فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۶ شماره ۴، صفحه ۴۷۰-۴۵۹، (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2018.118577
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0883.1397.26.459.74.4.1585.1606

رابطه قارچ‌های اکتومیکوریز با برخی ویژگی‌های شیمی خاک در راشستان‌های فریم، استان مازندران

حامد آقاجانی [۱]، سیدمحمد حجتی [۲*]، محمدعلی تاجیک‌قنبری [۳]، محمدرضا پورمجیدیان [۴] و علی برهانی [۵]

۱- دکترای جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، گروه جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. پست الکترونیک: s_m_hodjati@yahoo.com
۳- دانشیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۵- استادیار، ایستگاه تحقیقات جنگل و مرتع پاسند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بهشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۴

چکیده

با توجه به نقش مثبت قارچ‌های اکتومیکوریز در جذب آب و مواد غذایی و انتقال به درختان، شناسایی آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. این پژوهش با هدف بررسی ارتباط تنوع قارچ‌های اکتومیکوریز شناسایی‌شده با برخی ویژگی‌های شیمی خاک در سری فلورد جنگل‌های فریم استان مازندران انجام شد. در سه دامنه ارتفاعی ۳۰۰ متری (۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰، ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ و ۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰)، ۴۵ درخت راش (*Fagus orientalis* Lipsky) (در هر طبقه ارتفاعی ۱۵ درخت) انتخاب و نمونه‌برداری از ریزریشه‌های آن‌ها به‌عمق ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. در کنار محل مورد نظر برای برداشت ریشه، یک نمونه به عمق ۱۰ سانتی‌متر برای بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز برداشت شد. نمونه‌های ریشه در آزمایشگاه قارچ‌شناسی از طریق استخراج DNA ناحیه ITS nrDNA با استفاده از زوج آغازگرهای ITS1F و ITS4B یا ITS4 تکثیر و توالی‌یابی شده و با نرم‌افزار BioEdit اصلاح و در NCBI بررسی شدند. نمونه‌های خاک نیز پس از انتقال به آزمایشگاه، به‌مدت دو هفته در هوای آزاد خشک شده و پس از عبور از الک‌های دو میلی‌متری، مشخصه‌های شیمی خاک بررسی شدند. بر اساس نتایج بررسی همزیستی اکتومیکوریزی، ۱۰ خانواده مختلف شناسایی شدند و بیشترین همزیستی مربوط به Russulaceae و Cortinariaceae بود. مقدار مشخصه‌های خاک مانند pH، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن در طبقه ارتفاعی اول بیشتر از دو طبقه دیگر بود. همچنین، نتایج تجزیه واریانس و مقایسه‌های میانگین متغیرهای خاکی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که بین طبقه‌های ارتفاعی از نظر مقدار فسفر، پتاسیم و اسیدیته تفاوت معنی‌داری وجود داشت. یافته‌های این پژوهش مؤید آن است که شرایط رویشگاهی و تنوع گونه‌ای توده‌های جنگلی می‌توانند بر ویژگی‌های خاک و غنای گونه‌ای اکتومیکوریزها و پیرو آن، پویایی بوم‌سازگان جنگل مؤثر باشند.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته خاک، اکولوژی گیاهی، پتاسیم، جنگل‌های هیرکانی، سلامت جنگل، فسفر.

مقدمه

موجودات زنده با یکدیگر و با محیط پیرامون خود، روابط پیچیده‌ای دارند، به‌طوری‌که محیط و موجودات زنده، یک مجموعه مرتبط را تشکیل می‌دهند. این مجموعه یک سیستم

پیچیده اکولوژیکی را به‌وجود می‌آورد. یکی از این موجودات زنده، قارچ‌ها هستند که در بوم‌سازگان جنگل از اجزای مهم محسوب می‌شوند (Steiner *et al.*, 2002). قارچ‌ها شامل گروه‌های مختلفی هستند که نقش مهمی در سلامت بوم‌سازگان‌ها دارند (Newbound *et al.*, 2010). از همزیستی موجودات زنده در بوم‌سازگان جنگل می‌توان به همزیستی قارچ و گیاه به‌عنوان میکوریز اشاره کرد که نقش مهمی در افزایش کیفیت کلی خاک ایفا می‌کند (Mostajeran & Zoei, 2006). از انواع این قارچ‌ها، قارچ اکتومیکوریز است که از نظر اقتصادی از مهم‌ترین گروه‌های قارچ‌های خاک به شمار می‌رود (Alikhani & Ghorchiani, 2012). همزیستی اکتومیکوریزی، فراوان‌ترین و مهم‌ترین نوع همزیستی در جنگل‌های معتدله و نیمه‌معتدله است (Smith & Read, 2008). قارچ‌های اکتومیکوریز عناصری مانند فسفر، نیتروژن، سولفور و روی را از خاک دریافت می‌کنند و آن‌ها را به گیاه میزبان انتقال می‌دهند که این انتقال تا حد زیادی تابع سیستم ریشه گیاه میزبان است (Siddiqui & Pichtel, 2008). همچنین، این قارچ‌ها، کربن و مواد آلی دیگر مورد نیاز خود را از درخت دریافت می‌کنند و در مقابل، درخت را در جذب آب، نمک‌های معدنی و متابولیت‌ها حمایت می‌کنند (Alikhani & Ghorchiani, 2012). بیشتر این قارچ‌ها جزء بازیدیومایست‌ها هستند و *Suillus*، *Russula*، *Lactarius*، *Cortinarius* و *Amanita* از شناخته‌شده‌ترین جنس‌های آن‌ها هستند (Siddiqui & Pichtel, 2008).

حفظ تنوع زیستی قارچ‌ها در خاک برای حفاظت از سلامت جنگل‌ها و همچنین برای موفقیت برنامه‌های احیای این بوم‌سازگان ضروری است. بیشتر درختان جنگل وابستگی شدیدی به همزیست قارچی خود دارند و در مناطقی با کیفیت نامطلوب خاک و در غیاب این قارچ‌ها، امکان حضور این درختان وجود ندارد (Alikhani & Ghorchiani, 2012)، بنابراین در مدیریت حفاظت از جنگل، عدم مدیریت قارچ میکوریزی می‌تواند باعث خسارت به درختان و گیاهان جنگلی شود.

در پژوهشی، Horton و همکاران (۲۰۱۳) در جنگل‌های معتدله و رو به زوال اکالیپتوس، ارتباط جوامع قارچ‌های اکتومیکوریز با ویژگی‌های شیمیایی خاک را بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که pH خاک، نیترات و کربن آلی خاک با تغییرات قارچ‌های اکتومیکوریز ارتباط معنی‌دار داشت. همچنین، غنای قارچ‌های Russulaceae در خاک‌های اسیدی زیاد بود، در حالی‌که گونه‌های متعلق به Cortinariaceae در خاک‌هایی که نیترات کم بود، حضور داشتند. غنای کل قارچ‌های اکتومیکوریز نیز ارتباط معکوسی با فسفر قابل دسترس و نیترات خاک داشت. یافته‌های دیگر پژوهش مذکور نشان داد که تغییر در شیمی خاک در جنگل‌های رو به زوال اکالیپتوس باعث تغییراتی در جمعیت قارچ‌های اکتومیکوریز شده بود. همچنین، در مدیریت جنگل باید نقش آشفتگی‌ها در حفظ شرایط مناسب خاک برای همزیستی با قارچ‌های میکوریز درنظر گرفته شود، زیرا این قارچ‌ها برای حفظ جنگل‌های سالم اکالیپتوس و احیای بوم‌سازگان جنگلی رو به زوال مهم هستند. Suz و همکاران (۲۰۱۴) با مطالعه جنگل‌های معتدله بلوط اروپا به این نتیجه رسیدند که گونه غالب همزیست با بلوط، *Lactarius quietus* بود که در این مناطق به افزایش نیتروژن و کاهش pH واکنش مثبتی نشان داده بود. در مقابل، گونه‌های متعلق به *Crotinarius*، *Tricholoma* و *Piloderma* همبستگی منفی با پارامترهای خاک (اسیدیته و نیتروژن) داشتند. Craig و همکاران (۲۰۱۶) قارچ‌های اکتومیکوریز و ارتباط آن‌ها با برخی عوامل رویشگاهی جنگل را شناسایی کردند. بر اساس نتایج آن‌ها، عوامل زنده و غیرزنده و نیز بلایای طبیعی نقش مهمی در پراکنش ساختاری قارچ‌های اکتومیکوریز ایفا می‌کردند. همچنین، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله ماده آلی و pH، نقش مهمی در ساختار جوامع قارچ‌های اکتومیکوریز داشتند. به‌عنوان مثال، خاک‌های شنی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در فراوانی کم جوامع قارچ‌های اکتومیکوریز داشتند. Wang و همکاران (۲۰۱۷) در جنگل‌های چین، قارچ‌های اکتومیکوریز گونه‌ای بلوط (*Quercus liaotungensis*) را بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ارتفاع از سطح دریا و مواد آلی خاک، همبستگی مثبتی با غنای قارچ‌ها

داشتند. Zamani (۲۰۱۴) در مطالعه شناسایی مولکولی قارچ‌های اکتومیکوریز همزیست با درختان بلوط در جنگل‌های بنیشکی و خیرود مازندران، جنگل لوه و توسکاستان گلستان و جنگل سیاهکل و شفارود گیلان، ۴۹ آرایه متعلق به ۱۳ جنس را شناسایی کرد. *Lactarius*، *Russula* و *Inocybe* غالب‌ترین و متنوع‌ترین آرایه‌های یافت‌شده در پژوهش مذکور بودند.

در ایران، اطلاعات اندکی در مورد قارچ‌های اکتومیکوریز و شیمی خاک جنگل وجود دارد. هدف پژوهش پیش‌رو، شناسایی قارچ‌های اکتومیکوریز همزیست با راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در راشستان‌ها و ارتباط آن‌ها با برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگل مانند اسیدیته، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن بود. نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات باارزشی در ارتباط با حمایت، سلامت و پایداری جنگل و نیز حفاظت از درختان در مقابل بیمارگرها در اختیار کارشناسان جنگل قرار دهد.

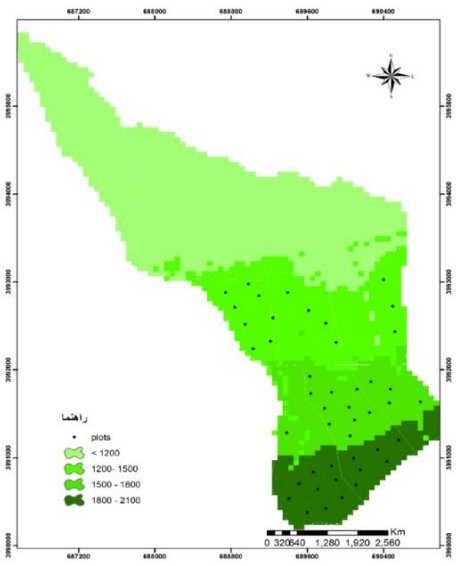
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سری فلورد جنگل‌های فریم استان مازندران، در قسمت جنوب شرقی شهر پل‌سفید با مختصات طول جغرافیایی ′۰۴ °۵۳ تا ′۰۷ °۵۳ و عرض جغرافیایی ′۰۲ °۳۶ تا ′۰۵ °۳۶ انجام شد. ارتفاع از سطح دریا در محدوده مورد مطالعه بین ۱۲۰۰ تا ۲۱۰۰ متر و متوسط بارش سالانه ۸۵۸ میلی‌متر است. بر اساس روش آمبرژه، این منطقه، اقلیم سرد و مرطوب دارد. جهت عمومی شیب در جنگل‌های سری فلورد، شمالی و شمال غربی و متوسط شیب حدود ۴۵ درصد است. عمده درختان غالب در منطقه راش هستند و ممرز، گیلاس وحشی، بارانک، توسکا، پلت، نمدار، ملج و شیردار گونه‌های همراه آن را تشکیل می‌دهند (Anonymous, 2010) (شکل ۱).

روش پژوهش

پس از جنگل‌گردشی اولیه، حد ارتفاعی پایین (۱۲۰۰ متر) و بالای راش (۲۱۰۰ متر) در منطقه مشخص و دامنه ارتفاعی به سه طبقه ۳۰۰ متری تقسیم‌بندی شد (Fisher & Fulé, 2004; Jarvis *et al.*, 2015). با توجه به اینکه کل منطقه مورد مطالعه راشستان بود، نقشه تیپ‌بندی بر اساس GIS تجزیه و تحلیل شد و با تلفیق نقشه تیپ و طبقه‌های ارتفاعی، واحدهای همگن مشخص شدند. سپس، اطلاعات مربوط به ۱۵ درخت راش در هر طبقه ارتفاعی و در مجموع ۴۵ پایه برداشت شد (شکل ۱). نمونه‌برداری از ریزریشه‌ها به‌عمق ۱۰ سانتی‌متر انجام شد (Bruns, 1995; Bakker *et al.*, 2000). در کنار محل مورد نظر برای برداشت ریشه، یک نمونه به عمق ۱۰ سانتی‌متر برای بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک برداشت شد و به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی ساری منتقل شد.



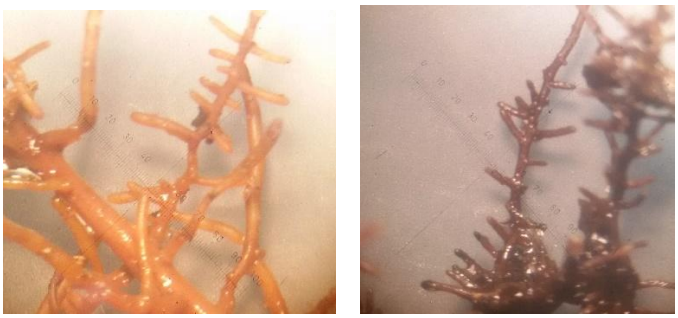
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در سری فلورد جنگل فریم استان مازندران. موقعیت درختان نمونه در طبقه‌های ارتفاعی مختلف نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل نمونه‌های قارچ

استخراج DNA

تخریب دیواره سلولی به‌منظور استخراج DNA توسط ساییدن بافت نوک ریشه درون میکروتیوب دو میلی‌لیتری با

نیتروژن مایع انجام شد. از هر سیستم ریشه‌ای، یک تا هشت نوک‌ریشه هم‌شکل (Huang *et al*., 2014) جدا شد. نوک‌ریشه‌ها بر اساس نوع رنگ سطحی، شکل و ویژگی‌های ریخت‌شناسی شامل ساده (بدون شاخه و انشعاب)، مونوپودیال پرمانند (باریک‌ریخت)، هرمی دوشاخه، برگچه‌ای نامنظم، مرجانی و گره‌دار و غیره جدا شدند (شکل ۲). هدف از این تفکیک، جداسازی گونه‌های مختلف یک جنس بود که شکل، رنگ و ویژگی‌های ظاهری نزدیک به‌هم داشتند (Ishida *et al*., 2007; Agerer, 1987-2012).



شکل ۲- نمونه‌هایی از نوک‌ریشه‌های میکوریزی مورد بررسی زیر استریومیکروسکوپ

به هر یک از نمونه‌های نوک‌ریشه، ۶۰۰ میکرولیتر بافر CTAB (۱۰۰ میلی‌مولار تریس، ۲۰ میلی‌مولار EDTA و ۱/۴ مولار کلرید سدیم و وزن حجمی از CTAB دو درصد؛ (pH = ۸)) افزوده شد. به‌منظور حذف پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و پلی‌فنول‌های ریشه گیاه که می‌توانند از واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز ممانعت کنند، پلی‌وینیل‌پیرولیدین (PVP) دو درصد دو میلی‌گرم، بتا- مرکاپتواتانول دو درصد ۱۰ میکرولیتر و نیز پنج میکرولیتر از پروتئیناز K (۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) به هر نمونه اضافه شد. نمونه‌ها پس از ورتکس، در حمام بن‌ماری در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. سپس با افزودن یک حجم برابر از محلول کلروفرم: ایزوامیل الکل (۲۴:۱ ۷\۷)، سر و ته کردن آرام ویال به‌مدت سه دقیقه به‌منظور مخلوط شدن محتویات آن و سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه با ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در نهایت، لایه بالایی که حاوی DNA بود، به میکروتیوب جدید منتقل شد. رسوب‌دهی DNA با اضافه کردن ۰/۸ حجم ایزوپروپانول سرد، چندین مرتبه سر و ته کردن آرام ویـال‌ها و در نهایت نگهداری به‌مدت حداقل دو ساعت در فریزر با دمای ۲۴- درجه سلسیوس انجام شد. سپس، سانتریفوژ نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سلسیوس انجام شد. مایع رویی دور ریخته شد و DNA رسوب‌کرده با افزودن ۵۰۰ میکرولیتر از اتانول ۷۰ درصد سرد شستشو داده شد. سپس، سانتریفوژ دیگری به‌مدت سه دقیقه و با دور ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه انجام شد. اتانول رویی دور ریخته شد و میکروتیوب‌ها به‌طور وارونه بر روی دستمال کاغذی قرار گرفتند تا رسوب DNA در مجاورت هوا خشک شود. سپس، ۵۰ میکرولیتر آب دیونیزه استریل به رسوب DNA اضافه شد. به محلول فوق، یک میکرولیتر RNAs (۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) اضافه شد و ۱۵ دقیقه در دمای ۲۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. میکروتیوب‌ها یک شب در یخچال نگهداری شدند تا DNA به‌طور کامل در آب حل شود. سپس، محلول به‌دست‌آمده در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شد (Zamani, 2014; Aghajani *et al*., 2017).

واکنش زنجیره پلی‌مراز (PCR)

مواد مورد استفاده و تکثیر DNA در حجمی معادل ۲۵ میکرولیتر از مخلوط واکنش PCR (PCR master mix)،

شامل ۱۸ میکرولیتر آب دیونیزه، دو میکرولیتر بافر PCR ۱۰ غلظتی، ۰/۶ میکرولیتر محلول حاوی ۵۰ میلی‌مول $MgCl_2$، ۰/۴ میکرولیتر از محلول ۱۰ میلی‌مول dNTPs حاوی ۲/۵ میلی‌مول از هر یک از dNTP، ۰/۵ میکرولیتر محلول حاوی پنج واحد آنزیم Smart Taq DNA polymerase، یک میکرولیتر از محلول حاوی ۱۰ پیکومول از آغازگر ITS1F، یک میکرولیتر از محلول حاوی ۱۰ پیکومول از آغازگر ITS4B یا ITS4 و ۱/۵ میکرولیتر محلول حاوی DNA قالب انجام شد (White *et al.*, 1990; Gardes & Bruns, 1993). همه مواد به‌کار رفته در مخلوط PCR از شرکت سیناژن تهیه شدند.

برنامه حرارتی برای واکنش PCR به‌صورت مرحله واسرشتگی مقدماتی (Initial denaturation) پنج دقیقه در ۹۵ درجه سلسیوس (یک چرخه)، مرحله واسرشتگی (Denaturation) ۳۰ ثانیه در ۹۴ درجه سلسیوس، مرحله اتصال (Annealing) ۳۰ ثانیه در ۵۵ درجه سلسیوس، مرحله گسترش (Extension) یک دقیقه در ۷۲ درجه سلسیوس (۳۵ چرخه) و مرحله گسترش نهایی (Final extension) ده دقیقه در ۷۲ درجه سلسیوس بود (Gardes & Bruns, 1993). پس از تکثیر، برای مشاهده محصول PCR و ردیابی قطعه DNA ریبوزومی تکثیرشده، الکتروفورز با ژل آگارز ۱/۵ درصد انجام شد. باندهای شارپ و مشخص بر روی ژل برای تعیین توالی به شرکت تکاپوزیست ارسال شدند. نتایج توالی‌ها (Sequences) در ناحیه ITS در ژن بانک (Gen bank) (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/) ارزیابی شد. توالی‌های به‌دست‌آمده بررسی شد و با نرم‌افزار BioEdit نسخه 7.1.9 (http://www.mbio.ncsu.edu/bioedit/bioedit.html) اصلاح شدند. سپس، با استفاده از برنامه جستجوی بلاست با توالی‌های ذخیره‌شده در بانک داده‌های ژنی مقایسه شدند. اسامی گونه‌ای به جدایه‌هایی داده شد که شباهت توالی بیشتر یا مساوی ۹۷ درصد داشتند و برای اسامی جنس، شباهت‌های ۹۰ تا ۹۷ درصد درنظر گرفته شد و آن‌هایی که شباهت کمتر از ۹۰ درصد داشتند، در حد خانواده نامیده شدند (Huang *et al.*, 2014). توالی‌های به‌دست‌آمده در این مطالعه در بانک داده‌های ژنی ثبت و شماره دست‌یابی آن‌ها مشخص شد (Aghajani *et al.*, 2017).

نمونه‌های خاک نیز پس از انتقال به آزمایشگاه، به‌مدت دو هفته در هوای آزاد خشک شده و از الک‌های دو میلی‌متری عبور داده شدند. اسیدیته خاک به‌وسیله دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی پس از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه EC متر، نیتروژن کل به‌روش کجلدال با کمک دستگاه Kjeltect Distribution Unit، کربن آلی به‌روش تیتراسیون با تغییر رنگ ارتوفنانترولین (والکی- بلاک)، پتاسیم با روش نشر شعله و با دستگاه فلیم‌فتومتر و فسفر قابل جذب خاک به‌روش اولسن اندازه‌گیری شدند (Jafari Haghigh, 2003).

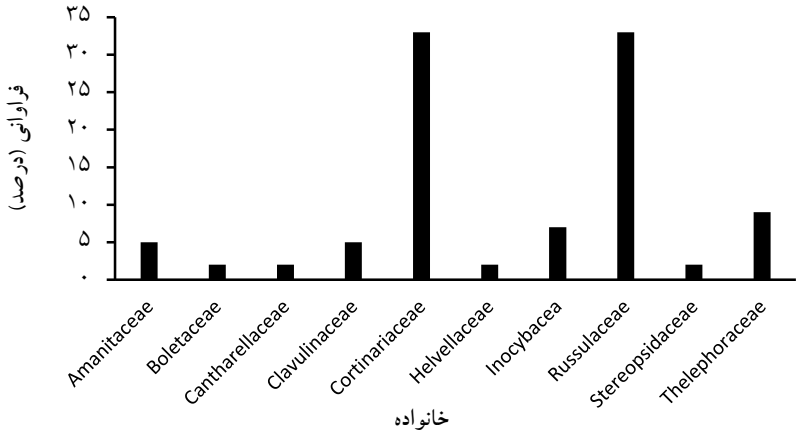
تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- سمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لیون بررسی شد. برای تعیین معنی‌داری اختلاف مشخصه‌های شیمی خاک در طبقه‌های ارتفاعی مختلف از تجزیه واریانس (ANOVA) و آزمون مقایسه میانگین دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج پژوهش نشان داد که ۴۵ آرایه قارچ اکتومیکوریز با راش همزیست بودند. ۱۳ جنس همزیست با این درختان شامل *Cortinarius*، *Russula*، *Lactarius*، *Inocybe*، *Hebeloma*، *Amanita*، *Boletus*، *Tomentella*، *lavulina*، *Clavulicium*، *Thelephora*، *Cantharellus* و *Helvella* در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند. در بین جنس‌های مذکور، *Cortinarius*، *Russula* و *Lactarius* غالب بودند. همچنین، ۱۰ خانواده مختلف شناسایی شدند که بیشترین همزیستی مربوط به Russulaceae و Cortinariaceae بود. پس از آن‌ها، Thelephoraceae، Inocybacea و Amanitaceae فراوانی بیشتری داشتند. کمترین پراکنش نیز مربوط به Cantharellaceae، Boletaceae، Helvellaceae

و Stereopsidaceae بود (شکل ۲).



شکل ۲- فراوانی خانواده قارچ‌های اکتومیکوریز همزیست با راش

پس از بررسی عوامل ادافیک در طبقه‌های ارتفاعی مختلف مشخص شد که در طبقه ارتفاعی اول (۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰ متر)، اسیدیته، هدایت الکتریکی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کربن بیشتر از طبقه‌های ارتفاعی دوم (۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ متر) و سوم (۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متر) بود. همچنین، نتایج تجزیه واریانس و مقایسه‌های میانگین متغیرهای خاکی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که مقدار فسفر، پتاسیم و اسیدیته خاک بین طبقه‌های ارتفاعی مختلف، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۱).

نتایج آرایه‌های قارچ‌های اکتومیکوریز در هر طبقه ارتفاعی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های (± اشتباه معیار) متغیرهای خاک

متغیر	ارتفاع از سطح دریا (متر)			F	معنی‌داری
	۱۸۰۰-۲۱۰۰	۱۵۰۰-۱۸۰۰	۱۲۰۰-۱۵۰۰		
نیتروژن (درصد)	۰/۳۱ ± ۰/۰۳۹	۰/۲۶ ± ۰/۰۲۵	۰/۲۷ ± ۰/۰۲۸	۰/۷۱۳	ns
فسفر (ppm)	۳۵/۴۷ ± ۴/۶۷^{a}	۲۴/۲۱ ± ۲/۷^{b}	۲۰/۱۹ ± ۲/۵۸^{b}	۵/۱	**
پتاسیم (ppm)	۴۵۰/۱۲ ± ۵۹/۷۷^{a}	۳۶۸/۳ ± ۳۷/۵۷^{ab}	۲۹۶/۵ ± ۱۹/۷^{b}	۳/۳	**
کربن (درصد)	۷/۰۴ ± ۰/۵۳	۶/۴۲ ± ۰/۴۴	۶/۲۵ ± ۰/۵۶	۰/۶۴	ns
اسیدیته (pH)	۵/۹۲ ± ۰/۰۸^{a}	۵/۴۴ ± ۰/۰۸۶^{b}	۵/۵۸ ± ۰/۱۳^{b}	۵/۸۵	**
هدایت الکتریکی (EC)	۲/۱۲ ± ۰/۳۴	۱/۹۶ ± ۰/۲۵	۱/۶۲ ± ۰/۱۶	۰/۹۳	ns

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار. حروف متفاوت لاتین در هر سطر بیانگر اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

جدول ۲- نتایج آرایه‌های قارچ‌های اکتومیکوریز در سه طبقه ارتفاعی مورد مطالعه

طبقه ارتفاعی (متر)	آرایه	خانواده
۱۸۰۰-۲۱۰۰	*Russula chloroides*	Russulaceae
	Cortinarius trivialis	Cortinariaceae
	Cortinarius sp.	Cortinariaceae
	Russula delica	Russulaceae
	Russula sp.	Russulaceae
	Cortinarius sp.	Cortinariaceae
	Cortinarius sp.	Cortinariaceae
	Russula delica	Russulaceae
	Russula brevipes	Russulaceae
	Russula faginea	Russulaceae
	Cortinarius sp.	Cortinariaceae
	Russula chloroides	Russulaceae
	Russula integriformis	Russulaceae
	Cortinarius sp.	Cortinariaceae
	Cortinarius rigens	Cortinariaceae
۱۵۰۰-۱۸۰۰	*Cortinarius alpinus*	Cortinariaceae
	Cortinarius collinitus	Cortinariaceae
	Russula sp.	Russulaceae
	Cortinarius sp.	Cortinariaceae
	Cortinarius sp.	Cortinariaceae
	Cortinarius sp.	Cortinariaceae
	Inocybe adaequata	Inocybacea
	Lactarius hepaticus	Russulaceae
	Lactarius chrysorrheus	Russulaceae
	Lactarius subdulcis	Russulaceae
	Lactarius sp.	Russulaceae
	Cortinarius sp.	Cortinariaceae
	Inocybe sp.	Inocybacea
	Cortinarius alboaggregatus	Cortinariaceae
	Hebeloma bulbiferum	Cortinariaceae
۱۲۰۰-۱۵۰۰	*Helvella* sp.	Helvellaceae
	Cantharellus sp.	Cantharellaceae
	Thelephora sp.	Thelephoraceae
	Tomentella sp.	Thelephoraceae
	Clavulina sp.	Clavulinaceae
	Clavulicium sp.	Stereopsidaceae
	Clavulina sp.	Clavulinaceae
	Amanita sp.	Amanitaceae
	Boletus sp.	Boletaceae
	Amanita sp.	Amanitaceae
	Tomentella sp.	Thelephoraceae
	Tomentella sp.	Thelephoraceae
	Russula sp.	Russulaceae
	Lactarius sp.	Russulaceae
	Inocybe sp.	Inocybacea

بحث

نقش قارچ‌های اکتومیکوریز در سلامت بوم‌سازگان جنگل، اهمیت زیادی دارد. همچنین، ویژگی‌های شیمیایی خاک در تغذیه معدنی گیاهان نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که اسیدیته خاک در طبقه ارتفاعی اول (۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰ متر) بیشتر از طبقه‌های دوم (۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ متر) و سوم (۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ متر) بود. این موضوع با ویژگی‌های طبقه ارتفاعی اول که بیشتر شامل توده‌های خالص بودند و عمق لاشبرگ آن بیشتر از طبقه‌های ارتفاعی دوم و سوم بود، مرتبط است. البته، مقدار pH خاک بین ۴/۷۳ تا ۶/۳۴ بود، بنابراین همه قارچ‌ها در خاک‌های اسیدی و با اسیدیته کمتر از ۶/۳۴ حضور داشتند. غنای گونه‌های متعلق به Russulaceae، Cortinariaceae و Thelephoraceae به‌ترتیب در طبقه‌های ارتفاعی اول، دوم و سوم بیشتر بود. در پژوهش‌های مشابه، غنای زیاد قارچ‌های Russulaceae و Cortinariaceae در خاک‌های اسیدی گزارش شد (Horton *et al.*, 2013). در واقع، کم بودن اسیدیته خاک در رویشگاه راش به‌واسطه تجزیه کند لاشبرگ و به دنبال آن، تولید اسید آلی و تأخیر در بازگشت کاتیون‌های بازی به خاک، قابل توجیه است (Hagen-Thorn *et al.*, 2004).

مقدار نیتروژن کل خاک در سه طبقه ارتفاعی مورد مطالعه روند مشابهی داشت. اگرچه مقدار این متغیر در طبقه ارتفاعی اول بیشتر از طبقه‌های دوم و سوم بود، اما اختلاف میان طبقه‌ها معنی‌دار نبود. همان‌طور که ذکر شد، در طبقه اول، Russulaceae غنای بیشتری داشت. بیشتر بودن نیتروژن در طبقه ارتفاعی اول نسبت به دو طبقه ارتفاعی دیگر را می‌توان به مقدار مواد آلی غنی از ازت که به‌واسطه لاشریزی به خاک این رویشگاه اضافه می‌شود، مربوط دانست. بنابراین، نیتروژن تأثیر فراوانی در غنا و تنوع زیستی قارچ‌های اکتومیکوریز جنگل دارد (Horton *et al.*, 2013). مقدار فسفر قابل جذب در طبقه ارتفاعی اول به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو طبقه دیگر مشاهده شد. با توجه به این‌که عمق نمونه‌برداری در این پژوهش ۱۰ سانتی‌متر بود، فسفر در لایه‌های سطحی بیشتر از لایه‌های عمقی حضور داشت، بنابراین می‌توان گفت که در خاک‌های غنی از مواد آلی، قسمت اعظم فسفر قابل جذب در افق‌های سطحی وجود دارد (Zarrinkafsh, 2001). این عنصر تأثیر زیادی در غنا و تنوع زیستی قارچ‌های اکتومیکوریز جنگل دارد (Horton *et al.*, 2013). فسفر در خاک به دو صورت آلی و معدنی موجود است. در راستای نتایج پژوهش پیش‌رو، Zarrinkafsh (۱۹۹۸) ذکر کرد که در خاک‌های غنی از مواد آلی، قسمت اعظم فسفر قابل جذب به‌صورت فسفر آلی و در خاک‌های جنگلی بیشترین فسفر قابل جذب در افق‌های سطحی قرار دارد. از دلایل دیگر زیادتر بودن فسفر در لایه‌های بالایی خاک، فعالیت کند و سطحی فسفر است (Zarrinkafsh, 2001). همچنین، همزیستی درختان با اکتومیکوریزها باعث می‌شود که قارچ‌های اکتومیکوریز با افزایش پتاسیم و فسفر قابل جذب برای میزبان، مقدار متابولیسم و رویش آن‌ها را افزایش دهند و در نتیجه باعث زیاد بودن این عناصر در درختان همزیست شوند (Martin *et al.*, 1997).

پتاسیم در کنار دو عنصر نیتروژن و فسفر، عناصر اصلی مورد نیاز گیاهان را تشکیل می‌دهند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار پتاسیم قابل جذب در طبقه ارتفاعی اول بیشتر از طبقه‌های دوم و سوم بود. زیاد بودن پتاسیم در طبقه ارتفاعی اول ممکن است به‌دلیل شیوه مدیریت جنگل (شدت بهره‌برداری کمتر) باشد که باعث افزایش سرعت بازگشت برخی از عناصر ازجمله پتاسیم به خاک می‌شود (Kazemi, 2014). یافته‌های دیگر نشان داد که کربن و ماده آلی خاک در طبقه ارتفاعی اول بیشتر از طبقه‌های دوم و سوم بود، اما این اختلاف معنی‌دار نبود.

مواد آلی، معرف مهمی از کیفیت خاک هستند که با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین کنترل فعالیت‌های میکروبی، نقش کلیدی در حاصل‌خیزی خاک ایفا می‌کنند (Solomon *et al.*, 2002). این مشخصه اثرات

زیادی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد. اگرچه نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار درصد کربن آلی خاک بود، اما بیشتر بودن مقدار عددی کربن در طبقه ارتفاعی اول در لایه‌های سطحی خاک جنگل‌های راش و ممرز را می‌توان به افزوده شدن سالانه لاشبرگ درختان راش و تجزیه ضعیف مواد آلی (Engler & Patrick, 1975) به‌واسطه کمتر بودن متوسط درجه حرارت در ارتفاع بالاتر مرتبط دانست. در پژوهش پیش‌رو، کربن آلی در طبقه‌های دوم و سوم ارتفاعی کمتر بود. دلیل آنرا می‌توان عواملی مانند آمیختگی جنگل و ترکیب لاشبرگ گونه‌های توسکا و ممرز در این طبقه‌ها بیان کرد، زیرا آمیختگی این گونه‌ها باعث افزایش سرعت تجزیه لاشبرگ می‌شود (Marvie-Mohadjer, 2011). در واقع، رویشگاه‌های خالص از نظر مواد آلی نسبت به رویشگاه‌های آمیخته غنی‌تر هستند (Ahmadi Delesam *et al.*, 2000; Kianmehr, 2013). لاشبرگ‌ها در توده‌های خالص راش و ارتفاعات بالاتر نسبت به ممرز و گونه‌های دیگر، سنگین‌تر هستند. در نتیجه، تحرک و جابه‌جایی کمتری دارند و بر اثر لاشریزی در پای درختان راش، لاشبرگ بیشتری وجود دارد. بنابراین، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ازجمله ماده آلی، تأثیر مهمی بر ساختار جوامع قارچ‌های اکتومیکوریز دارند (Craig *et al.*, 2016).

مقدار هدایت الکتریکی خاک در طبقه ارتفاعی سوم به‌طور معنی‌داری کمتر از دو طبقه دیگر بود. هدایت الکتریکی از مهم‌ترین شاخص‌های مشخص‌کننده مقدار املاح خاک است. هر چه املاح خاک بیشتر باشد، هدایت الکتریکی نیز بیشتر است. کم بودن مقدار هدایت الکتریکی در در پژوهش پیش‌رو را می‌توان تا حد بسیار زیادی به‌دلیل سنگ مادر، خاک با زهکشی خوب و تاحدی بارندگی زیاد در منطقه دانست.

گیاه میزبان، فراوانی گونه گیاهی، درجه حرارت، بارندگی و عامل‌های ادافیکی به‌ویژه رطوبت خاک، pH و نسبت کربن به نیتروژن در شکل‌گیری جوامع قارچ‌های اکتومیکوریز در مناطق معتدل تأثیرگذار هستند (Jarvis *et al.*, 2015; Miyamoto *et al.*, 2015; Rincón *et al.*, 2015). نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که پس از Cortinariaceae، خانواده Russulaceae بیشترین پراکنش را داشت. در سیستم مدیریت جنگل‌های ناهمسال، برای افزایش غنای گونه‌ای اکتومیکوریز می‌توان با ایجاد توده آمیخته و نگه داشتن موجودی درختان سرپا و در حال رشد اقدام کرد (Pena *et al.*, 2017). جنس‌های قارچی غالب در جنگل‌های معتدله با خاک‌های سطحی شامل *Russula*، *Lactarius*، *Tomentella* و *Xerocomus* هستند (Pena *et al.*, 2017). نظر به اینکه مدیریت جنگل می‌تواند موجب تغییر در ویژگی‌های خاک و پیرو آن تنوع قارچ‌های اکتومیکوریز شود، بنابراین انتخاب شیوه‌های مناسب جنگل‌شناسی متناسب با شرایط رویشگاهی، تضمین‌کننده غنای گونه‌ای اکتومیکوریزی و پویایی و سلامت بوم‌سازگان جنگل است.

References

- Agerer, R., 1987-2012. Colour atlas of ectomycorrhizae. Einhorn-Verlag, Schwäbisch Gmünd, Germany.
- Aghajani, H., Hojjati, S.M., Tajick-Ghanbari, M.A., Pourmajidian, M.R. and Borhani, A., 2017. Molecular identification of ectomycorrhizal fungal communities associated with oriental beech trees (*Fagus orientalis* Lipsky) in Hyrcanian forest of Iran. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science, 42: 1-8.
- Ahmadi Delesam, T., Zarin Kafsh, M. and Sardabi, H., 2000. An investigation on the relationship between soil physical and chemical properties and its mineral nutrition in yew (*Taxus baccata*), Waz forest research (west Mazandaran state). Pajouhesh & Sazandegi, 13(2): 69-75 (In Persian).
- Alikhani, H.A. and Ghorchiani, M., 2012. Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry (translation). Jahad-e Daneshgahi, Tehran, 373p (In Persian).
- Anonymous, 2010. Forest Management Plan of District Felord. Administration of Natural Resources and Watershed Management at Mazandaran province, Sari, 210p (In Persian).
- Bakker, M.R., Garbaye, J. and Nys, C., 2000. Effect of liming on the ectomycorrhizal status of oak. Forest

and soil properties in beech-hornbeam type (Case study: Khalilshahr forestry plan, district no. 1, parcels no. 10 and 12, Abbas Abad, Mazandaran province). M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Sari, 81p (In Persian).
- Kianmehr, A., 2013. Investigation on stand growth characteristics, biodiversity and soil properties in natural pure and mixed beech and hornbeam forests (Case study: first district, Neka-Zalemrod forestry plan). M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Sari, 113p (In Persian).
- Martin, F., Lapeyrie, F. and Tagu, D., 1997. Altered gene expression during ectomycorrhizal development: 223-242. In: Carroll, G.C. and Tudzynski, P. (Eds.). Plant Relationships, Part A. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 253p.
- Marvie-Mohadjer, M.R., 2011. Silviculture. University of Tehran Press, Tehran, 418p (In Persian).
- Miyamoto, Y., Sakai, A., Hattori, M. and Nara, K., 2015. Strong effect of climate on ectomycorrhizal fungal composition: evidence from range overlap between two mountains. The ISME Journal, 9: 1870-1879.
- Mostajeran, A. and Zoei, F., 2006. Mutualism: Mycorrhiza. University of Esfahan, Esfahan, 226p (In Persian).
- Newbound, M., Mccarthy, M.A. and Lebel, T., 2010. Fungi and the urban environment: A review. Landscape and Urban Planning, 96(3): 138-145.
- Rincón, A., Santamaría-Pérez, B., Rabasa, S.G., Coince, A., Marçais, B. and Buée, M., 2015. Compartmentalized and contrasted response of ectomycorrhizal and soil fungal communities of Scots pine forests along elevation gradients in France and Spain. Environmental Microbiology, 17(8): 3009-3024.
- Siddiqui, Z.A. and Pichtel, J., 2008. Mycorrhizae: an overview: 1-35. In: Siddiqui, Z.A., Akhtar, M.S. and Futai, K. (Eds.). Mycorrhizae*:* Sustainable Agriculture and Forestry. Springer, Netherlands, 359p.
- Smith, S.E. and Read, D.J., 2008. Mycorrhizal Symbiosis, Third Edition. Academic Press, New York, 803p.
- Solomon, D., Fritzsche, F., Lehmann, J., Tekalign, M. and Zech, W., 2002. Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian highlands: Evidence from natural 13C abundance and particle-size fractionation. Soil Science Society of America Journal, 66(3): 969-978.
- Steiner, M., Linkov, I. and Yoshida, S., 2002. The role Ecology and Management, 126(2): 121-131.
- Bruns, T.D., 1995. Thoughts on the processes that maintain local species diversity of ectomycorrhizal fungi. Plant and Soil, 170(1): 63-73.
- Craig, A.J., Woods, S. and Hoeksema, J.D., 2016. Influences of host plant identity and disturbance on spatial structure and community composition of ectomycorrhizal fungi in a northern Mississippi uplands ecosystem. Fungal Ecology, 24: 7-14.
- Engler, R.M. and Patrick, W.H. Jr., 1975. Stability of sulfides of manganese, iron, zinc, copper, and mercury in flooded and nonflooded soil. Soil Science, 119(3): 217-221.
- Fisher, M.A. and Fulé, P.Z., 2004. Changes in forest vegetation and arbuscular mycorrhizae along a steep elevation gradient in Arizona. Forest Ecology and Management, 200(1-3): 293-311.
- Gardes, M. and Bruns, T.D., 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes-application to the identification of mycorrhizae and rusts. Molecular Ecology, 2(2): 113-118.
- Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K. and Nihlgård, B., 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. Forest Ecology and Management, 195(3): 373-384.
- Horton, B.M., Glen, M., Davidson, N.J., Ratkowsky, D., Close, D.C., Wardlaw, T.J. and Mohammed, C., 2013. Temperate eucalypt forest decline is linked to altered ectomycorrhizal communities mediated by soil chemistry. Forest Ecology and Management, 302: 329-337.
- Huang, J., Nara, K., Zong, K., Wang, J., Xue, S., Peng, K., Sheng, Z. and Lian, C., 2014. Ectomycorrhizal fungal communities associated with Masson pine (*Pinus massoniana*) and white oak (*Quercus fabri*) in a manganese mining region in Hunan province, China. Fungal Ecology, 9: 1-10.
- Ishida, T.A., Nara, K. and Hogetsu, T., 2007. Host effects on ectomycorrhizal fungal communities: insight from eight host species in mixed conifer-broadleaf forests. New Phytologist, 174(2): 430-440.
- Jafari Haghighi, M., 2003. Methods of Soil Analysis: Sampling and Important Physical & Chemical Analysis with Emphasis on Theoretical & Applied Principles. Nedaye Zoha, Sari, 240p (In Persian).
- Jarvis, S.G., Woodward, S. and Taylor, A.F.S., 2015. Strong altitudinal partitioning in the distributions of ectomycorrhizal fungi along a short (300 m) elevation gradient. New Phytologist, 206(3): 1145-1155.
- Kazemi, Sh., 2014. The role of forest management on structure characteristics, understory plant diversity

of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems. Journal of Environmental Radioactivity, 58(2-3): 217-241.
- Suz, L.M., Barsoum, N., Benham, S., Dietrich, H.P., Fetzer, K.D., Fischer, R., García, P., Gehrman, J., Kristöfel, F., Manninger, M., Neagu S., Nicolas. M., Oldenburger, J., Raspe, S., Sánchez, G., Schröck, H.W., Schubert, A., Verheyen, K., Verstraeten, A. and Bidartondo, M.T., 2014. Environmental drivers of ectomycorrhizal communities in Europe's temperate oak forests. Molecular Ecology, 23(22): 5628-5644.
- Wang, X., Liu, J., Long, D., Han, Q. and Huang, J., 2017. The ectomycorrhizal fungal communities associated with *Quercus liaotungensis* in different habitats across northern China. Mycorrhiza, 27(5): 441-449.
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S. and Taylor, J., 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics: 315-322. In: Innis, M.A., Gelfand, D.H., Sninsky, J.J. and White. T.J. (Eds.). PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications. Academic Press, London, 482p.
- Zamani, S.M., 2014. Identification of ectomycorrhizal fungi associated with oak trees in some forests of Iran and investigation of metabolic and transcriptional profiles in *Quercus castaneifolia* ectmycorrhizal roots. Ph.D. thesis, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, 228p (In Persian).
- Zarrinkafsh, M., 1998. Fundamentals of Soil Sciences in Relation to Plant and Environment. Islamic Azad University Press, Tehran, 808p (In Persian).
- Zarrinkafsh, M., 2001. Forestry Soil: Interaction of Soil and Plants Regarding Ecological Factors Ecosystems. Published by Research Institute of Forest and Rangelands, Tehran, 376p (In Persian).

The relationship between ectomycorrhizal fungi and some soil chemical properties in beech stands of Farim, Mazandaran province

H. Aghajani [1], S.M. Hodjati [2*], M.A. Tajick-Ghanbari [3], M.R. Puormajidian [4] and A. Borhani [5]

1- Ph.D. of Silviculture and Forest Ecology, Department of Forestry, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: s_m_hodjati@yahoo.com
3- Associate Prof., Department of Plant Protection, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Associate Prof., Department of Forestry, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
5- Assistant Prof., Pasand Forest and Rangeland Research Station, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Mazandaran, AREEO, Behshahr, Iran

Received: 25.02.2018 Accepted: 15.07.2018

Abstract

According to the positive role and symbiosis of ectomycorrhizal fungi for absorbing water and nutrition and transferring to trees, identification of them are of great importance. The aim of this study was to investigate the relationship between recognized ectomycorrhizal fungi and some soil chemical properties in the Flourd series of Farim forests, Mazandaran province. Forty five beech trees were measured in three elevation classes (1200-1500, 1500-1800, and 1800-2100m a.s.l.) and samples were taken from the root tips at a depth of 10 cm. ITS nrDNA was replicated and sequenced using ITS1F and ITS4B or ITS4 primer pairs, then was corrected by BioEdit software and studied in NCBI. After specified the desired tree for sampling root tips, a sample was taken next to the same tree at a depth of 10 cm to examine of soil chemical properties. The results of this study showed that 10 different families were identified that the most symbiosis was in the Russulaceae and Cortinariaceae families. The results showed that edaphic factors such as soil pH, N, P, K, and C in the first elevation were higher than two other elevations. Moreover, the results of statistical analysis showed that P, K, and pH had a significant difference. Our results suggested that forest site conditions and tree diversity can influence on soil properties and the richness of ectomycorrhizal fungi and consequently on forest ecosystem dynamic.

Keywords: Forest health, Hyrcanian forests, phosphor, plant ecology, potassium, soil pH.