شش گونه متعلق به جنس *Funneliformis*، شش گونه متعلق به جنس *Acaulospora*، چهار گونه متعلق به جنس *Rhizophagus*، دو گونه متعلق به جنس *Dominikia* و دو گونه نیز متعلق به جنس *Diversispora* بودند. از هرکدام از جنس‌های *Ambispora*، *Archaeospora*، *Entrophospora* و *Sclerocystis* یک گونه مشاهده شد (جدول ۲). *G. nanolumen* با ۲۱ درصد فراوانی، بیشترین میانگین درصد فراوانی نسبی AMF همزیست با گونه‌های مختلف بادام به‌خود اختصاص داد. کمینه میانگین فراوانی نسبی آن‌ها نیز در *G. fuegianum* (۰/۳ درصد) و *En. infrequens* (۰/۱ درصد) مشاهده شد. جنس *Glomus* با ۴۹ درصد، بیشترین میانگین فراوانی نسبی در میان قارچ‌های همزیست با بادام و جنس‌های *Entrophospora* (۰/۱ درصد) و *Ambispora* با (۰/۶ درصد)، کمترین میانگین فراوانی را به‌خود اختصاص دادند.

در بادام برگ‌سنجدی، ۱۹ گونه AMF متعلق به هفت جنس شناسایی شد. *G. nanolumen* با ۳۲ درصد، بیشترین فراوانی را در بادام برگ‌سنجدی به‌خود اختصاص داد. ۲۵ گونه AMF متعلق به هشت جنس همزیست با بادام شرقی شناسایی شد. *G. nanolumen* و *F. constrictum* هرکدام با ۱۵ درصد، بیشترین فراوانی را در بادام شرقی داشتند. برای تنگرس و بادام بی‌برگ نیز به‌ترتیب ۲۶ و ۲۸ گونه AMF (در هشت و نه جنس) شناسایی شدند. بیشترین فراوانی قارچ‌های همزیست در این دو گونه به‌ترتیب متعلق به *F. constrictum* (۱۸/۳ درصد) و *G. nanolumen* (۲۵ درصد) بودند. طبق نتایج به‌دست‌آمده در همه گونه‌های درختی بادام، جنس *Glomus* بیشترین فراوانی را داشت (جدول ۲).

مقایسه ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک در گونه‌های مختلف بادام

نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه عوامل خاکی نشان داد که میانگین رطوبت اشباع، آهک، کربن، ماده آلی، شوری، شن، سیلت، وزن مخصوص ظاهری، فسفر و pH خاک بین ریشه‌گاه گونه‌های مختلف بادام، تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان حداقل ۹۵ درصد داشتند (جدول ۳).

جدول ۲- فراوانی نسبی گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار (AMF) شناسایی‌شده در گونه‌های مختلف بادام (*Amygdalus* spp.)

Table 2. Relative frequency of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species identified in different *Amygdalus* species

جنس Genus	نام گونه Species name	فراوانی نسبی (درصد) Relative frequency (%)				
		بادام شرقی *A. orientalis*	بادام برگ‌سنجدی *A. elaeagnifolia*	تنگرس *A. lycioides*	بادام بی‌برگ *A. arabica*	مجموع چهار گونه بادام Total of four species of *Amygdalus*
Glomus	*Glomus*	55	61	37	44.4	49
	G. veroculosum	2.5	-	0.6	1.19	0.9
	G. nanolumen	15	32	13	25	21
	G. arenarium	3	1	2.9	4	3
	Glomus sp.	11	24	11	11	13
	G. gibbosum	3	-	2.9	2.5	2
	G. deserticola	0.5	-	1.5	1.2	0.7
	G. macrocarpum	8	0.5	1.2	0.6	3
	G. fuegianum	-	-	0.6	0.6	0.3
	G. rubiforme	2.5	3.5	2	-	2
	G. microcarpum	7	0.5	-	-	1
Funneliformis	*Funneliformis*	23.4	20	27	25.3	25
	F. caledonium	-	-	3	1.18	1
	F. geosporum	5	0.5	6	3	3
	F. constrictum	15	19	18.3	14.2	16
	F. mosseae	0.5	-	-	1.4	0.5
	F. coronatum	-	-	-	2.5	0.6
	F. xanthium	1	0.5	1	4	2
Acaulospora	*Acaulospora*	7.5	14	13	16	13
	A. gedanensis	-	10	9	8	8
	A. thomii	2	-	0.6	3	1
	A. paulinia	11	2.5	1.2	1.4	1
	A. delicata	-	0.5	-	1.19	0.4
	A. splendida	1	1	-	-	0.6
	A. koskei	1	0.5	2	1.8	1
Ambispora	*Ambispora*	-	1	-	1.18	0.6
	Amb. callosa	-	1	-	2	0.6
Dominikia	*Dominikia*	4	-	-	3.5	1
	Dom. aurea	2	-	-	6	1
	Dom. minuta	1	-	0.6	-	0.5
Sclerocystis	*Sclerocystis*	2.5	1.1	1	1.18	1
	S. sinuosum	2	1	1.2	2	1
Rhizophagus	*Rhizophagus*	1.6	1	14.1	3	5
	Rh. clarus	-	0.5	1	1.4	0.6
	Rh. fasciculatus	0.5	-	1.7	0.7	0.7
	Rh. intraradices	0.5	0.5	10	1.18	4
	Rh. aggregatus	-	-	1.7	-	0.5
Entrophospora	*Entrophospora*	-	-	-	0.6	0.1
	En. infrequens	-	-	-	0.6	0.1
Diversispora	*Diversispora*	3.5	-	5.5	4.84	4
	D. aurantium	2	-	4.7	3.94	2
	D. spurca	0.5	-	0.6	1.18	0.7
Archaeospora	*Archaeospora*	2.5	1.9	1.8	-	1
	Ar. schenckii	2.5	1	1.7	-	1
مجموع تعداد گونه‌های AMF Total number of AMF species	34	25	19	26	28	-

جدول ۳- آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) ویژگی‌های خاکی گونه‌های بادام مورد مطالعه

Table 3. One-way analysis of variance (ANOVA) for soil characteristics of the studied *Amygdalus* species

متغیر خاک (Soil variable)	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری Significance level
رطوبت اشباع (Saturation moisture)	308.656	1.989	0.032*
آهک (Calcium carbonate)	326.208	3.008	0.041*
وزن مخصوص ظاهری (Bulk density)	1.853	8.762	0.001**
کربن آلی (Organic carbon)	1.776	2.71	0.03*
نیتروژن کل (Total nitrogen)	0.006	0.592	0.629 ns
ماده آلی (Organic matter)	4.772	1.996	0.039*
pH	0.061	4.382	0.02*
شوری (EC)	119912.691	1.912	0.033*
شن (Sand)	70.546	3.174	0.023*
رس (Clay)	6.479	0.941	0.444 ns
سیلت (Silt)	39.417	4.466	0.018*
پتاسیم (Potassium)	86595.4	1.162	0.355 ns
فسفر (Phosphorus)	11.692	7.066	0.003**

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار

**: Significant at p<0.01; *: Significant at p<0.05; ns: non-significant

نتایج مقایسه میانگین عوامل خاکی بین گونه‌های بادام نشان دادند که بیشینه مقدار ماده آلی، کربن آلی و رطوبت اشباع خاک متعلق به خاک ریشه‌گاه بادام برگ‌سنجدی و کمترین آن مربوط به تنگرس هستند، درحالی‌که بیشترین مقدار آهک و pH در خاک تنگرس و کمترین آن در بادام برگ‌سنجدی مشاهده شد. بادام بی‌برگ، کمترین مقدار فسفر را داشت، اما بین گونه‌های دیگر از این نظر، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشینه درصد شن و کمینه درصد سیلت در نمونه‌های خاک ریشه‌گاه بادام شرقی به‌دست آمد. تنگرس، بیشترین میانگین وزن مخصوص ظاهری و pH خاک را داشت (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) پارامترهای خاک بین گونه‌های مختلف بادام (*Amygdalus* spp.)

Table 4. Mean comparison (± standard error) of soil parameters between different *Amygdalus* species

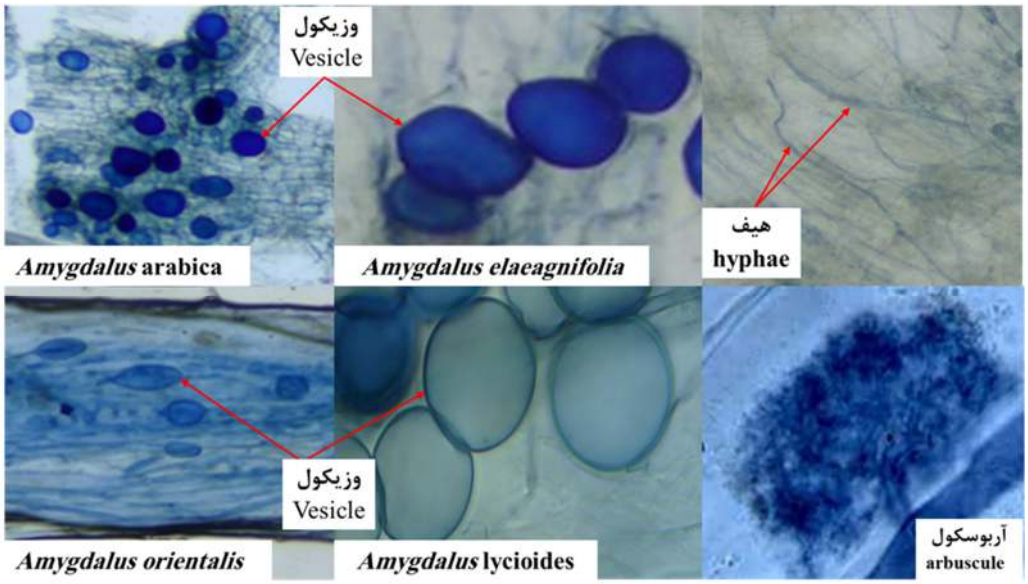
متغیر خاک (Soil variable)	واحد اندازه‌گیری	بادام بی‌برگ	تنگرس	بادام شرقی	بادام برگ‌سنجدی
رطوبت اشباع (Saturation moisture)	%	4.48 ^{ab}±31.84	2.19 ^{b}±22.27	6 ^{ab}±31.36	7.83 ^{a}±41.51
آهک (Calcium carbonate)	%	4.84 ^{a}±32.75	1.58 ^{a}±32.8	3.45 ^{ab}±20.85	6.98 ^{b}±17.2
وزن مخصوص ظاهری (Bulk density)	g/cm^3	0.18 ^{b}±1.7	0.35 ^{a}±2.64	0.06 ^{b}±1.44	0.07 ^{b}±1.29
کربن آلی (Organic carbon)	%	0.15 ^{ab}±1.86	0.33 ^{b}±1.4	0.47 ^{ab}±2.39	0.4 ^{a}±2.76
نیتروژن کل (Total nitrogen)	%	0.01 ^{a}±0.19	0.05 ^{a}±0.21	0.05 ^{a}±0.22	0.04 ^{a}±0.27
ماده آلی (Organic matter)	%	0.27 ^{ab}±3.29	0.58 ^{b}±2.42	1 ^{ab}±3.79	0.69 ^{a}±4.76
pH	-	0.06 ^{b}±7.55	0.01 ^{a}±7.77	0.04 ^{ab}±7.62	0.06 ^{b}±7.53
شوری (EC)	ds/m	1.11^{b}±4.23	0.67 ^{a}±7.17	1.14^{a}±6.17	1.41^{a}±7.77
شن (Sand)	%	1.32 ^{b}±57.2	0.4 ^{b}±57.1	3.2 ^{a}±64.8	2.36 ^{ab}±61.8
رس (Clay)	%	0.48 ^{a}±25.3	0.52 ^{a}±24	1.33 ^{a}±22.6	1.79 ^{a}±23.4
سیلت (Silt)	%	1.44 ^{a}±17.5	0.62 ^{a}±18.9	2 ^{b}±12.6	0.6 ^{ab}±14.8
پتاسیم (Potassium)	mg/kg	89.39 ^{a}±803.2	46.61 ^{a}±750.4	184.4 ^{a}±988.8	124.18 ^{a}±1013
فسفر (Phosphorus)	mg/kg	1.04 ^{b}±7.08	0.12 ^{a}±9.81	0.18 ^{a}±9.99	0.42 ^{a}±10.45

حرف‌های متفاوت لاتین در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Different letters in each row indicate a significant difference between means (P<0.05).

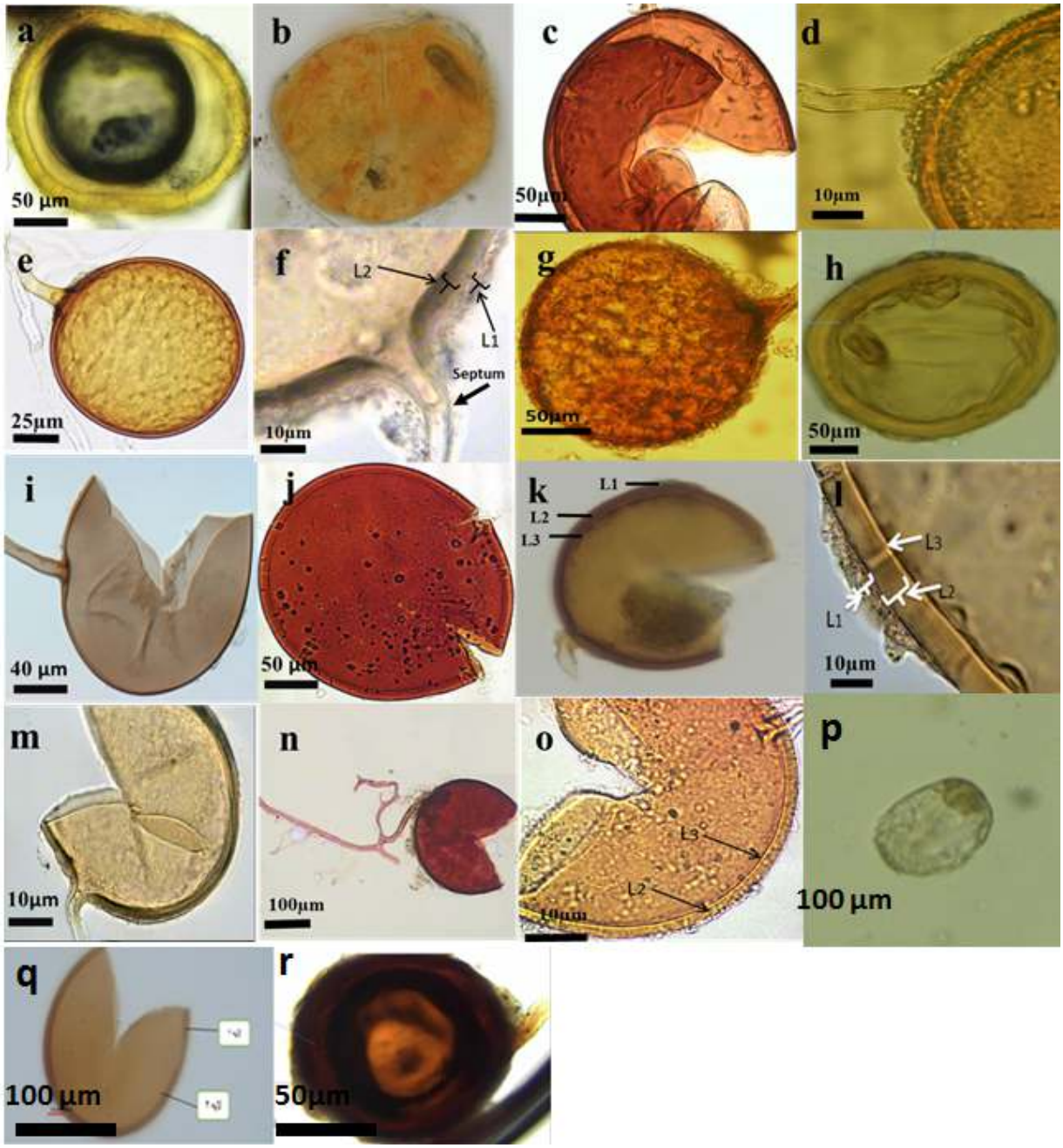
درصد همزیستی ریشه‌های درختان جنس بادام با AMF

نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که گونه‌های مختلف بادام ازنظر درصد همزیستی، اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند (MS=40.132, df=3, p<0.209). تصاویری از همزیستی ریشه گونه‌های بادام مورد مطالعه با AMF در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- همزیستی قارچ میکوریزی آربوسکولار با ریشه گونه‌های مختلف بادام

Figure 2. Arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis with the roots of different *Amygdalus* species



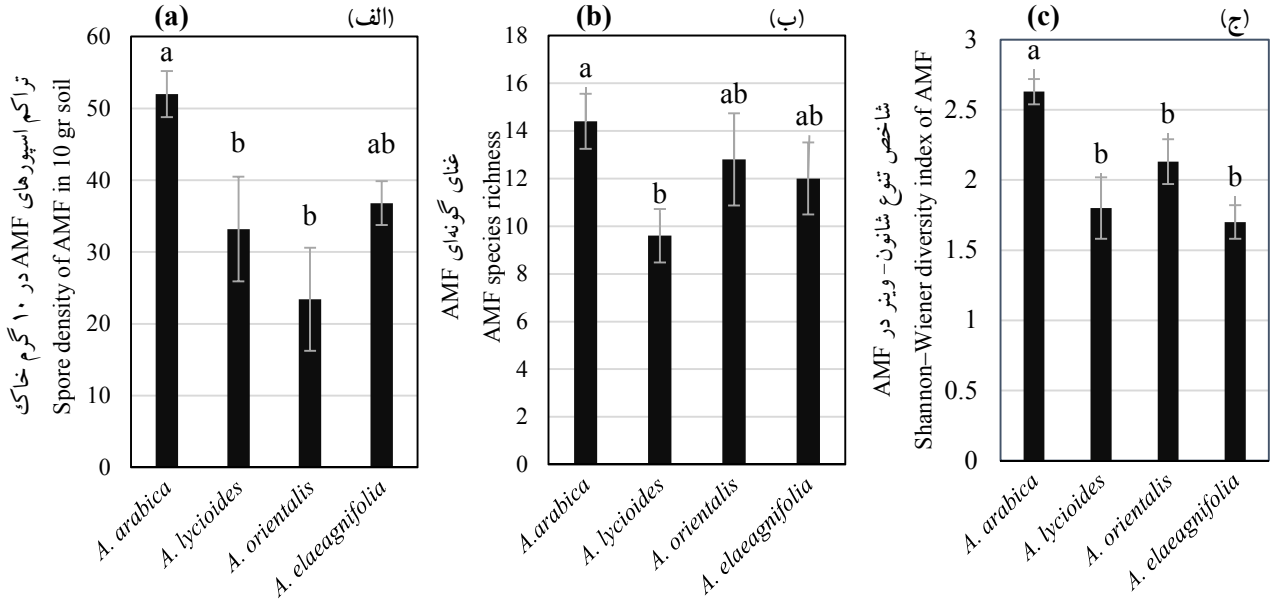
شکل ۳- اسپور برخی از گونه‌های قارچ میکوریزی آربوسکولار شناسایی‌شده

Figure 3. Spores from some identified species of arbuscular mycorrhizal fungi

a) Acaulospora gedanensis, b) A. koskei, c) Entrophospora infrequens, d) Funneliformis caledonium, e) F. geosporum, f) F. constrictum, g) F. mosseae, h) F. xanthium, i) Glomus deserticola, j) G. macrocarpum, k) G. veroculosum, l) Rhizophagus aggregatum, m) Rh. clarus, n) Rh. intraradices, o) Rh. fasiculatum, p) Dominikia aurea*, q) *F. constrictum* and r) *G. nanolumen.

براساس نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه، تفاوت معنی‌دار بین گونه‌های مختلف بادام ازنظر میانگین تراکم اسپور (p=۰/۰۱۸)، غنای گونه‌ای (p=۰/۰۴۱) و شاخص تنوع شانون- وینر (p=۰/۰۰۳) در گونه‌های AMF وجود داشت. تراکم اسپورهای AMF در بادام بی‌برگ بیشترین مقدار و در تنگرس و بادام شرقی کمترین مقدار را به‌خود اختصاص دادند (شکل ۴-الف). غنای گونه‌ای این قارچ‌ها در بادام بی‌برگ و تنگرس به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بود (شکل ۴-ب).

بادام بی‌برگ، بیشترین مقدار شاخص تنوع شانون- وینر AMF را نیز به‌خود اختصاص داد، درحالی‌که از این نظر بین گونه‌های دیگر بادام، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴-ج). نتایج دیگر نشان داد که میانگین شاخص‌های تنوع سیمپسون (p=۰/۲۰۳) و یکنواختی پایلو (p=۰/۲۴۸) در قارچ‌های مذکور بین گونه‌های مختلف بادام، اختلاف معنی-داری نداشتند.



شکل ۴- مقایسه میانگین تراکم اسپور (الف)، غنای گونه‌ای (ب) و شاخص تنوع شانون- وینر (ج) در قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF) بین گونه‌های مختلف بادام

حرف‌های متفاوت لاتین در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 4. Mean comparison of spores' density (a), species richness (b) and Shannon–Wiener diversity index (c) of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) between different *Amygdalus* species

Different letters in each chart indicate a significant difference between means (P<0.05).

نتایج مربوط به محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با تراکم جمعیت اسپورهای AMF و درصد کلنیزاسیون ریشه‌های بادام در جدول ۴ آمده است. تراکم جمعیت اسپورهای قارچ‌های میکوریزی با مقدار فسفر و درصد شن خاک، همبستگی منفی و با درصد رس، همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند، درحالی‌که درصد کلنیزاسیون ریشه با هیچ‌یک از متغیرهای خاک، همبستگی معنی‌داری نشان نداد.

ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک با شاخص‌های تنوع زیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست با بادام در جدول ۵ نشان داد که شاخص تنوع شانون- وینر با مقدار فسفر و درصد رس خاک به‌ترتیب همبستگی منفی و مثبت معنی‌دار داشت. همچنین، غنای گونه‌ای این قارچ‌ها با pH و شوری، همبستگی منفی و با وزن مخصوص ظاهری خاک، همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. همبستگی منفی معنی‌داری بین شاخص تنوع سیمپسون در AMF با شوری خاک مشاهده شد. بااین‌حال، شاخص یکنواختی پایلو با هیچ‌کدام از ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک، همبستگی معنی‌داری نداشتند.

جدول ۴- همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک با تراکم اسپور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و کلنیزاسیون ریشه‌های بادام

Table 4. Correlation between soil physico-chemical properties with spore density of arbuscular mycorrhizal fungi and root colonization of *Amygdalus*

متغیر Variable	pH	شوری EC	فسفر Phosphorus	کربن آلی Organic carbon	پتاسیم Potassium	نیتروژن کل Total nitrogen	آهک Calcium carbonate
تراکم اسپور Spore density	–0.038	–0.374	–0.48*	–0.308	–0.389	–0.208	0.238
درصد کلنیزاسیون Colonization percentage	0.082	0.049	–0.281	–0.082	–0.005	0.198	0.225

متغیر Variable	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt	ماده آلی Organic matter	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	رطوبت اشباع Saturation moisture
تراکم اسپور Spore density	0.447*	–0.452*	0.332	–0.334	0.103	–0.211
درصد کلنیزاسیون Colonization percentage	–0.041	–0.133	0.226	–0.014	0.256	0.019

*: Significant at p<0.05 * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

جدول ۵- همبستگی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک با تنوع زیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست با بادام

Table 5- Correlation between soil physico-chemical properties with biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi symbiotic with *Amygdalus*

شاخص تنوع زیستی Bioversity index	pH	شوری EC	فسفر Phosphorus	کربن آلی Organic carbon	پتاسیم Potassium	نیتروژن کل Total nitrogen	آهک Calcium carbonate
شاخص شانون- وینر Shannon–Wiener index	–0.15	–0.394	–0.385*	–0.138	–0.162	–0.038	0.06
شاخص سیمپسون Simpson index	–0.19	–0.275*	–0.163	0.088	–0.109	0.166	0.079
شاخص یکنواختی پایلو Pielou's evenness index	–0.019	–0.013	–0.257	0.006	–0.076	0.174	0.239
غنای گونه‌ای Species richness	–0.321*	–0.357*	0.005	0.046	–0.161	–0.271	0.09

شاخص تنوع زیستی Bioversity index	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt	ماده آلی Organic matter	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	رطوبت اشباع Saturation moisture
شاخص شانون- وینر Shannon–Wiener index	0.277*	–0.187	0.081	–0.179	0.142	–0.111
شاخص سیمپسون Simpson index	–0.045	0.122	–0.148	0.012	–0.131	–0.111
شاخص یکنواختی پایلو Pielou's evenness index	–0.151	0.059	0.019	0.093	0.074	–0.06
غنای گونه‌ای Species richness	0.128	–0.03	–0.046	–0.037	0.342*	–0.205

*: Significant at p<0.05 * معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

بحث

نتایج پژوهش حاضر حاکی از تفاوت تعداد و نوع AMF همزیست با گونه‌های مختلف بادام بود. به‌طوری‌که ۱۹ گونه قارچ در بادام برگ‌سنجدی، ۲۵ گونه در بادام شرقی، ۲۶ گونه در تنگرس و ۲۸ گونه در بادام بی‌برگ شناسایی شدند. Jafarian (۲۰۱۷) با شناسایی قارچ‌های میکوریز همزیست با برخی گونه‌های درختی و درختچه‌ای در خاک‌های آهکی استان ایلام، حضور ۲۶ گونه متعلق به نُه جنس AMF همزیست با بادام بی‌برگ را گزارش کردند. این نتایج با یافته‌های پژوهش پیش‌رو در ۱۹ گونه شامل *G. nanolumen*، *G. arenarium*، *Glomus* sp.، *G. gibbosum*، *G. deserticola*، *F. caledonium*، *F. mosseae*، *F. coronatum*، *constrictum*، *xanthium*، *A. gedanensis*، *A. thomii*، *A. delicate*، *Amb. callosa*، *Rh. clarus*، *Rh. fasiculatum*، *Rh. intraradices*، *En. infrequens* و *D. auratium* مشترک بودند. Jafarian (۲۰۱۷)، ۲۲ گونه قارچ همزیست با بادام برگ‌سنجدی متعلق به نُه جنس را نیز گزارش کردند. ۱۵ گونه از آن‌ها شامل *G. nanolumen*، *G. arenarium*، *Glomus* sp.، *G. deserticola*، *G. fuegianum*، *G. rubiforme*، *F. caledonium*، *F. constrictum*، *A. gedanensis*، *Dom. minuta*، *S. sinuosum*، *Rh. clarus*، *Rh. intraradices*، *Rh. aggregatum* و *D. auratium* در پژوهش پیش‌رو نیز به‌عنوان همزیست با بادام برگ‌سنجدی شناسایی شدند. Elahi و همکاران (۲۰۱۳) نیز با بررسی قارچ‌های میکوریز همزیست با بادام شرقی در تنگ خشک سمیرم در استان اصفهان، حضور نُه گونه قارچ میکوریز متعلق به دو جنس را گزارش کردند. تفاوت بین این پژوهش‌ها با پژوهش پیش‌رو ازنظر نوع و تعداد گونه‌های AMF ممکن است ناشی از تفاوت در ویژگی‌های محیطی و خاک مناطق مورد مطالعه باشد. فراوان‌ترین جنس در بین گونه‌های AMF شناسایی‌شده در پژوهش پیش‌رو متعلق به *Glomus* بود. ازجمله دلایل فراوانی این جنس می‌توان به سازگاری زیاد و پراکنش وسیع آن و نیز اختصاصی نبودن گونه‌های میزبان این قارچ اشاره کرد (Jafarian, 2017).

کمترین درصد کربن و ماده آلی در خاک ریشه‌گاه تنگرس و بیشترین آن‌ها در بادام برگ‌سنجدی مشاهده شد. نمونه‌های خاک پایه‌های بادام برگ‌سنجدی از منطقه قلارنگ جمع‌آوری شدند که در دامنه ارتفاعی بالاتری (۲۱۷۸ تا ۲۲۱۳ متر از سطح دریا) نسبت به دو منطقه مورد مطالعه دیگر قرار دارد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا، بارندگی زیاد و درجه‌حرارت کم می‌شود که کاهش نرخ تجزیه کربن را به‌دنبال دارد. به‌طورکلی، خاک‌های با کربن بیشتر، ویژگی‌های بهتری دارند. خواص فیزیکی خاک نیز در استقرار گونه‌های گیاهی و دسترسی به عناصر غذایی نقش دارند. چنانچه تفاوت در مقدار رطوبت سبب تغییراتی در شکل‌دهی و تهویه ساختمان خاک و مقدار شوری آن می‌شود (Shokrollahi *et al.*, 2012). بادام برگ‌سنجدی، بیشترین مقدار رطوبت اشباع، فسفر و هدایت الکتریکی خاک را نیز به‌خود اختصاص داد.

نتایج دیگر نشان داد که تراکم اسپورهای AMF با درصد شن، همبستگی منفی و با درصد رس، همبستگی مثبت دارند. ذرات رس سبب تهویه نامناسب خاک می‌شوند و مقدار نفوذ آب به ریشه گیاه را کاهش می‌دهند. به‌دنبال تهویه نامناسب و ایجاد تنش رطوبتی، تولید اسپور افزایش می‌یابد، اما در خاک‌های با مقدار شن بیشتر به‌علت تهویه بهتر خاک و نفوذ بهتر ریشه، گیاه میزبان تحت تنش قرار نمی‌گیرد و تراکم اسپور نیز زیاد نمی‌شود (Jafarian, 2017). مقدار فسفر خاک با تراکم اسپور نیز همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. Bouamri و همکاران (۲۰۰۶) و Elahi و همکاران (۲۰۱۳)، نتایج مشابهی را گزارش کردند. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، قارچ‌های میکوریزی، نقش مهمی در جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر دارند. این قارچ‌ها در خاک‌های فقیر از فسفر با توسعه اسپورزایی و افزایش جمعیت خود به جذب این عنصر و تثبیت گیاه کمک می‌کنند (Hajian Shahri & Abbasi, 2005). ریشه‌های میکوریزی با توسعه هیف‌ها، جذب فسفر را از مناطقی دورتر از ریشه‌گاه گیاه به‌طور مشهودی افزایش می‌دهند (Absalan *et al.*, 2014). همسو با نتایج پژوهش‌های پیشین (Rezaee Danesh, 2013; Jafarian *et*

al., 2018)، تراکم اسپورهای AMF بین گونه‌های درختی و درختچه‌ای مورد مطالعه در پژوهش پیش‌رو، اختلاف معنی‌داری داشتند. بیشترین تراکم اسپور در بادام بی‌برگ و کمترین آن در بادام شرقی مشاهده شد. علت این اختلاف باتوجه‌به همبستگی مثبت تراکم اسپور با درصد رس و همبستگی منفی آن با درصد شن ممکن است ناشی از تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های خاک باشد (Jafarian, 2017). به‌طورکلی، تفاوت شرایط محیطی و خاک مناطق مورد مطالعه می‌توانند بر ویژگی‌های همزیستی بین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با درختان بادام اثرگذار باشند. در پژوهش پیش‌رو، ۴۳ گونه AMF متعلق به ده جنس همزیست با چهار گونه بادام شناسایی شد. این یافته می‌تواند بیانگر وجود تنوع زیستی زیاد خاک در مناطق مورد مطالعه باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه ایلام انجام شده است.

منابع مورد استفاده

- Absalan, M.R., Nadian, H. and Jafari, S., 2014. Investigating the effect of mycorrhizal colonization on phosphorus absorption of berseem clover in sterile and non-sterile soil in Khuzestan. Proceedings of 13th Iranian Soil Science Congress on Sustainable Soil, Sustainable Production. Ahvaz, Iran, 28-30 Jan. 2014: 4p.
- Allen, M.F., 2007. Mycorrhizal fungi: Highways for water and nutrients in arid soils. Vadose Zone Journal, 6(2): 291-297.
- Arriagada, C.A., Herrera, M.A., Garcia-Romera, I. and Ocampo, J.A., 2004. Tolerance to Cd of soybean (*Glycine max*) and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) inoculated with arbuscular mycorrhizal and saprobe fungi. Symbiosis, 36: 285-99.
- Bahrami Nezhad, M., 2015. Identification of arbuscular mycorrhizal fungi associated with almond in Baft and investigation of mycorrhizal symbiosis on dry tolerance of two almond rootstock. MSc. thesis, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, 163p (In Persian).
- Biermann, B. and Linderman, R.G., 1981. Quntifying vesicular-arbuscular mycorrihizae: A proposed method towards standardization, New Phytol, 87: 63-67.
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal, 54(5): 464-465.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen—total: 595-624. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1159p.
- Brundrett, M., 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. Advances in Ecological Research, 21: 171-313.
- Calvet, C., Estaún, V., Camprubí, A., Hernández-Dorrego, A., Pinochet, J. and Moreno, M.A., 2004. Aptitude for mycorrhizal root colonization in *Prunus* rootstocks. Scientia Horticulturae, 100(1-4): 39-49.
- Dotzler, N., Walker, C., Krings, M., Hass, H., Kerp, H., Taylor, T.N. and Agerer, R., 2009. Acaulosporoid glomeromycotan spores with a germination shield from the 400-million-year-old Rhynie chert. Mycological Progress, 8: 9-18.
- Elahi, M., 2013. Identification of mycorrhizal fungi symbiotic with *Amygdalus orientalis* and its effects on phosphorus concentration of leaf and soil in the Semiroms Tang Khoshk Forest Reserve. M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, 108p (In Persian).
- Hajian Shahri, M. and Abbasi, M., 2005. Variation of spores vesicular – arbuscular mycorrhiza population in pistachio natural forest soil in north of Khorassan. Sciences and Techniques of Agricultural and Natural Resources, 8(4): 77-85.
- Hashem, A., Alqarawi, A. A., Al-Huqail, A. A. and AbdAllah, E.F., 2018. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Acacia gerrardii* Benth in different habitats of Saudi Arabia. Pakistan Journal of Botany, 50(3): 1211-1217.
- Jafarian, N., 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with some of trees and shrubs species in calcareous soils. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran, 148p (In Persian).
- Jafarian, N., Mirzaei, J., Moradi, M. and Heydari, M., 2018. Biodiversity and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi with some species of Zagros forest. Forest and Wood Products, 71(1): 35-47.
- Jahanbazi Goujani, H., Talebi, M. and Iranmanesh, Y., 2006. Investigation of 20 years growth rate of quantitative parameters of plantation forests by *Amygdalus scoparia* in destroyed area of Chaharmahal va Bakhtiari province. Proceedings of National Conference on the Future of Iran's Forests. Karaj, Iran, 21-23 Feb. 2004: 80-81 (In Persian).
- Mahdhi, M., Tounekti, T., Abada, E., Al□Faifi, Z. and Khemira, H., 2020. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with acacia trees in southwestern Saudi Arabia. Journal of Basic Microbiology, 60(4): 322-330.
- Manimegalai, V., Selvaraj, T. and Ambikapathy, V., 2011. Studies on isolation and identification of VAM fungi in *Solanum viarum* Dunal of medicinal plants. Advances in Applied Science Research, 4: 621-628.
- Mehravaran, H. and Minassian, V., 1984. A survey of *Citrus* mycorrhizal fungi in Iran. Journal of Scientific Agriculture, 9: 16-27.
- Mirzaei, J. and Heydari, M., 2014. Relationship between environmental factors, colonization and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Amygdalus scoparia* in Zagros forests. Iranian Journal of Forest, 6(4): 445-456.
- Mirzaei, J. and Noorbakhsh, N., 2015. Isolation and identification of arbuscular mycorrhiza fungi in the roots and rhizosphere of *Amygdalus scoparia* Spach in Zagros forests (Case study: Kolm reservoir in Ilam province). Iranian Journal of Forests and Rangelands Protection Research, 13(1): 46-56.

- Moreno, G., Obrador, J.J. and García, A., 2007. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. Agriculture, Ecosystems and Environment, 119(3-4): 270-280.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., 19p.
- Page, S.E., Wűst, R.A.J., Weiss, D., Rieley, J.O., Shotyk, W. and Limin, S.H., 2004. A record of Late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and climate change from an equatorial peat bog (Kalimantan, Indonesia): implications for past, present and future carbon dynamics. Journal of Quaternary Science, 19(7): 625-635.
- Phillips, J. M. and Hayman, D.S. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection, Transactions of the British Mycological Society, 55: 158-161.
- Requena, N., Perez-Solis, E., Azcón-Aguilar, C., Jeffries, P. and Barea, J.M., 2001. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. Applied and Environmental Microbiology, 67(2): 495-498.
- Rezaee Danesh, Y., 2013. Study on status of arbuscular mycorrhizal fungi associated with barley in Damghan Region, Iran. Journal of Plant Protection, 26(4): 437-449.
- Schenck, N.C. and Pérez, Y., 1990. Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi, Third Edition. Synergistic Publications, Gainesville, Florida, 286p.
- Shokrollahi, S.h., Moradi, H.R. and Dianati Tilaki, Gh.A., 2012. Effects of soil properties and physiographic factors on vegetation cover (Case study: Polur Summer Rangelands). Iranian Journal of Range and Desert Research, 19(4): 655-668.
- Sjöberg, J., 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi – occurrence in Sweden and interaction with a plant pathogenic fungus in barley. PhD thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 53p.
- Walkley, A. and Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37(1): 29-38.
- Wehner, J., Antunes, P.M., Powell, J.R., Mazukatow, J. and Rilling, M.C., 2010. Plant pathogen protection by arbuscular mycorrhizas: A role for fungal diversity. Pedobiologia, 53(3): 197-201.
- Wilkes, T.I., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. Encyclopedia, 1(4): 1132-1154.

Bouamri, R., Dalpé, Y., Serrhini, M.N. and Bennani, A., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi species associated with rhizosphere of *Phoenix dactylifera* L. in Morocco. African Journal of Biotechnology, 5(6): 510-516.

Biodiversity and symbiosis of mycorrhizal fungi with almond trees (*Amygdalus* sp.) in Zagros forests, Ilam province, Iran

M. Kazemzade [1], J. Mirzaei [2*] and N. Jafarian [3]

1- M.Sc. Student, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
2*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
E-mail: j.mirzaei@ilam.ac.ir
3- Ph.D. Student of Forest Biology, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Received: 28.06.2022 Accepted: 07.12.2022

Abstract

The symbiosis of mycorrhizal fungi with plant roots is one of the most important symbiotic relationships in soil. In this study, biodiversity and symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) with *Amygdalus arabica* Olivier, *A. lycioides* Spach, *A. elaeagnifolia* Spach and *A. orientalis* Mill. were investigated in three sites in Ilam province. After extracting soil samples from a depth of 0-30 cm, spores of mycorrhizal fungi were separated by the wet sieving method and the fungi were identified based on the morphological characteristics of the spores. The results revealed 34 different species of AMF belonging to 10 different genera. The highest biodiversity of fungi (28 species) was observed in *A. arabica*. In addition, 19 AMF species in *A. elaeagnifolia*, 25 in *A. orientalis* and 26 in *A. Lycioides* were identified. Moreover, the *lomus* with 49% and *G. nanolumen* with 21% were of the highest relative frequency of AMF genus and species among all the tree species, respectively. Significant differences were observed between *Amygdalus* species in terms of spore density, species richness and Shannon–Wiener diversity index of AMF. So that most of the three indices were observed in *A. arabica*. Also, spore density showed a negative correlation with soil sand percentage and phosphorus amount, as well as a positive correlation with soil clay percentage.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, colonization, semi-arid region, species richness.