نشریه علمی زیست‌شناسی خاک / جلد ۱۱ / شماره ۱ / ۱۴۰۲/ص۴۷-۶۲
dx.doi.org/10.22092/sbj.2023.361383.246

تنوع گونه ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های طبیعی و زراعی و رابطه آنها با خصوصیات خاک در جنگل‌های زاگرس

جواد میرزایی *، منیره جعفری، جعفر حسین زاده و ناهید جعفریان

دانشیار گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام؛ **j.mirzaei@mail.ilam.ac.ir**

دانشجوی کارشناسی ارشد علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام **monirejafari71@gmail.com**

دانشیار گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام**j.hoseinzadeh@gmail.com**

دکتری علوم زیستی جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام**nahidjafareiyan2013@gmail.com**

دریافت:۱۴۰۱/۱۱/۱۶ و پذیرش:۱۴۰۲/۵/۱

«مقاله پژوهشی»

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تنوع گونه‌ای قارچ‌های آربوسکولار همزیست در کاربری‌های جنگل طبیعی بلوط، جنگل دست-کاشت پهن‌برگ، جنگل دست کاشت سوزنی‌برگ، زمین زراعی و مرتع در رویشگاه لنه، شهرستان چرداول در استان ایلام انجام گرفت. بدین منظور از هر کاربری در عمق‌های ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری خاک به طور تصادفی پنج نمونه ترکیبی خاک برداشت شد و خصوصیات خاک و قارچ‌های میکوریزی این نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جهت استخراج قارچ از روش الک مرطوب و شیب غلظت ساکاروز استفاده شد. همچنین شناسایی آنها بر اساس صفات مورفولوژیکی اسپور نظیر شکل، رنگ، اندازه، تعداد لایه دیواره، ضخامت لایه‌های دیواره و شکل ریسه انجام گرفت. در مجموع ۱۹ گونه قارچ میکوریزی متعلق به هشت جنس Glomus، Acaulospora، Claroideoglomus، Rhizophagus، Septoglomus، Dentiscutata، Paraglomus، Entrophospora شناسایی شد. نتایج نشان داد که تنوع زیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و فراوانی اسپور قارچ‌ها در کاربری‌های مختلف متفاوت است ($p<0.05$). بیشترین میانگین تراکم جمعیت اسپور به ترتیب مربوط به جنگل طبیعی (۷۸/۱۲)، جنگل‌کاری پهن برگ (۶۶/۲۸) و مرتع (۵۷/۴۸) و کمترین آن مربوط به زمین زراعی (۵۰/۹۶) و جنگل‌کاری سوزنی‌برگ (۲۸/۱۶) بود. همچنین مشخص شد که غنای قارچ‌های همزیست در جنگل طبیعی (۱۶/۶) و مرتع (۱۵/۸) بیشترین و در کاربری زراعی (۱۱/۶) و جنگل‌کاری سوزنی برگ (۱۴/۴) کمترین بود. شاخص‌های تنوع شانون‌وینر و سیمپسون در کاربری‌های جنگل طبیعی، مرتع و جنگل‌کاری‌ها به طور معنی‌داری از کاربری زمین زراعی بیشتر بود. بر اساس نتایج تحقیق، اختلاف معنی‌داری بین دو عمق ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری در تراکم اسپور و شاخص‌های تنوع گونه‌ای وجود ندارد ($p>0.05$). نتایج این تحقیق نشان داد که تغییر کاربری جنگل بر تنوع و فراوانی قارچ‌های میکوریزی همزیست تاثیر منفی دارد. بنابراین توصیه می‌گردد برای حفظ این جوامع، جنگل‌های طبیعی تحت حفاظت بیش‌تری قرار گیرند.

واژه های کلیدی: سوزنی‌برگ، قارچ‌های میکوریزی، جنگلکاری، جنگلهای طبیعی، ایلام

* آدرس ایمیل نویسنده مسئول:j.mirzaei@mail.ilam.ac.ir

CC BY

مقدمه

امروزه تغییر کاربری جنگل یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در تمام کشورهاست (وینکلر و همکاران، ۲۰۲۱). تغییر کاربری جنگل با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، ظرفیت تولید اکوسیستم را کاهش می-دهد (کببو و همکاران، ۲۰۲۲). خاک به‌عنوان بخش مهم اکوسیستم، نقش مهمی در توسعه پوشش گیاهی و درنتیجه افزایش کیفیت تنوع‌زیستی دارد (کوچ و همکاران، ۲۰۱۰). خصوصیات پوشش گیاهی در یک منطقه می‌تواند روی جوامع میکروبی، تولید لاشبرگ، ارتباط متقابل با گیاهخواران و ارتباط همزیستی از قبیل قارچ‌های میکوریزا تأثیرگذار باشد (پرسکوت و گریستون، ۲۰۱۳). یکی از مهم‌ترین میکروارگانسیم‌های داخل خاک، قارچ میکوریز آربوسکولار است که در بیشتر اکوسیستم‌های دنیا حضور داشته و نقش مهمی را در خاک بازی می‌کند (شوبلر و همکاران، ۲۰۰۱). این همزیستی، متداول‌ترین شکل از همزیستی میکوریزایی است که در تمام جوامع گیاهی از عرصه‌های منابع طبیعی تا اراضی کشاورزی گسترش داشته و با بیشتر گیاهان خشکی‌زی دارای همزیستی اجباری هستند، بطوریکه که تنها در حضور گیاه میزبان مناسب، قادر به اسپورزایی و تکمیل دوره زندگی خود هستند و گیاه نیز از این همزیستی سود می‌برد (اصغری و همکاران، ۲۰۰۸). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار اثرات مهمی بر رشد و عملکرد گیاهان دارند که در نتیجه این همزیستی تحمل گیاه به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (کیرس و همکاران، ۲۰۱۱) (Kiers et al. 2011) و همچنین با تثبیت نیتروژن زیستی در گیاه میزبان (وهنر و همکاران، ۲۰۱۰) (Wehner et al. 2010)، به رشد و استقرار نهال‌ها کمک می کند (براندرت، ۱۹۹۱) (Brundrett, 1991). علاوه بر این، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، توانایی گیاهان را برای جذب آب و مواد غذایی (به‌ویژه فسفر) از خاک بهبود می‌بخشد (رکونا و همکارانف ۲۰۰۱) (Requena et al. 2001).

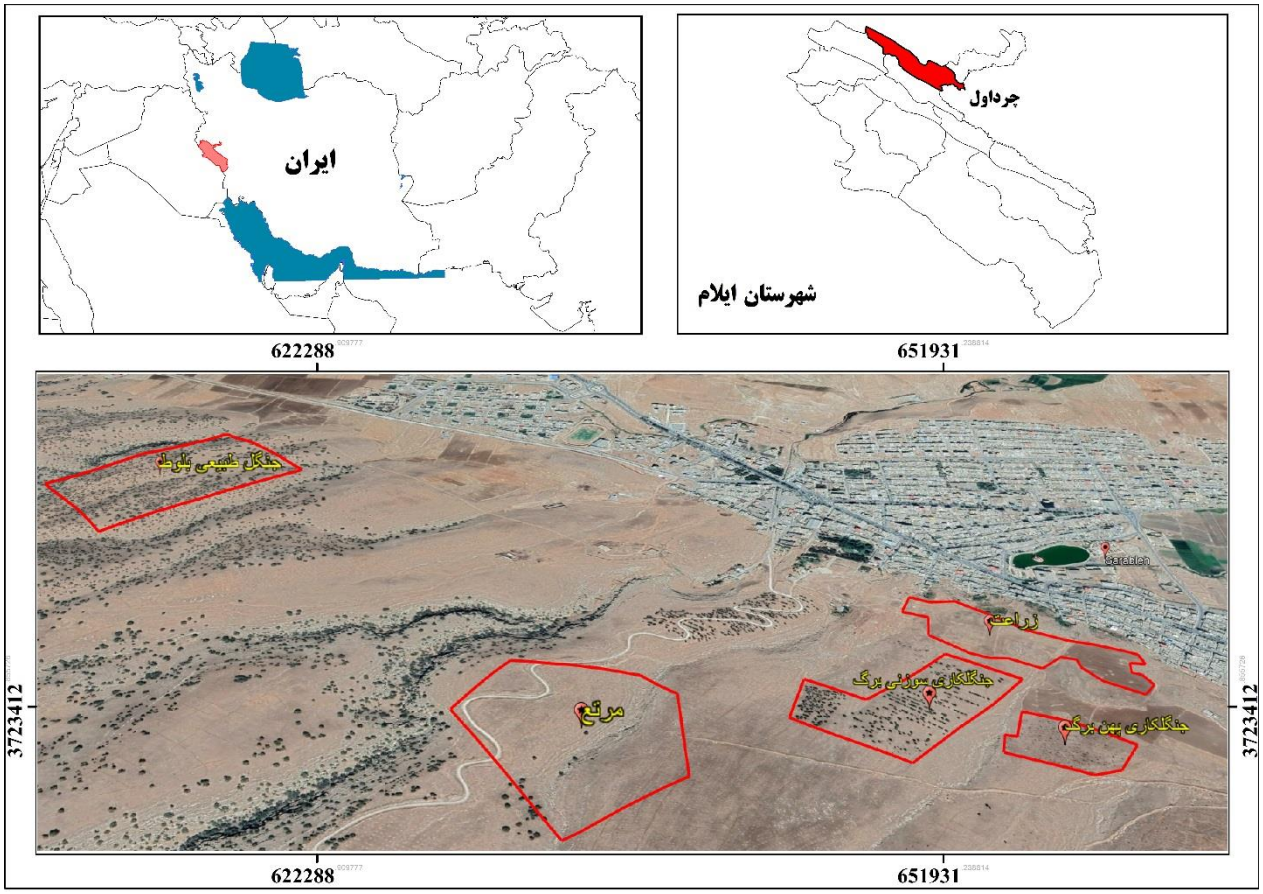
بین اکوسیستم‌های زراعی و طبیعی ازنظر تنوع گونه‌ای و فراوانی نسبی میکروارگانیسم‌ها تفاوت قابل‌توجهی وجود دارد. مطالعات بسیاری وجود این تفاوت در کاربری‌های مختلف را گزارش کرده‌اند. سینگ و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی تنوع قارچ‌های میکوریز وزیکولار- آربوسکولار در خاک‌های زراعی و جنگل طبیعی، شمال شرق هند، دریافتند که تنوع و تراکم در جنگل‌های طبیعی بیشتر از زمین زراعی است. مطالعه فراسیتو و همکاران (۲۰۱۳) در آمازون، نشان داد که خاک آمازون یک اکوسیستم حساس به تغییرات زیست محیطی در ارتباط با قارچ‌ها است و تغییر کاربری اراضی بر تنوع و تعداد گونه قارچ‌های میکوریزی اثر می‌گذارد. زوو و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی قارچ‌های میکوریز در انواع کاربری‌ها به این نتیجه رسیدند که تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در مراتع به‌طور معنی‌داری بیشتر از جنگل یا زمین‌های زراعی بوده و همچنین تفاوت‌های قابل‌توجهی در ترکیب قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در انواع مختلف کاربری زمین وجود دارد. شفیعی و همکاران (۲۰۲۰) نیز اثر تغییر کاربری جنگل به باغ چای بر خصوصیات شیمیایی خاک و جمعیت قارچ میکوریز آربوسکولار را بررسی و نتایج مطالعه آنان حاکی از بیشتر بودن میانگین درصد کلونیزاسیون و تعداد اسپورها در خاک جنگل نسبت به باغ چای بود و تغییر کاربری و تغییر در پوشش گیاهی، با تغییر خصوصیات شیمیایی خاک، موجب کاهش میزان همزیستی و تعداد اسپورهای قارچ میکوریز در خاک می‌شود.

با توجه به نقش کاربرد میکروارگانیسم‌ها در احیا و تجدید اراضی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آگاهی از وضعیت فراوانی قارچ‌های میکوریزی برای داشتن مدیریت پایدار، مطالعه و شناسایی قارچ‌های همزیست با گونه‌های گیاهی منطقه بسیار حیاتی است؛ زیرا با شناسایی و داشتن اطلاعات علمی از وضعیت همزیستی آن می‌توان در جهت احیای گونه‌های موردمطالعه در تحقیق حاضر، گام برداشت. علاوه بر این تغییرات در جوامع قارچی ناشی

از هر سیستم کاربری زمین می‌تواند اطلاعات مهمی را برای مدیریت خاک و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فراهم کند. لذا این پژوهش به‌منظور شناسایی و ارزیابی تراکم جمعیت قارچ میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های مختلف اراضی، تفاوت خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک و تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های جنگل طبیعی، جنگل دست‌کاشت سوزنی‌برگ، جنگل دست-کاشت پهن‌برگ، مرتع و زمین زراعی و اثر آنها بر تنوع جوامع قارچ انجام شد؛ به‌عبارت‌دیگر در این پژوهش، جوامع قارچ میکوریز آربوسکولار همزیست با گونه های علفی در کاربری های مختلف و رابطه آنها با عوامل خاکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه لنه واقع در ضلع جنوبی شهر سرابله از توابع شهرستان چرداول در استان ایلام انجام گرفت (شکل ۱). محدوده مورد بررسی دارای کاربری‌های جنگل طبیعی بلوط (Quercus brantii)، جنگل دست-کاشت سوزنی‌برگ سرو نقره‌ای (Cupresus arizonica)، جنگل دست‌کاشت پهن‌برگ ارغوان (Cercis siliquastrum)، مرتع با گونه غالب برموس (Bromus tectorum)، زمین زراعی گندم (Triticum aestivum) است. ارتفاع محدوده مورد بررسی بین ۱۰۵۰ تا ۱۲۰۵ متر از سطح دریا متغیر است. بر اساس داده‌های هواشناسی ده سال اخیر ایستگاه سرابله، میانگین بارندگی سالیانه محدوده موردبررسی ۴۳۷/۹ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۸/۷ درجه سانتی گراد است. علاوه بر این، اقلیم منطقه بر اساس اقلیم نمای دومارتن، نیمه خشک بوده و فصل خشک منطقه از اوایل خرداد شروع‌شده و تا اوایل آبان ماه (۵ ماه) ادامه دارد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

نمونه‌برداری

نمونه‌هایی از خاک هر کاربری، در عمق‌های ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری به طور تصادفی برداشت شد (جعفریان و همکاران، ۲۰۱۸). برای هر کاربری ۱۰ نمونه خاک، ۵ نمونه خاک در عمق ۵-۰ سانتی‌متری و ۵ نمونه از عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری، درمجموع ۵۰ نمونه خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی‌شده و اسپور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار آن استخراج و شناسایی شد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه، رطوبت خاک به روش وزنی (صالحی و همکاران، ۲۰۱۵)، شوری خاک (EC) با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی، اسیدیته خاک (pH) به‌وسیله دستگاه pH متر، پتاسیم قابل‌جذب در محلول استات آمونیوم و با دستگاه Flame Photometer، فسفر به روش اولسن، کربن‌آلی به روش Walkley-Black و میزان نیتروژن کل خاک به روش کجدال اندازه‌گیری شد (بریمنر و مولوانی، ۱۹۸۲).

استخراج اسپور، شناسایی و تنوع گونه‌ای قارچ‌های آربوسکولار

برای استخراج اسپور قارچ‌ها از روش الک مرطوب و سانتریفیوژ با شیب غلظت ساکارز استفاده شد (منیمگالی و همکاران، ۲۰۱۱). برای این منظور ۱۰ گرم خاک خشک را در یک لیتر آب حل کرده تا به حالت سوسپانسیون در آید، پس از ده ثانیه ذرات شن و خاک رسوب و از سری الک‌های ۳۵، ۸۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ مش که به ترتیب روی‌هم قرارگرفته‌اند، عبور داده شد. محلول حاصل الک‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ مش از کاغذ صافی عبور داده شد و با شمارش اسپورهای موجود بر روی کاغذ صافی تراکم اسپور در نمونه مشخص شد. سپس به‌منظور شناسایی گونه‌های قارچی، ابتدا اسلایدهای دائمی با استفاده از معرف پلی‌وینیل لاکتوگلیسرول (PVLG) و ملزر تهیه شد. جهت تهیهٔ محلول PVLG، مقدار ۱/۷ گرم پلی‌وینیل‌الکل را در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کرده و به‌مدت یک ساعت در بن‌ماری در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا محلول همگن ایجاد شود. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسیدلاکتیک و ۱۰ میلی‌لیتر گلیسیرین به آن اضافه شد. همچنین برای تهیه معرف ملزر، ۱۰۰ گرم کلرال‌هیدرات، ۱/۵ گرم ید، ۵ گرم یدید پتاسیم و ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر را با همزن مغناطیسی مخلوط می‌شوند.

شناسایی قارچ‌ها بر اساس صفات مورفولوژیکی نظیر شکل، رنگ، اندازه، تعداد لایه دیواره، ضخامت لایه-های دیواره و شکل ریسه موردبررسی و تفکیک قرار گرفتند. پس از اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، شناسایی گونه‌های قارچی با استفاده از کلیدهای شناسایی شنگ و پرز (۱۹۹۸) و سایت‌های معتبر:http:invam.caf.wvu.edu و www.amf-phylogeny.comانجام گرفت.

تصاویر مربوط به قارچ‌ها با استفاده از میکروسکوپ (Olympius, DF PLAN 1x) مجهز به سیستم عکس‌برداری Truechrome Metrics انجام گرفت. به‌منظور محاسبه شاخص‌های تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌های قارچ میکوریز از شاخص تنوع شانون‌وینر، سیمپسون، غنای مارگالف و یکنواختی پایلو استفاده گردید. برای بررسی تنوع گونه‌ای استفاده شد (میرزایی و مرادی، ۲۰۱۷).

1-D: شاخص تنوع سیمپسون

$$1 - D = 1 - \sum_{i}^{s} p_i^2$$

H': شاخص شانون‌وینر

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} PiLn(Pi)$$

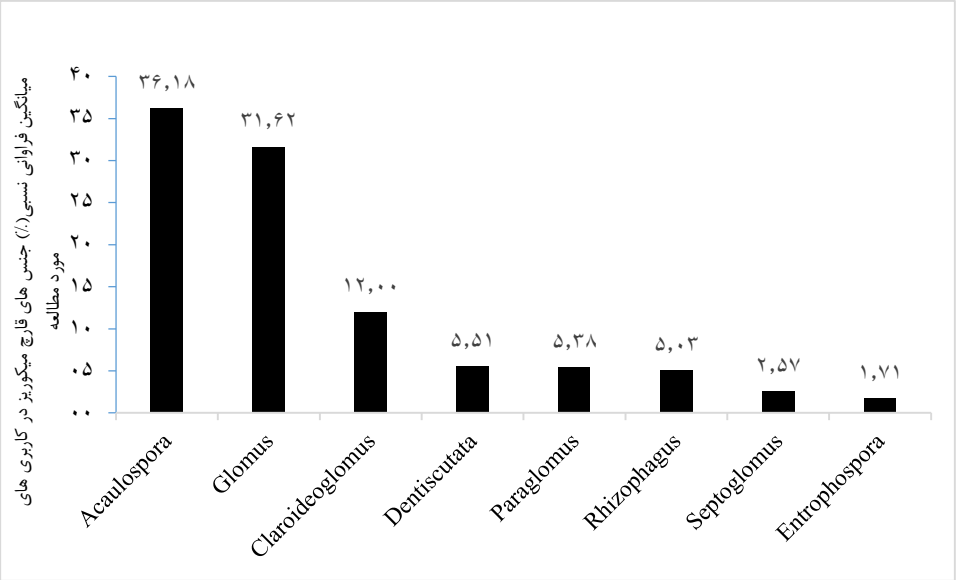
آنالیز داده‌ها

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه (GLM) و مقایسه دانکن

برای مقایسه شاخص‌های تنوع گونه‌ای و تراکم اسپور در بین کاربری‌ها و دو عمق مختلف خاک استفاده شد. از شاخص همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی همبستگی بین خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک با شاخص‌های تنوع زیستی و تراکم جمعیت اسپور در دو عمق خاک استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۱ انجام گرفت. محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی در محیط نرم‌افزار PAST انجام گرفت.

نتایج

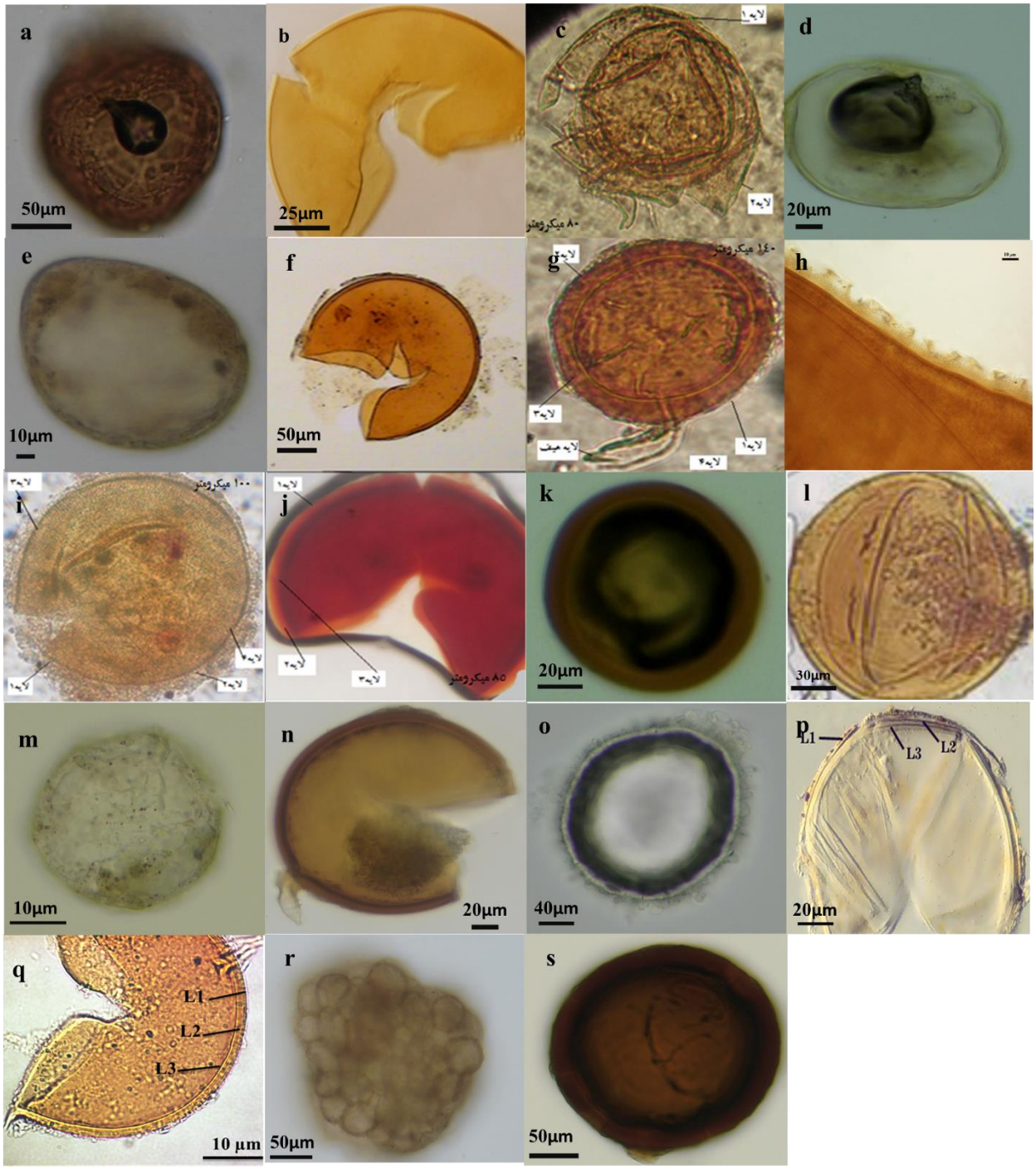
در این تحقیق تعداد ۱۹ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار متعلق به هشت جنس مختلف شناسایی شدند (شکل ۳ و ۴). از بین گونه‌های شناسایی شده، شش گونه متعلق به جنس Glomus، پنج گونه متعلق به جنس Acaulospora، دو گونه متعلق به جنس Claroideoglomus، دو گونه متعلق به جنس Rhizophagus بود و از جنس‌های Septoglomus، Dentiscutata، Paraglomus، Entrophosporaهرکدام یک‌گونه مشاهده شد (جدول۱ و شکل ۳). نتایج نشان می-دهد که همه کاربری‌ها در ۱۶ گونه قارچی باهم اشتراک دارند. گونه Glomus verruculosum تنها در جنگل دست‌کاشت پهن‌برگ و گونه Rhizophagus fasciculatus در جنگل دست‌کاشت سوزنی‌برگ و پهن-برگ و گونه Glomus ambisporum در همه کاربری‌ها به‌جز جنگل سوزنی‌برگ مشاهده‌شده است. گونه‌های قارچی Glomus veroculosum (۰/۰۳ درصد)، Rhizophagus fasciculatus (۰/۰۳درصد) کم‌ترین درصد فراوانی را داشتند و گونه Acaulospora gadanensis با فراوانی (۲۰/۴۴ درصد) بالاترین مقدار میانگین درصد فراوانی نسبی در بین کاربری‌های مختلف را به خود اختصاص داده است (جدول۱). جنس Acaulospora با ۳۶/۱۸ درصد بالاترین میانگین فراوانی نسبی و جنس Enterophospora با ۱/۷۱ درصد، کم‌ترین میانگین فراوانی را در بین کاربری‌ها داشتند (شکل ۲). همچنین گونه Glomus veroculosum تنها در جنگل دست‌کاشت پهن‌برگ (ارغوان) مشاهده شد.



شکل ۲- میانگین فراوانی نسبی جنس‌های قارچ میکوریز در کاربری‌های موردمطالعه

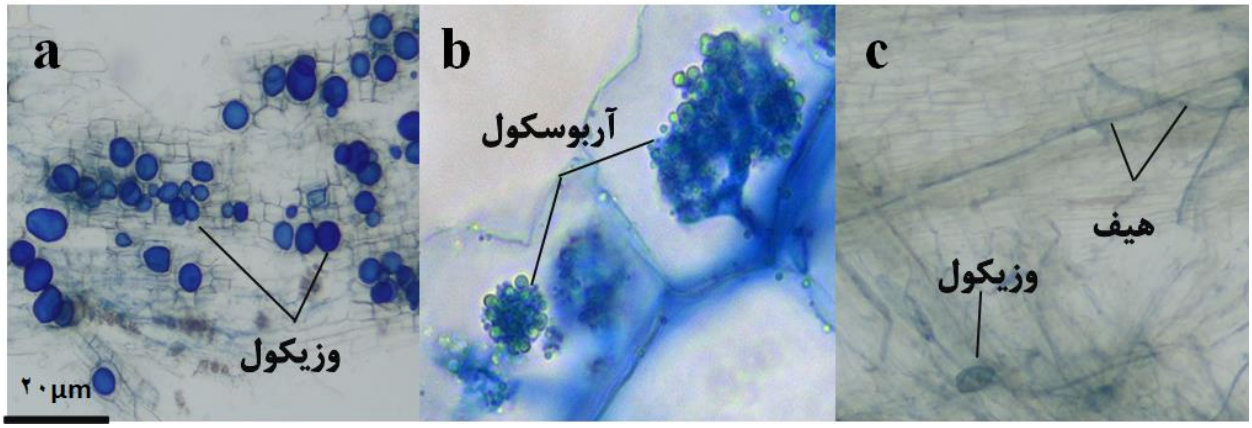
جدول ۱- مشخصات گونه‌های قارچ میکوریزی آربوسکولار شناسایی‌شده در منطقه

گونه	رنگ اسپور	اندازه اسپور (میکرومتر)	لایه‌های اسپور	شکل هیف	لایه هیف	میانگین ضخامت هیف (میکرومتر)
Acaulospora bireticulata	نارنجی کم‌رنگ تا قهوه‌ای مایل به زرد	۱۹۰ (۲۱۰) (۱۵۰)	۳	–	–	–
Acaulospora colombiana	نارنجی قهوه ای تا قهوه‌ای تیره	۱۲۱(۱۴۰) (۱۰۰)	۳	–	–	–
Acaulospora delicata	شفاف، زرد کمرنگ تا سبز کمرنگ	۸–۱۲۰	۲	ندارد	ندارد	ندارد
Acaulospora gedanensis	زردرنگ پریده تا زرد لیمویی	۶۵ (۷۵) (۵۵)	۲	ندارد	ندارد	ندارد
Acaulospora myriocarpa	زرد مایل به سفید، شیشه‌ای	۳۲–۹۰	۳	–	–	–
Claroideoglomus etunicatum	زردرنگ پریده تا زرد	۹۵ (۱۳۵) (۷۵)	۲	راست یا خمیده،استوانه اندکی نامنظم	۲	۲/۲
Claroideoglomus luteum	زرد کم‌رنگ تا زرد تیره با سایه قهوه‌ای	۱۴۲/۳ (۲۰۸) (۸۱)	۴	استوانه‌ای کم نامنظم	۳	۱۴
Dentiscutata reticulata	قرمز تیره، قهوه‌ای مایل به سیاه	۱۸۰–۳۹۰	۴	–	–	–
Entrophospora infrequens	زرد طلایی تا نارنجی متمایل به قهوه‌ای	۱۳۵ (۱۷۵) (۹۵)	۴	ندارد	ندارد	ندارد
Glomus ambisporum	قهوه‌ای تیره تا سیاه	۱۴۹(۱۹۳) (۸۵)	۳	استوانه‌ای	۲	۴/۷
Glomus arenarium	خاکستری، زرد قهوه‌ای	۹۷ (۱۲۰) (۵۵)	۳	راست یا کج، استوانه‌ای یا نامنظم،ندرتاً دارای فرو رفتگی	۱–۳	۱/۱
Glomus corymbiforme	زرد تا نارنجی	۱۴۲ (۲۲۰) (۵۰)	۳	راست یا کج، نامنظم، گاهی استوانه‌ای، دارای فرورفتگی	۲	۶/۵
Glomus nanolumen	شیشه‌ای، سفید مایل به زرد، زردرنگ پریده	۳۶ (۴۳) (۱۳)	۲	راست یا خمیده، قیفی شکل	۲	–
Glomus verruculosum	زرد تا نارنجی	۱۸۹ (۲۶۵) (۱۵۰)	۳	راست یا کج، قیفی تا تقریباً استوانه‌ای	۲	۵/۵
Glomus sp.	سفید سبز تا سبز یشمی	۵۰ (۷۵) (۳۵)	۲–۳	منقبض، استوانه‌ای	۱–۳	۲/۵
Paraglomus occultum	شیشه‌ای، کرمی	۷۱/۵(۱۰۰) (۶۰)	۳	سیلندری	۲–۳	۰/۳
Rhizophagus fasciculatus	زردرنگ پریده	۱۰۵ (۱۳۰) (۵۰)	۳	راست تا اندکی خمیده، استوانه‌ای	۲	۱–۲
Sclerocystis sinuosa	نارنجی، نارنجی قهوه‌ای، نارنجی قهوه‌ای تیره	۲۰۰–۳۶۰	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
Septoglomus constrictum	نارنجی مایل به قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره	۱۶۰ (۲۲۰) (۱۰۰)	۲	راست یا خمیده، معمولاً فرورفتگی علامت‌دار به سمت پایه اسپور	۲	۶



شکل ۳- تصاویر قارچ‌های میکوریزی شناسایی شده در منطقه موردمطالعه

a) A. bireticulata, b) A. colombiana, c) A. delicate, d) A. gedanensis, e) A.myriocarpa, f) C. etunicatum, g) C .luteum, h) D. reticulata i) E .infrequens , j) G. ambisporum, k) G. arenarium, l) G. corymbiforme, m) G. nanolumen, n) G. verruculosum , O) Glomus sp. p) P.occultum q) R.fasciculatus , r) s. sinuosum , s) s. constrictum



شکل ۴- همزیستی اندام‌های قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در ریشه، a: وزیکول، b: آربوسکول، c: هیف و وزیکول

تراکم اسپور قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

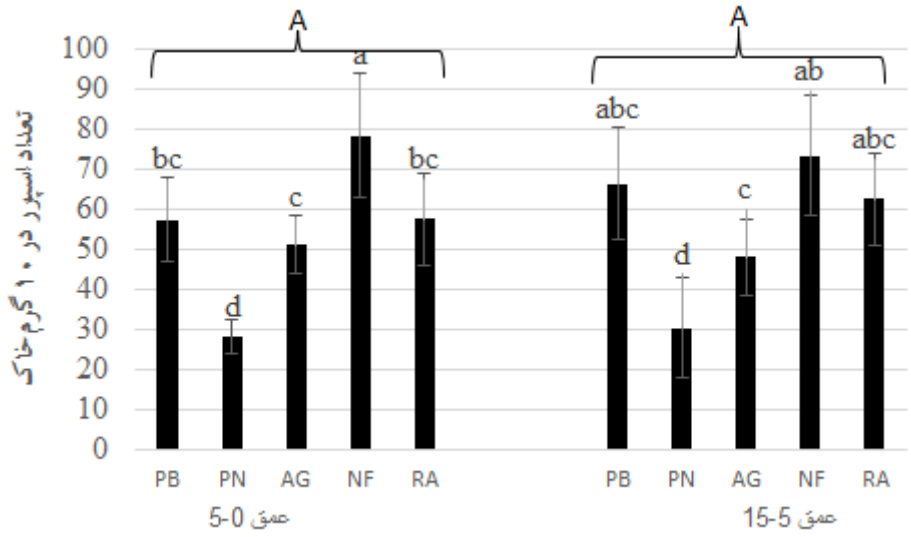
بر اساس نتایج آنالیز واریانس دوطرفه (GLM)، کاربری تأثیر معنی‌داری بر تراکم اسپور در داخل خاک داشت ($p<0.05$)، درحالی‌که تأثیر عمق و اثرات متقابل عمق و کاربری معنی‌دار نبود (جدول ۲). میانگین تعداد اسپور قارچ‌ها در کاربری‌های موردبررسی، صرف‌نظر از گونه قارچی، در عمق ۵-۰ سانتی‌متری بین ۲۸ عدد (در جنگل سوزنی‌برگ) تا ۷۸ عدد (در جنگل طبیعی) و در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری بین ۳۰ عدد (در جنگل سوزنی‌برگ) تا ۷۳ عدد (در جنگل طبیعی) در ۱۰ گرم خاک متغیر بود. همچنین بالاترین میانگین تراکم اسپور قارچی در کاربری جنگل طبیعی، مرتع و جنگل‌کاری پهن‌برگ و کم‌ترین میانگین آن در جنگل‌کاری سوزنی‌برگ و زمین زراعی مشاهده شد (شکل ۵).

جدول ۲- آنالیز واریانس دوطرفه (GLM) اثر کاربری و عمق خاک بر تعداد اسپور قارچ در ۱۰ گرم خاک

تیمار	Mean square	F	Sig
کاربری	۱۷۹۲	۱۷/۱۲	۰/۰۰۰
عمق	۱۹/۶۳	۰/۱۸	۰/۶۷۰
کاربری × عمق	۴۸/۸۲	۰/۴۶	۰/۷۶۰

جدول ۳- آنالیز واریانس دوطرفه اثر کاربری و عمق خاک بر شاخص‌های تنوع گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار

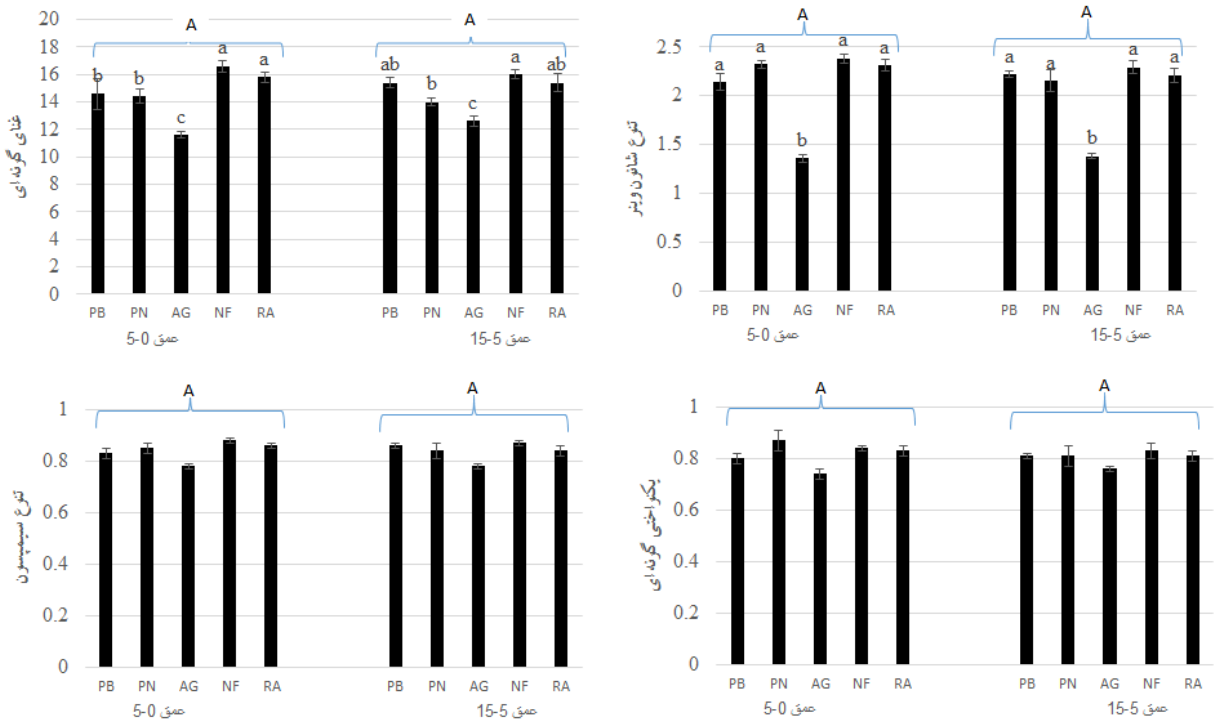
	غنای گونه‌ای			تنوع شانون‌وینر			تنوع سیمپسون			یکنواختی گونه‌ای		
تیمار	**Mean square**	**F**	**Sig**	**Mean square**	**F**	**Sig**	**Mean square**	**F**	**Sig**	**Mean square**	**F**	**Sig**
کاربری	۱۵/۹۳	۲۱/۴۲	۰/۰۰۰	۰/۹۵۰	۵۴/۳۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸	۲/۷۴	۰/۰۵۷	۰/۰۰۵	۰/۵۷	۰/۶۸۵
عمق	۰/۰۴۸	۰/۰۶۵	۰/۸۰۲	۰/۰۱۸	۱/۰۱	۰/۳۲۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۹۴۵	۰/۰۰۳	۰/۳۹	۰/۵۳۶
کاربری × عمق	۰/۸۵۸	۱/۱۵	۰/۳۶۱	۰/۰۱۶	۰/۸۹	۰/۴۸۷	۰/۰۰۱	۰/۱۸	۰/۹۴۲	۰/۰۰۱	۰/۱۳	۰/۹۶۸



شکل ۵. مقایسهٔ تعداد اسپور قارچ‌های میکوریز در کاربری‌های مختلف (PB- جنگل‌کاری پهن برگ،PN - جنگل‌کاری سوزنی‌برگ، AG- زمین زراعی، NF- جنگل طبیعی، RA- مرتع)

تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

نتایج آنالیز واریانس دوطرفه (GLM) نشان داد که تغییر کاربری تأثیر معنی‌داری بر تنوع شانون وینر و غنای گونه‌ای دارد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز نشان داد که به ترتیب کاربری جنگل طبیعی و مرتع بیشترین و کاربری زمین زراعی کمترین میزان تنوع گونه‌ای شانون وینر را داشتند. علاوه بر این بر اساس نتایج آزمون تی غیر جفتی، اختلاف معنی‌داری بین دو عمق ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متر مشاهده نشد (شکل ۶). غنای گونه‌های قارچی در کاربری‌های جنگل طبیعی، مرتع و جنگل‌کاری پهن‌برگ در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری و همچنین در کاربری‌های جنگل طبیعی و مرتع در عمق ۵-۰ سانتی‌متر بیشترین میزان و در کاربری زراعی و جنگل-کاری سوزنی‌برگ کمترین بود (شکل ۶). همچنین ازنظر شاخص غنای گونه‌ای بین دو عمق اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). ازنظر یکنواختی و تنوع سیمپسون اختلاف معنی‌داری بین کاربری‌ها مشاهده نشد (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع گونه‌ای در کاربری های مختلف (PB- جنگلکاری پهن برگ،PN - جنگلکاری سوزنی برگ، AG- زمین زراعی، NF- جنگل طبیعی، RA- مرتع)

رابطه قارچ‌های میکوریزی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

تراکم جمعیت اسپوری در عمق ۵-۰ با پتاسیم قابل‌جذب همبستگی مثبت و با رطوبت خاک همبستگی منفی داشت. همچنین نتایج همبستگی اسپیرمن نشان داد که در عمق ۵-۰ سانتی‌متری همبستگی معنی‌داری بین شاخص‌های تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریزی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک وجود ندارد (جدول۳).

جدول۳-

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با تراکم جمعیت اسپور در عمق ۵-۰ سانتی‌متری خاک (* - همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد، **- همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد و ns- عدم وجود همبستگی معنی‌دار)

متغیرها	غنا	یکنواختی	شانون وینر	سیمپسون	تراکم جمعیت اسپور
نیتروژن (٪)	۰/۰۸۱^{ns}	-۰/۱۰۵^{ns}	-۰/۰۴۲^{ns}	-۰/۰۶۴^{ns}	-۰/۰۲۹^{ns}
فسفر (mg/kg)	۰/۳۷۱^{ns}	۰/۰۵۵^{ns}	۰/۲۹۵^{ns}	۰/۱۵۳^{ns}	۰/۱۳۸^{ns}
پتاسیم (mg/kg)	۰/۱۹۹^{ns}	-۰/۲۰۵^{ns}	-۰/۰۵۴^{ns}	-۰/۱۰۶^{ns}	۰/۴۱۶*
ماده آلی (٪)	۰/۱۸۹^{ns}	-۰/۰۴۶^{ns}	۰/۰۸۴^{ns}	۰/۰۴۰^{ns}	-۰/۰۳۰^{ns}
رطوبت خاک (٪)	-۰/۲۷۹^{ns}	-۰/۱۶۸^{ns}	-۰/۲۸۳^{ns}	-۰/۸۷^{ns}	-۰/۶۴۹**
رس(٪)	-۰/۱۴۱^{ns}	-۰/۰۰۷^{ns}	-۰/۰۸۹^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	-۰/۳۶۵^{ns}
شن (٪)	-۰/۰۵۰^{ns}	-۰/۲۲۴^{ns}	-۰/۱۹۷^{ns}	-۰/۲۴۷^{ns}	۰/۱۳۶^{ns}
سیلت (٪)	۰/۱۹۷^{ns}	۰/۱۳۲^{ns}	۰/۲۱۷^{ns}	۰/۱۲۶^{ns}	۰/۳۶۴^{ns}
جرم مخصوص(g/cm)	-۰/۰۸۹^{ns}	-۰/۰۳۸^{ns}	-۰/۰۸۷^{ns}	۰/۰۲۴^{ns}	۰/۲۲۰^{ns}
pH	۰/۰۳۵^{ns}	-۰/۰۸۱^{ns}	-۰/۰۴۰^{ns}	-۰/۰۹۱^{ns}	۰/۱۶۰^{ns}
شوری (dS/m)	-۰/۰۱۷^{ns}	۰/۱۸۳^{ns}	۰/۱۲۰^{ns}	۰/۱۸۹^{ns}	۰/۲۹۴^{ns}

برخلاف عمق ۵-۰ سانتی‌متری، در عمق ۱۵-۵ همبستگی معنی‌داری بین تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وجود داشت. بر این اساس، غنای گونه‌ای با رطوبت اشباع

(p=۰/۰۱۰ ،c=-۰/۵۰۴) و رس (p=۰/۲۸۹ ،c=-۰/۴۸۰) همبستگی منفی و باسیلت (p=۰/۰۰۲ ،c=۰/۵۸۰) و اسیدیته (p=۰/۰۲۹ ،c=۰/۴۳۶) همبستگی مثبت داشت (جدول ۴). شاخص یکنواختی با رس (c=-۰/۳۹۹، p=۰/۰۴۸) همبستگی منفی اما باسیلت (c=۰/۴۸۳، p=۰/۰۱۴) همبستگی مثبتی را نشان داد. همچنین شاخص تنوع شانون‌وینر با رطوبت اشباع (p=۰/۰۱۸ ،c=-۰/۴۶۹) و رس (p=۰/۰۱۱ ،c=-۰/۵۰۱) همبستگی منفی و با سیلت (p=۰/۰۰۲ ،c=۰/۵۸۵) و اسیدیته (p=۰/۳۳ ،c=۰/۴۲۸) همبستگی مثبت داشت. شاخص سیمپسون با رطوبت اشباع (p=۰/۱۰ ،c=-۰/۵۰۵) و رس (p=۰/۰۰۸ ،c=-۰/۵۱۵) همبستگی منفی ولی با سیلت (p=۰/۰۰۶ ،c=۰/۵۳۲) همبستگی مثبتی را نشان داد. نتایج بررسی تراکم اسپور قارچ در خاک‌نشان داد که این پارامتر تنها با رطوبت خاک همبستگی منفی و با سایر پارامترهای شیمیایی خاک همبستگی ندارد (جدول ۴).

جدول۴- همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با تراکم جمعیت اسپور در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری خاک (* - همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد، **- همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد و ns- عدم وجود همبستگی معنی‌دار)

متغیرها	غنا	یکنواختی	شانون‌وینر	سیمپسون	تراکم جمعیت اسپور
نیتروژن (٪)	۰/۱۴۸^{ns}	۰/۰۷۰^{ns}	۰/۱۴۴^{ns}	۰/۲۱۸^{ns}	۰/۱۱۶^{ns}
فسفر (mg/kg)	۰/۳۵۶^{ns}	۰/۲۲۲^{ns}	۰/۳۴۴^{ns}	۰/۲۹۲^{ns}	۰/۳۷۶^{ns}
پتاسیم (mg/kg)	۰/۱۴۱^{ns}	۰/۰۹۷^{ns}	۰/۱۴۶^{ns}	۰/۱۷۳^{ns}	۰/۱۶۴^{ns}
ماده آلی (٪)	۰/۲۲۱^{ns}	۰/۱۱۹^{ns}	۰/۲۱۸^{ns}	۰/۱۹۵^{ns}	۰/۰۹۵^{ns}
رطوبت خاک (٪)	-۰/۴۸۰*	-۰/۳۱۰^{ns}	-۰/۴۶۹*	-۰/۵۰۵*	-۰/۴۲۱*
رس(٪)	-۰/۵۰۴*	-۰/۳۹۹*	-۰/۵۰۱*	-۰/۵۱۵**	-۰/۲۰۰^{ns}
شن (٪)	۰/۱۱۴^{ns}	۰/۰۶۶^{ns}	۰/۱۰۴^{ns}	۰/۱۹۱^{ns}	-۰/۰۱۸^{ns}
سیلت (٪)	۰/۵۸۰**	۰/۴۸۳*	۰/۵۸۵**	۰/۵۳۲**	۰/۲۷۱^{ns}
جرم مخصوص(g/cm)	۰/۲۸۱^{ns}	۰/۱۶۳^{ns}	۰/۲۹۵^{ns}	۰/۱۸۱^{ns}	۰/۱۹۸^{ns}
pH	۰/۴۳۶*	۰/۳۲۳^{ns}	۰/۴۲۸*	۰/۳۵۱^{ns}	۰/۱۱۶^{ns}
شوری (dS/m)	-۰/۰۱۸^{ns}	-۰/۰۸۳^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	-۰/۱۱۰^{ns}	-۰/۰۰۱^{ns}

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب و تنوع گونه‌های قارچ میکوریز آربوسکولار در کاربری‌های مختلف با همدیگر متفاوت است. برخی گونه‌های قارچی در تمام کاربری‌ها و برخی دیگر در کاربری خاصی حضور داشتند. تغییر کاربری با تأثیر بر پوشش گونه‌های درختی، گونه های‌علفی و زراعی می‌تواند بر قارچ‌های میکوریزی تأثیرگذار باشد (فراسیتو و همکاران، ۲۰۱۳). در این راستا، کوپاتینی و همکاران (۲۰۱۲) نیز با مقایسه تأثیر کاربری‌های جنگل‌های بومی، مزارع اکالیپتوس و اقاقیا، سویا و هندوانه بر ساختار جامعه قارچی در خاک به نتایج مشابهی دست یافتند. بر اساس این نتایج درمجموع ۱۹ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار شناسایی شد، به طوریکه گونه‌های G. nanolumen، G. arenarium، G. corymbiforme، C. luteum، C. etunicatum، S. constrictum، Glomus sp، A. colombiana، A. bireticulata، A. delicata، A. gadanensis، A.myriocarpa، D.reticulata، S.sinuosum، P.occultum، E. infrequens، در همه کاربری‌ها حضور داشتند. احتمالاً دلیل این امر قدرت سازگاری و همزیستی با گونه‌های مختلف گیاهی است. درحالی‌که برخی دیگر از گونه‌های قارچی در تحقیق حاضر تنها در یک کاربری خاص مشاهده‌شده‌اند. قارچ Acaulospora gadanensis با فراوانی (۲۰/۴۴ درصد) بالاترین مقدار میانگین درصد فراوانی نسبی در بین کاربری‌های مختلف را به خود اختصاص داده است. می‌توان گفت این‌گونه قدرت سازش‌پذیری بالایی با شرایط رویشگاهی مختلف دارد و با دامنه همزیستی بالایی دارد. Enterophospora با ۱/۷۱

درصد، کمترین میانگین فراوانی را در بین کاربری‌ها داشت. بر اساس نتایج مشخص شد که اکثر گونه-های شناسایی‌شده متعلق به جنس Glomus بوده است. جنس Glomus از عمومی‌ترین قارچ‌های خاکزی می‌باشد و به‌صورت منفرد یا دسته‌ای در خاک یا بافت ریشه حضور دارند و عموماً با اکثر گونه‌های گیاهی همزیستی دارند. در مطالعه حاضر، Glomus و Acaulospora جنس‌های غالب در جنگل بودند. این جنس‌ها از معروف‌ترین قارچ-های میکوریز مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند (چودری و همکاران، ۲۰۱۳) که با توجه به اقلیم منطقه موردمطالعه فروانی این جنس قابل توجیه است. از طرفی Xu و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی جوامع قارچی در کاربری‌های مختلف در فلات تبت نیز نشان داد که جنس Glomus در کاربری زراعی و Acaulospora در جنگل غالب هستند. گونه Glomus verruculosum تنها در جنگل دست‌کاشت پهن‌برگ (ارغوان) مشاهده شد که احتمالاً به خاطر دامنه اکولوژیک بسیار کم این‌گونه در برابر شرایط محیطی یا اختصاصی بودن به میزبان گیاه خاص باشد که با نتایج همسو با نتایج جعفریان و همکاران (۲۰۱۸) است. همچنین گونه R. fasciculatus تنها در کاربری جنگل دست‌کاشت (پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) و گونه G. ambisporum در همه کاربری‌ها به‌جز جنگل-کاری سوزنی‌برگ مشاهده شدند.

براساس نتایج این مطالعه کمترین میانگین تعداد اسپور در کاربری زراعی مشاهده شد. عملیات کشاورزی مانند شخم زدن زمین با به هم زدن خاک سبب قطع ارتباطات ریشه و درنتیجه کاهش همزیستی‌های قارچی می‌گردد. پایین بودن میزان تعداد اسپور قارچ در کاربری زراعی نسبت به کاربری جنگل در مطالعات چابی و همکاران (۲۰۰۸) و شفیعی و همکاران (۲۰۲۰) نیز مشاهده‌شده است. بلای و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تنوع قارچ‌های میکوریز در سه کاربری اگروفارستی، جنگل بومی و جنگل تک کشت نیز به این نتیجه رسیدند که میزان تراکم اسپور قارچ در کاربری اگروفارستری کمتر از جنگل بومی بود. مشاهده تراکم هاگ زمین کشاورزی پایین‌تر در نسبت به جنگل طبیعی یا تک کشت در مطالعه حاضر در مطالعه شارمه و همکاران (۲۰۱۴) نیز مشاهده‌شده است.

در این مطالعه نتایج نشان داد که تعداد اسپور قارچ‌های میکوریز در رویشگاه‌های مختلف بسیار متغیر بوده، چنین تنوع گسترده‌ای در تعداد اسپورها را می‌توان به وجود متغیرهای متعدد در دامنه گسترده‌ای از شرایط محیطی نسبت داد. همچنین تراکم و تنوع قارچ‌های موجود در خاک با عوامل بسیاری در ارتباط است، که ازجمله این عوامل می‌توان به ترکیب و تنوع جامعه گیاهی، توانایی اسپورزایی جنس‌های مختلف قارچ میکوریز، تراکم ریشه گیاه میزبان، حاصلخیزی خاک و خصوصیات فیزیک و-شیمیایی خاک اشاره کرد (لوورا و کونکا، ۲۰۰۷).

نتایج همبستگی تراکم جمعیت اسپوری در عمق ۵-۰ سانتی‌متر صرفاً با پتاسیم قابل‌جذب همبستگی مثبت نشان داده است. پتاسیم یک جزء ضروری از سلول‌های زنده می‌باشد که به‌عنوان یک کاتیون اصلی در تنظیم اسمزی، تقاضا برای آن بالا است و قارچ‌های میکوریز نیز برای تشکیل اسپوروفور به آن نیاز دارند (وینیچاک و همکاران، ۲۰۱۰). این نتایج با تحقیقات بورنی و همکاران (۲۰۱۱) و میرزایی و نوربخش (۲۰۱۹) مطابقت دارد. ازنظر پارامترهای فیزیکی خاک در عمق اول (۵-۰ سانتی‌متر) تراکم اسپور با رطوبت اشباع خاک همبستگی منفی نشان داد. تحت تنش خشکی قارچ‌های میکوریزی شروع به اسپور زایی کرده و افزایش می‌یابند (اومیرو و همکاران، ۲۰۱۳). از آنجایی که قارچ میکوریزی همزیستی اجباری با گیاهان دارند، بنابراین اسپورزایی در شرایط تنش خشکی یک نوع عکس‌العمل طبیعی قارچ‌هاست که از این طریق به گیاهان در جذب آب بیشتر کمک می‌کنند.

بر اساس نتایج بیش‌ترین تنوع گونه‌ای شانون‌وینر در کاربری جنگل طبیعی و مرتع مشاهده شد که از دلایل آن را می‌توان حاصلخیز بودن جنگل طبیعی و وجود مواد آلی بیشتر در این جنگل نسبت به سایر کاربری‌ها دانست. یکی دیگر از دلایل بالا بودن تنوع قارچی در کاربری‌های

جنگل طبیعی و مرتع می‌تواند به جهت تنوع گیاهی این کاربری‌ها باشد (فنینگ، ۲۰۰۶). بیشتر بودن تنوع قارچی در جنگل طبیعی نسبت به سایر کاربری‌ها با نتایج موریرا (۲۰۰۷) همسو می‌باشد. سینگ و همکاران (۲۰۰۳) نیز در مطالعه خود به نتایج مشابهی رسیدند که نشان از بیشتر بودن میزان تنوع و تراکم قارچ‌های وزیکولار آربوسکولار در جنگل‌های طبیعی نسبت به زمین زراعی بود است. علاوه بر این زوو و همکاران (۲۰۱۷) روی کاربری‌های مختلف در فلات تبت، بیشتر بودن تنوع قارچ میکوریز آربوسکولار در کاربری مرتع نسبت به جنگل یا زمین‌های زراعی را نشان داد. همچنین مطابق نتایج مطالعه حاضر غنای گونه-های قارچ میکوریز در کاربری زراعی و جنگل‌کاری سوزنی‌برگ با گونه سرو نقره‌ای کم‌ترین میزان را داشت. میزان کم شاخص غنای گونه‌ای قارچ‌های میکوریزی در جنگلکاری‌ها نسبت به سایر کاربرهای را می‌توان به پایین بودن میزان تنوع گونه‌های گیاهی کف این جنگل‌ها نسبت داد. تنوع پایین گونه‌های گیاهی کف جنگل‌کاری در مطالعه محمدنژاد کیانسری (۲۰۰۸) هم مشاهده‌شده است.

بر اساس نتایج، میزان غنا در جنگل طبیعی و کاربری مرتع بیش از سایر کاربری‌ها می‌باشد. از آنجایی که اکوسیستم‌های طبیعی دارای تنوع گیاهی بالاتری نسبت به سایر کاربری‌ها مثل جنگل‌های دست کاشت و زراعی هستند، تنوع بالای گیاهان در این مناطق می‌تواند غنای گونه‌های میکروبی بیش‌تری را به دلیل تعاملات خاص بین گیاهان و میکروارگانیسم‌ها افزایش دهد که مطالعه فراسیتو و همکاران (۲۰۱۳) بیش‌تر بودن غنا در مناطق جنگلی به دلیل تنوع گیاهی بالاتر در جنگل طبیعی نسبت به کاربری مرتع، کشاورزی و زراعت جنگلی را تأیید کرده‌اند.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر رابطه معنی‌داری بین تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و رطوبت خاک، درصد رس، درصد سیلت و میزان pH خاک مشاهده گردید. سیبی چاکراواتی و همکاران (۲۰۱۵) در خصوص تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در خاک‌های کشاورزی در هند اثر قوی متغیرهای فسفر و pH خاک بر تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را نشان دادند که بر اساس نتایج آنان شاخص‌های تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز با فسفر و pH همبستگی منفی داشتند. درحالی‌که نتایج مطالعه حاضر همبستگی مثبت غنای گونه‌ای و تنوع شانون وینر را با pH خاک‌نشان داد. راجشکومار و همکاران (۲۰۱۵) و آمبیلی و همکاران (۲۰۱۲) نیز همبستگی منفی غنای گونه‌ای، شاخص‌های شانون با pH خاک را گزارش کردند. pH خاک عامل اصلی تأثیرگذار بر همزیستی قارچ-های میکوریز است و بر جوانه‌زنی و توسعه قارچ‌های میکوریز آربوسکولار تأثیر می‌گذارد و تولیدمثل این قارچ‌ها و کلونیزاسیون ریشه را تحریک می‌کند (امینیان نسب و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین نتایج همبستگی شاخص‌های تنوع گونه‌ای قارچ و خصوصیات خاک نشان داد که غنای گونه‌ای و تنوع شانون وینر قارچ میکوریز با رس همبستگی منفی و با سیلت همبستگی مثبت داشت. این در حالی است که مطالعه محمدی و همکاران (۲۰۱۷) همبستگی مثبت رس با تنوع شانون وینر را نشان داد. میرزایی و مرادی (۲۰۱۷) نیز همبستگی مثبت تنوع و غنای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با سیلت را نشان دادند که همسو با نتیجه مطالعه حاضر می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

تنوع گونه‌ای قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و فراوانی اسپور قارچ‌ها در کاربری‌های مختلف متفاوت بود، به‌طوری‌که کاربری‌های طبیعی (جنگل طبیعی و مرتع) نسبت به کاربری‌های دست کاشت (جنگلکاری و زمین زراعی) از تنوع بیش‌تری برخوردارند. همچنین تراکم و فراوانی اسپور در کاربری‌های طبیعی نسبت به کاربری زراعی بیشتر بود؛ به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت که کاربری زراعی با کشت خالص یک گونه گیاهی، سبب کاهش تنوع قارچ میکوریزی می‌گردد؛ بنابراین توصیه می‌گردد برای حفظ جوامع میکوریزی، جنگل‌های طبیعی تحت حفاظت بیش‌تری قرار گیرند.

فهرست منابع

1. Ambili, K. Thomas, G.V. Indu, P. Gopal, M. & Alka, G. 2012. Distribution of arbuscular mycorrhizae associated with coconut and arecanut based cropping systems. J Agric Res, 1(4):338–345
2. Aminian Nesab, P. Sadaqati, E. Hosseini, S. and R Sabri. 2021. Investigating the effect of climate, physicochemical characteristics of soil and host on the activity of arbuscular mycorrhizal fungi in Rafsanjan region, Biological control of pests and plant diseases, 9 (2): 197-216.
3. Asghari, H. R. Amerian, M. R. & Gorbani, H. 2008. Soil salinity affects arbuscular mycorrhizal colonization of halophytes. Pakistan Journal of Biology Science, 11 (15), 1909-1915.
4. Belay, Z. Negash, M. Kaseva, J. 2020. Native forests but not agroforestry systems preserve arbuscular mycorrhizal fungal species richness in southern Ethiopia. Mycorrhiza 30, 749–759. https://doi.org/10.1007/s00572-020-00984-6.
5. Bremner, J. M. & Mulvaney. 1982. Nitrogen total, In page, A.L. Miller, R.H. Keeney, R.R. (Eds), Methods of Soil Analysis, Part 2 Second ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, 595-624 pp.
6. Brundrett, M.C. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. Advance ecological Research, 21:171-3130.
7. Burni, T. Hussain, F. & Sharief, M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) associated with the rhizosphere of mentha arvensis L., and longifolia huds. Pakistan Journal of Botany, 43(6): 3013-3019.
8. Chaudhry, M., Saeed, M. and F. Nasim. 2013. Soil chemical heterogeneity may affect the diversity of Arbuscular-Mycorrhizal Fungi in the rhizosphere of Tamarix Aphyla under arid climate, Biologie vegetală, 59(2): 53-63.
9. Cibichakravarthy: B., Kumutha, K., Balachandar, D. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in phosphorus-deficient Alfisols of a dry North-western agro-ecosystem of Tamil Nadu, India. Ann Microbiol. 65:143‑153
10. Fracetto, G. G., Azevedo, L. C., Fracetto, F. J., Andreote, F. D., Lambais, M. R., & Pfenning, L. H. 2013. Impact of Amazon land use on the community of soil fungi. Scientia Agricola, 70(2), 59-67.
11. Hale, C. M., Frelich, L. E., Reich, P. B., & Pastor, J. 2005. Effects of European earthworm invasion on soil characteristics in northern hardwood forests of Minnesota, USA. Ecosystems, 8(8), 911-927.
12. Jafareiyan, N., Mirzaei, J., Moradi, M. and Heydari, M. 2018. Biodiversity and Colonization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi with Some Zagros Forest Species. Journal of Forestry and Wood Products, 71 (1), 35-47.
13. Jamiołkowska, A., Księżniak, A., Gałązka, A., Hetman, B., Kopacki, M., & Skwaryło-Bednarz, B. 2018. Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: a Review. International agrophysics, 32(1), 133-140.
14. Kebebew, S., Bedadi, B., Erkossa, T., Yimer, F., Wogi, L. 2022. Effect of Different Land-Use Types on Soil Properties in Cheha District, South-Central Ethiopia. Sustainability, 14, 1323.
15. Kiers, E.T., Duhamel, M., Beesetty, Y., Mensah, J.A., Franken, O., Verbruggen, E., Fellbaum, C.R., Kowalchuk, G.A., Hart, M.M., Bago, A., Palmer, T.M., West, S.A., Vandenkoornhuyse, P., Jansa, J. and Bücking, H. 2011. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. Science, 333: 880-882.
16. Kooch, Y., Hosseyni, S. M., Jalilvand, H., & Fallah, A. 2010. Biodiversity of environmental units in relation to soil properties in beech forest ecosystem. J. Environ. Sci, 8(1), 135-150.
17. Lovera, M., & Cuenca, G. 2007. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and mycorrhizal potential of the soil from a natural and a disturbed savannah from la gran sabana, Venezuela. Interciencia, 32(2), 108-114.

18. Manimegalai, V., Selvaraj, T., & Ambikapathy, V. 2011. Studies on isolation and identification of VAM fungi in Solanum viarum Dunal of medicinal plants. Advances in Applied Science Research, 2(4), 621-628.
19. Menyailo, O. V., Hungate, B. A., & Zech, W. 2002. Tree species mediated soil chemical changes in a Siberian artificial afforestation experiment. Plant and Soil, 242(2), 171-182.
20. Mirzaei J., & Noorbakhsh N. 2019. The relationship between soil characteristics and arbuscular mycorrhiza fungi associated with Crataegus pontica. Plant Research Journal (Iranian Biology Journal), 32(1): 237- 245
21. Mirzaei, J. & Moradi, M. 2017. Relationships between flora biodiversity, soil physiochemical properties, and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) diversity in a semi-arid forest. Plant Ecology and Evolution 150 (2): 151–159
22. Mohammadi, M., Mirzaei, J., Naji, H. R. & Moradi, M. 2017. Biodiversity and Colonization of Mycorrhizal Fungi Associated with Tamarix Trees from different Environmental Conditions. M.Sc.Thesis. Faculty of Agriculture ILAM University. 110 p.
23. Mohammadnejad Kiasari, S., Akbarzade, M, Jafari B. 2008. Investigation on the Plant Biodiversity in the Forestation Area of Needle Leaves Species (Case study: Kohsarkande-Mazandaran). JWSS, 11 (42) :611-625
24. Moreira, M., Baretta, D., Tsai, S. M., Gomes-da-Costa, S. M., & Cardoso, E. J. B. N. 2007. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in Araucaria angustifolia forest. Scientia Agricola, 64(4), 393-399.
25. Omirou, M., Ioannides, I. M., & Ehaliotis, C. 2013. Mycorrhizal inoculation affects arbuscular mycorrhizal diversity in watermelon roots, but leads to improvd colonization and plant response under water stress only. Appl. Soil Ecol. 63, 112–119.
26. Pfenning, L.H. 2006. Soil and rhizosphere microfungi from Brazilian tropical forest ecosystems. p. 341-365. In: Hyde, K.D., ed. Biodiversity of tropical microfungi. University Press, Hong Kong, China.
27. Prescott, C. E., & Grayston, S. J. 2013. Tree species influence on microbial communities in litter and soil: current knowledge and research needs. Forest Ecology and Management, 309, 19-27.
28. Rajeshkumar, P.P., Thomas, G.V., Gupta, A. 2015. Diversity, richness and degree of colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in coconut cultivated along with intercrops in high productive zone of Kerala, India. Symbiosis 65, 125–141.
29. Requena, N., Perez-Solis, E., Azcon-Aguilar, C., Jeffries, P. and Barrea, J.M. 2001. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of decertified ecosystems. Applied Environment Microbiology, 67:495-8.
30. Salehi, A., Zarin Kafesh, M., Zahedi Amiri, AH. & Mervi the Immigrant, R. 2015. Investigation of changes in soil physical and chemical properties in relation to tree ecological groups in Nam Nam series. Nocturnal forest. Iranian Journal of Natural Resources, 58 (3): 578-567.
31. Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycological research, 105 (12), 1413-1421.
32. Shafiee, Sh., Salehi, A., & Kohneh, E. 2020. The Influence of Forest Land Use Changing into Tea Garden on Soil Chemical Properties and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Population (Case Study: Lahijan). Journal of Renewable Natural Resources Research, 11(2): 17-26.
33. Sharmah, D., & Jha, K, 2014. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in undisturbed forest, slash-and-burn field, and monoculture forest of Indo-Burma megadiverse region. Braz J Bot 37:339–351
34. Singh, S. S., Tiwari, S. C., & Dkhar, M. S. 2003. Species diversity of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi in jhum fallow and natural forest soils of Arunachal Pradesh, north eastern India. Tropical ecology, 44(2), 205-214.
35. Stürmer, S. L., & Siqueira, J. O. 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. Mycorrhiza, 21(4), 255-267.

36. Talbi, Z., ASRI, A., Toati, J., CHliyeh, M., Aguil, F., Selmaoui, K., Sghir, F., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R. & Douira, A. 2015. Morphological characterization and diversity of endomycorrhizae in the rhizosphere of Carob tree (Ceratonia siliqua) in Morocco. Biolife, 3 (1): 196-211.
37. Vinichuk, M., Taylor, A.F.S., Rosén, K., & Johanson, K.J. 2010. Accumulation of potassium, rubidium and caesium (133Cs and137Cs) in various fractions of soil and fungi in a Swedish forest. Science of the Total Environment, 408: 2543-8.
38. Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, Herold, M. 2021. Global land use changes are four times greater than previously estimated. Nat Commun, 12, 2501.
39. Wehner, J., Antunes, P.M., Powell, J.R., Mazukatow, J., Rilling, M.C. 2010. Plant pathogen protection by Arbuscular mycorrhizas: A role for fungal diversity. Pedobiologia, 53: 197-201.
40. Xu, M., Li, X., Cai, X., Li, X., Christie, P., & Zhang, J. 2017. Land use alters arbuscular mycorrhizal fungal communities and their potential role in carbon sequestration on the Tibetan Plateau. Scientific reports, 7(1), 3067.

Biodiversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Natural and Agricultural Land and their relationship with soil properties in Zagros Forest

J. Mirzaei *, M. Jafari , J. Hoseinzadeh and N. Jafarian

Associate Prof., Department of forest science, Ilam University, Ilam, **j.mirzaei@mail.ilam.ac.ir**
MSc. Student Department of forest science, Ilam University, Ilam, **monirejafari71@gmail.com**
Associate Prof., Department of forest science, Ilam University, Ilam **j.hoseinzadeh@gmail.com**
PhD of forest Biology, Department of forest science, Ilam University, Ilam **nahidjafareiyan2013@gmail.com**

Received: February, 2023 and Accepted: July, 2023

Abstract

This study was carried out in order to investigate the biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in natural oak forest, broad-leaved plantation, needle-leaved plantation, agricultural and rangeland land uses in Lene habitat, Chardavol city, Ilam province. For this purpose, five mixed soil samples were randomly collected from each land use at soil depths of 0-5 and 5-15 cm and the characteristics of soil and AMF were investigated. Wet sieving and sucrose method were used to extract AMF and their identification was done based on spore morphological characteristics such as shape, color, size, number of wall layers, thickness of wall layers and hypha shape. Totally 19 AMF species belonging to eight genera including Glomus, Acaulospora, Claroideoglomus, Rhizophagus, Septoglomus, Dentiscutata, Paraglomus, Entrophospora were identified. The results showed that spores abundance and biodiversity of AMF were different in different land uses. The highest spore density was related to natural forest (78.12), broadleaf forestry (66.28) and pasture (57.48), and the lowest was related to agriculture (50.96) and needle-leaved plantation (28.16). It was also found that the abundance of symbiotic AMF was the highest in the natural forest (16.6) and rangeland (15.8) and the lowest in the agricultural (11.6) and needle-leaved plantation (14.4) land uses. Shannon-Weiner and Simpson's diversity indices in natural forest, rangeland and plantation were significantly higher than agricultural land use. According to the results, there was no significant difference between the two depths of soil samples in spore density and biodiversity indices. The results also showed that the change in land use had negative effect on the diversity and abundance of symbiotic AMF. Therefore, to preserve biodiversity of AMF, it is recommended that natural forests be under more protection.

Keywords: Needle-leafed, Arbuscular Mycorrhizal fungi, Plantation, Natural forest, Ilam

* - Corresponding author's email: j.mirzaei@mail.ilam.ac.ir