Research Article

Iranian Journal of Forest and Range Protection Research DOI: 10.22092/IJFRPR.2025.366032.1629

Vol. 23, No. 1, Page 49-69 (2025)

Survey of ectomycorrhizal fungi associated with oak trees in the forests of Lorestan province, Iran

Karam Sepahvand[1*] and Seyedeh Masoomeh Zamani[2]

1*-Corresponding Author, Researcher., Forests and Rangelands Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran,
E-mail: karamsepahvand@gmail.com
2- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 24.09.2024 Revised: 29.03.2025 Accepted: 16.04.2025

Abstract

Background and Objectives: Ectomycorrhizal symbiosis is established between groups of Basidiomycete and Ascomycete fungi and several forest tree species in temperate, Mediterranean, and semi-warm regions, playing an important role in the establishment, performance, and development of trees in these areas. This type of symbiosis is fundamental in improving plant health by protecting against biotic and abiotic stresses and by improving soil structure. Ectomycorrhizal fungi play a key role in the growth and nutrient uptake of oak trees. Studies have shown that oak seedlings benefit from ectomycorrhizal symbionts, and their nutrient absorption, especially in nutrient-poor soils, increases. These fungi form a network with plants and help oak seedlings overcome nutrient limitations in unfavorable environments. The presence of a diverse and abundant ectomycorrhizal community is essential for the restoration and sustainability of oak forests and highlights the complex relationship between these fungi and oak trees. The aim of this study was to identify the existing morphotypes in the oak forests of Lorestan province and to statistically evaluate the populations of these ectomycorrhizal fungi.

Methodology: To investigate the ectomycorrhizal fungi associated with oak trees in the forests of Lorestan province, six natural oak habitats (Shorab, Pol Keshkan, Grit, Kashraf, Chenar Bagali, and Nozhian) were selected. After recording the geographic information of each site, 15 trees were randomly selected in each habitat. Soil samples along with root fragments were collected from the rhizosphere (0–30 cm depth) of each oak tree and transferred to the laboratory. The percentage of dead roots, non-mycorrhizal roots, mycorrhizal roots, as well as the number of morphotypes and fungal taxa were determined, and the data were statistically analyzed using SPSS software.

Results: In the studied sites, the percentage of ectomycorrhizal roots ranged from 10% to 56%, and the identified morphotypes mainly belonged to the two genera *Cenococcum* and *Hygrophorus*. Statistical analysis showed that the differences in the percentage of dead roots, non-mycorrhizal roots, mycorrhizal roots, and the type and number of symbiotic fungal taxa among the studied sites were highly significant ($P< 0.01$), but the differences in the number of morphotypes were not significant ($P> 0.05$). A significant negative correlation was found between the number of taxa and the percentage of dead roots ($r= -0.33$), and between the percentage of mycorrhizal roots and dead roots ($r= -0.37$) ($P< 0.05$). There was also a strong negative correlation between the percentage of non-mycorrhizal roots and the number of taxa ($r= -0.64$, $P< 0.01$), and a significant negative correlation between the percentage of non-

mycorrhizal roots and the number of morphotypes ($r= -0.44$, $P< 0.05$). Among the studied sites, the average number of isolates per tree in the Kashraf area was in the superior group (Group A), while the Chenar Bagali area was ranked in the lower group (Group C) ($P< 0.05$). Similarly, the average number of morphotypes per tree in the Kashraf area was in the superior group (Group A), while the Chenar Bagali and Nozhian areas were classified in the lower group (Group C) ($P< 0.05$).

Conclusion: The morphotypes identified across different sites were partly similar, but the percentage of mycorrhizal roots varied among the studied areas. Overall, the average number of isolates ranged from 1.47 to 18.20 per ten 10-cm root segments, and the average number of morphotypes per site ranged from 0.94 to 1.60. The differences in the number of isolates per root in different areas may be due to environmental conditions such as temperature, humidity, soil type, and light, which have a great influence on the growth and establishment of these microorganisms. In addition, the type and diversity of oak trees may be associated with different levels of fungal abundance, which can affect ectomycorrhizal populations. Soil nutrients, especially nitrogen and phosphorus, can also influence ectomycorrhizal fungal populations. Moreover, human activities and changes in oak habitats affect their ecosystems and modify ectomycorrhizal populations. Competition among soil microorganisms, including the presence of different fungal and bacterial species, may also contribute to these variations and affect ectomycorrhizal populations. Since no prior study has been conducted on the identification and diversity of ectomycorrhizal populations in the Zagros oak forests, this study can provide part of the basic information in this field.

Keywords: Symbiotic fungi, ectomycorrhiza, oak, forest, Lorestan

پایش همزیستی اکتومیکوریزی ریشه درختان بلوط در جنگل‌های استان لرستان

کرم سپه‌وند[۱*] و سیده معصومه زمانی[۲]

۱*- نویسنده مسئول، محقق، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران، پست‌الکترونیک: karamsepahvand@gmail.com

۲- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: همزیستی اکتومیکوریزی بین گروهی از قارچ‌های بازیدیومیست و آسکومیست با گونه‌هایی از درختان جنگلی در مناطق معتدله، مدیترانه‌ای و نیمه‌گرمسیری تشکیل می‌شود و نقش مهمی در استقرار، عملکرد و تکامل درختان در این مناطق دارد. این نوع همزیستی نقش اساسی در بهبود سلامت گیاه با محافظت از آن در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده و بهبود ساختار خاک ایفا می‌کند. قارچ‌های اکتومیکوریزا نقش مهمی در رشد و جذب مواد مغذی در درختان بلوط دارند. تحقیقات نشان داده است، نهال‌های بلوط از قارچ‌های اکتومیکوریزای همزیست بهره می‌برند و جذب مواد غذایی توسط ریشه‌های آنها، به‌ویژه در خاک‌های فقیر، افزایش می‌یابد. این قارچ‌ها شبکه‌ای را با گیاهان تشکیل می‌دهند و به نهال‌های بلوط در غلبه بر محدودیت‌های مواد مغذی در مکان‌های نامساعد کمک می‌کنند. وجود یک جامعه اکتومیکوریزی متنوع و با جمعیت بالا برای بازسازی و پایداری جنگل‌های بلوط ضروری است و رابطه پیچیده بین این قارچ‌ها و درختان بلوط را برجسته می‌کند. هدف از انجام این تحقیق، شناسایی مورفوتایپ‌های موجود در جنگل‌های بلوط استان لرستان و بررسی آماری جمعیت این قارچ‌های اکتومیکوریزی بود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی قارچ‌های اکتومیکوریز همزیست با درختان بلوط در جنگل‌های استان لرستان، از رویشگاه‌های طبیعی درختان بلوط، تعداد ۶ سایت با نام‌های شوراب، پل کشکان، گریت، کاشرف، چناربگالی و نوژیان انتخاب شد. پس از ثبت اطلاعات جغرافیایی هر سایت، در هر رویشگاه تعداد ۱۵ درخت به‌صورت تصادفی انتخاب گردید و نمونه‌هایی از خاک به همراه ریشه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری ریزوسفر هر گیاه بلوط جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس درصد ریشه خشک، ریشه میکوریزی و غیرمیکوریزی، تعداد مورفوتایپ‌ها و آرایه‌ها مشخص شد و داده‌های موجود با نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری شدند.

نتایج و یافته‌ها: در ایستگاه‌های بررسی‌شده درصد ریشه‌های اکتومیکوریزی از ۱۰ تا ۵۶ درصد متغیر بود و مورفوتایپ‌های شناسایی‌شده بیشتر از دو جنس *Cenococcum* و *Hygrophorus* شناسایی شدند. نتایج حاصل از بررسی‌های آماری نشان داد، اختلاف درصد ریشه غیرزنده، ریشه غیرمیکوریزی، ریشه میکوریزی و نوع و تعداد آرایه‌های قارچی همزیست در ایستگاه‌های بررسی‌شده کاملاً معنی‌دار بود ($P<0.01$)، اما اختلاف بین تعداد مورفوتایپ‌ها در ایستگاه‌های بررسی‌شده معنی‌دار نشد ($P>0.05$). بین تعداد آرایه‌ها و درصد ریشه‌های خشک ($r = -0.33$) و بین درصد ریشه‌های میکوریزی و ریشه‌های خشک ($r = -0.37$) همبستگی منفی معنی‌دار مشاهده شد ($P<0.05$). بین درصد ریشه غیرمیکوریزی و تعداد آرایه‌ها ($r= -0.64$) همبستگی منفی کاملاً معنی‌دار ($P<0.01$) و بین درصد ریشه غیرمیکوریزی و تعداد مورفوتایپ همبستگی منفی معنی‌دار ($r = -0.44$) مشاهده گردید ($P<0.05$). از بین ایستگاه‌های بررسی‌شده میانگین تعداد جدایه در هر درخت در منطقه کاشرف در گروه برتر (گروه A) و در منطقه چنار بگالی در گروه پایین‌تر (گروه C) قرار گرفت ($P<0.05$). همچنین از بین ایستگاه‌های بررسی‌شده میانگین تعداد مورفوتایپ در هر درخت در منطقه کاشرف در گروه برتر (گروه A) و در منطقه چنار بگالی و نوژیان در گروه پایین‌تر (گروه C) قرار گرفت ($P<0.05$).

نتیجه‌گیری: مورفوتایپ‌های شناسایی‌شده در ایستگاه‌های مختلف تا حدی شبیه بودند، اما درصد ریشه‌های میکوریزی در

ایستگاه‌های مورد مطالعه متفاوت بود. درمجموع، میانگین تعداد جدایه‌ها از ۱/۴۷ تا ۱۸/۲۰ عدد در هر ۱۰ عدد ریشه ۱۰ سانتی‌متری شمارش شد و میانگین تعداد مورفوتایپ‌ها در این ریشه‌ها از ۰/۹۴ تا ۱/۶۰ در هر ایستگاه متغیر بود. اختلاف تعداد جدایه‌ها در هر ریشه در مناطق مختلف می‌تواند ناشی از شرایط محیطی مانند دما، رطوبت، نوع خاک و نور باشد که تأثیر زیادی بر رشد و استقرار این میکروارگانیسم‌ها دارد. همچنین، نوع و تنوع درختان بلوط ممکن است با میزان مختلفی از قارچ‌ها ارتباط داشته باشد که این موضوع می‌تواند بر جمعیت اکتومیکوریزها تأثیر بگذارد. تغذیه و مواد مغذی خاک، به‌ویژه نیتروژن و فسفر نیز می‌تواند بر جمعیت قارچ‌های اکتومیکوریز تأثیرگذار باشد. علاوه‌براین، فعالیت‌های انسانی و تغییرات حاصل‌شده در زیستگاه این درختان بر اکوسیستم‌های آنها تأثیر گذاشته و جمعیت اکتومیکوریزها را تغییر می‌دهد. رقابت بین میکروارگانیسم‌ها، شامل وجود گونه‌های مختلف قارچی و باکتریایی در خاک نیز می‌تواند در این اختلافات مؤثر باشد و بر جمعیت اکتومیکوریزها تأثیر بگذارد. با توجه به اینکه تاکنون هیچ تحقیقی در مورد شناسایی و تنوع جمعیت اکتومیکوریزها در جنگل‌های بلوط زاگرس انجام نشده است، این بررسی می‌تواند بخشی از اطلاعات پایه را در این زمینه ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: قارچ‌های همزیست، اکتومیکوریز، بلوط، جنگل، لرستان

مقدمه

میکوریزا ارتباط همزیستی بین یک گیاه سبز و یک قارچ است که در آن، گیاه با فتوسنتز، مولکول‌های آلی را مانند قندها می‌سازد و در اختیار قارچ قرار می‌دهد و قارچ، آب و مواد معدنی مانند فسفر را که از خاک گرفته می‌شود، به گیاه می‌رساند. میکوریزاها (یک جا میکوریز یا میکوریزا) در ریشه گیاهان آوندی قرار دارند، اما مجموعه‌های میکوریزامانند در بریوفیت‌ها نیز رخ می‌دهد (Kottke & Nebel, 2005). شواهد فسیلی وجود دارد که گیاهان اولیه زمینی که فاقد ریشه بودند، تشکیلات میکوریزی آربوسکولار را تشکیل می‌دادند (Remy *et al.*, 1994). بیشتر گونه‌های گیاهی شبکه‌های میکوریزی تشکیل می‌دهند، اگرچه برخی از تیره‌ها مانند *Brassicaceae* و *Chenopodiaceae* نمی‌توانند این نوع همزیستی را برقرار نمایند (Fortin *et al*,. 2015). گیاهان میکوریزی‌شده اغلب به عوامل بیماری‌زا مانند عوامل بیماری‌زای خاک‌زی میکروبی، مقاوم‌تر هستند که این خصوصیت به محافظت از گیاهان هم در اندام‌های هوایی و هم اندام‌های زیرزمینی کمک می‌کند. مشخص شده است که میکوریزها آنزیم‌هایی را ترشح می‌کنند که برای ارگانیسم‌های خاک‌زی مانند نماتدها سمی هستند (Azcón-Aguilar & Barea, 1997). میکوریزها همچنین به‌طور قابل‌توجهی با متغیرهای حاصلخیزی بیولوژیکی خاک مانند جوامع میکروبی خاک و ممانعت از بیماری مرتبط هستند (Svenningsen *et al.*, 2018). گیاهان دارای همزیستی میکوریزی در برابر اثرهای خشک‌سالی مقاومت بیشتری دارند (Nikolaou *et al.*, 2003; Lehto, 1992). بسیاری از گزارش‌ها بهبود رشد و عملکرد گیاهان میکوریزی را در شرایط تنش شوری نشان می‌دهند (Porcel *et al*,. 2012). همزیستی اکتومیکوریزی نوعی همزیستی است که بین گروهی از قارچ‌های موجود در خاک و ریشه گیاهان ایجاد می‌شود. قارچ‌های ایجادکننده این همزیستی، تبادل مواد مغذی حاصل‌شده از خاک را با کربوهیدرات‌های میزبان گیاهی انجام می‌دهند و نقش مؤثری در مقاومت در برابر تنش‌های غیرزنده یا زیستی گونه‌های میزبان دارند (Smith & Read, 2008). همچنین این قارچ‌ها یک رابطه همزیستی دوطرفه بین ریشه‌های گیاهان عالی در محیط خاک برقرار کرده که هر دو طرف از آن بهره می‌برند (Itoo & Reshi, 2013). اکتومیکوریزها (EcM)، پیوندهای همزیستی بین ریشه‌های حدود ۱۰ درصد از تیره‌های گیاهی، عمدتاً گیاهان چوبی ازجمله توس، دیپتروکارپ‌ها یا درختان دوپره، اکالیپتوس، بلوط، کاج، گل رز و ارکیده‌ها را برقرار می‌کنند (Wang & Qiu, 2006). این قارچ‌ها متعلق به قارچ‌های شاخه‌های *Basidiomycota*، *Ascomycota* و *Zygomycota* هستند.

هرچند در بعضی منابع گفته شده که قارچ‌های اکتومیکوریز عمدتاً به شاخه *Basidiomycota* و تعدادی نیز متعلق به شاخه *Ascomycota* می‌باشند (Nilsen & Orcutt, 1996). در گزارش‌های دیگر ذکرشده که تنها ۳ درصد از کل گیاهان، دارای همزیستی اکتومیکوریزی هستند (Dell, 2002) که عموماً روی درختان جنگلی راش، توس، بلوط و کاج یافت می‌شوند. این قارچ‌ها در بین سلول‌های ریشه تشکیل شبکه هارتینگ می‌دهند و در اطراف سلول‌های اپیدرمی و کورتکسی ریشه، نقش مؤثری برای جذب آب و عناصر غذایی دارند. اکتومیکوریزها باعث افزایش پتاسیم، آهن و فسفر قابل‌جذب برای گیاهان شده و میزان متابولیسم و رشد گیاه را افزایش داده و باعث افزایش میزان این عناصر در گیاه میکوریزی می‌شوند (Martin *et al.*, 1997). قارچ‌های اکتومیکوریز با فراهم کردن نیازهای غذایی گیاه میزبان در خاک‌های فقیر، یا تأمین آب موردنیاز گیاه میزبان در خاک‌های خشک، حیات گیاه میزبان خود را تضمین کرده و با حفاظت از ریشه گیاه میزبان در مقابل پوسیدگی‌های قارچ‌های بیمارگر خاک‌زی (حفاظت فیزیکی از طریق پوشش غلاف و حفاظت شیمیایی از طریق ترشح آنتی‌بیوتیک) آنها را از زوال و بیماری در امان نگه می‌دارند (Nilsen & Orcutt, 1996). قارچ‌های اکتومیکوریز به‌ویژه برای سلامتی و رشد درختان جنگلی لازم هستند. این قارچ‌ها به دلایل مختلف برای درختان جنگلی مفید هستند که مهمترین آن افزایش جذب عناصر غذایی از خاک به‌ویژه عناصر با تحرک کم در خاک (مانند فسفر) و عناصر کم‌مصرف است.

گونه‌های جنس بلوط یکی از میزبان‌های مهم قارچ‌های اکتومیکوریز هستند (Smith & Read, 2008) و در زاگرس و عرصه‌های منابع طبیعی استان لرستان به‌عنوان مهمترین گونه‌های درختان جنگلی، گیاهانی باارزش و مفید از جنبه‌های مختلف می‌باشند (Sagheb Talebi *et al*,. 2013)، اما در جنگل‌های زاگرس و ازجمله استان لرستان تاکنون بررسی جامعی روی همزیستی اکتومیکوریزایی بلوط‌ها، تنوع جمعیتی و شناسایی قارچ‌های همزیست انجام نشده است. هدف از انجام این پژوهش، پایش همزیستی اکتومیکوریزایی ریشه درختان بلوط در جنگل‌های بلوط استان لرستان و بررسی تنوع جمعیتی آنها در گونه‌های بلوط بوده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی همزیستی اکتومیکوریزایی همراه درختان بلوط در جنگل‌های بلوط استان لرستان، تعداد ۶ ایستگاه (هریک به مساحت حدود یک هکتار) انتخاب شد و بررسی‌های مربوطه در آنها انجام گردید.

نمونه‌برداری از قارچ‌های اکتومیکوریز همزیست با درختان بلوط

به‌منظور شناسایی قارچ‌های اکتومیکوریز همزیست با درختان بلوط در جنگل‌های استان لرستان و برآورد جمعیت آنها در سایت‌های شوراب، پل کشکان، گریت، کاشرف، چناربگالی و نوژیان رویشگاه‌های طبیعی بلوط موردبررسی قرار گرفت و اطلاعات جغرافیایی هر سایت ثبت شد. در هر رویشگاه تعداد ۱۵ عدد از این درختان به‌صورت تصادفی و با فواصل حداقل ۵۰ تا ۱۰۰ متر از یکدیگر، انتخاب و از قسمت سایه‌انداز درخت (فاصله حدود نیم تا یک متری از قاعده درخت)، نمونه‌هایی از خاک به همراه ریشه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری ریزوسفر هر گیاه بلوط جمع‌آوری و به‌منظور شناسایی قارچ‌های همزیست به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور ممانعت از خشک‌شدن، نمونه‌های خاک به همراه ریشه‌های گیاهان پس از جمع‌آوری بلافاصله درون کیسه‌های پلاستیکی به‌طور جداگانه بسته‌بندی گردیدند و پس از ثبت اطلاعات جغرافیایی برای هر نمونه و کدگذاری نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و درون یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. ریشه‌ها به همراه نمونه‌های خاک درون الک قرار گرفته و تحت جریان ملایم شیر آب قرار داده شدند تا درنهایت به‌طور کامل از خاک شسته شدند و پس از آن، ۱۰ قطعه ریشه به طول ده سانتی‌متر از هر نمونه گیاهی جداسازی و با استفاده از استریو میکروسکوپ بررسی شد و وضعیت قطعه ریشه

ازلحاظ دارابودن همزیستی اکتومیکوریزی فعال یا غیر فعال، یا قطعه ریشه غیرزنده یادداشت‌برداری گردید. سپس در هر نمونه گیاهی نوک ریشه‌های درگیر در همزیستی اکتومیکوریزی بررسی شدند. به‌این‌ترتیب که در هر نمونه گیاهی، تحت مشاهدات استریومیکروسکوپی نوک ریشه‌های اکتومیکوریزی که دارای خصوصیات مرفولوژیکی (مانند رنگ مانتل، خصوصیات سطح مانتل، نحوه انشعاب یافتگی و غیره) مشابهی بودند، به دسته‌های مشخص (مورفوتایپ) تقسیم شده و براساس منابع، مقالات و سایت‌های اینترنتی اختصاصی این گروه از قارچ‌ها (Agerer, 2020; Read, 1992; Davis *et al*., 2012; Metzler & Metzler, 1992; Smith, 1975; Bessette *et al*., 2007) شناسایی شدند. همچنین درصد ریشه خشک، ریشه غیر میکوریزی، ریشه میکوریزی و تعداد مورفوتایپ و آرایه مشخص شد و داده‌های موجود با نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری شدند.

نتایج

در ایستگاه‌های بررسی‌شده، درصد ریشه‌های میکوریزی از ۱۰ تا ۵۶ درصد متغیر بود و مورفوتایپ‌های شناسایی‌شده متعلق به دو جنس *Cenococcum* و *Hygrophorus* بودند. درمجموع میانگین تنوع تعداد جدایه‌ها از ۱/۴۷ تا ۱۸/۲۰ عدد و در ایستگاه‌های بررسی‌شده میانگین تعداد مورفوتایپ در هر ۱۰ عدد ریشه ۱۰ سانتی‌متری از ۰/۹۴ تا ۱/۶۰ شمارش شد (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل‌های ۱ تا ۱۵).

– نتایج تحلیل آماری اکتومیکوریزهای مکان‌های بررسی‌شده در جنگل‌های استان لرستان

جدول ۱– تحلیل آماری درصدهای ریشه خشک، ریشه غیر میکوریزایی، ریشه میکوریزایی و تعداد آرایه و جدایه‌های قارچ‌های اکتومیکوریز در مناطق بررسی‌شده

Table 1. Statistical analysis of the percentages of dry roots, non-mycorrhizal roots, mycorrhizal roots, and the number of isolates of ectomycorrhizal fungi in the studied sites

Sig.	df	F	Mean Square	Sum of Squares	Surveyed character
0.001	89	12.755	624.607	7187.608	Dry roots(٪)
0.001	89	7.886	1595.026	24761.798	Non-mycorrhizal roots (%)
0.001	89	21.113	3269.031	29196.751	Mycorrhizal roots (%)
0.054	89	2.279	0.708	29.335	Morphotype (Number)
0.001	89	30.587	495.938	3825.459	Isolate (Number)

جدول ۲– همبستگی بین درصدهای ریشه خشک، ریشه غیرمیکوریزایی، ریشه میکوریزایی و تعداد آرایه و جدایه‌های قارچ‌های اکتومیکوریز در مناطق بررسی‌شده

Table 2. Correlation between the percentages of dry roots, non-mycorrhizal roots, mycorrhizal roots, and the number of isolates of ectomycorrhizal fungi in the studied sites

	Isolate (Number)	Morphotype (number)	Mycorrhizal roots (%)	Non-mycorrhizal roots (%)	Dry roots (%)
Dry roots (%)	-0.336*	-0.018ns	-0.372**	-0.133 ns	-
Non-mycorrhizal roots (%)	-0.645**	-0.449*	-0.860**	-	-0.133 ns
Mycorrhizal roots (%)	0.777**	0.429*	-	-.860**	-0.372**
Morphotype (Number)	0.471*	-	0.429*	-0.449*	-0.018 ns
Isolate (Number)	-	0.471*	0.777**	-0.645**	-0.336*

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

نتایج آنالیز آماری نشان داد، اختلاف آماری بین درصد ریشه خشک، ریشه غیرمیکوریزی، ریشه میکوریزی و تعداد آرایه‌ها در مناطق بررسی‌شده کاملاً معنی‌دار بود ($p<0.01$) و مشخص شد که با اطمینان ۹۹ درصد بین این پارامترها در ایستگاه‌های بررسی‌شده در جنگل‌های بلوط استان لرستان تفاوت معنی‌دار وجود دارد ($p<0.01$) (جدول ۱)، اما اختلاف آماری بین تعداد مورفوتایپ معنی‌دار نشد ($p>0.05$) و مشخص شد که با اطمینان ۹۵ درصد بین پارامتر تعداد مورفوتایپ در ایستگاه‌های بررسی‌شده در جنگل‌های بلوط استان لرستان تفاوت معنی‌دار وجود ندارد ($p>0.05$) (جدول ۱).

نتایج تحلیل آماری حاصل از بررسی همبستگی بین درصد ریشه خشک، ریشه غیرمیکوریزی، ریشه میکوریزی و تعداد آرایه و مورفوتایپ‌های قارچ‌های اکتومیکوریزا در ایستگاه‌های بررسی‌شده نشان داد، بین تعداد آرایه‌ها و درصد ریشه‌های خشک همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.33)، ($p<0.05$)، بین درصد ریشه‌های میکوریزایی و درصد ریشه‌های خشک همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.37)، ($p<0.05$)، بین درصد ریشه غیرمیکوریزی و تعداد آرایه‌ها همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.64)، ($p<0.01$) و بین درصد ریشه غیرمیکوریزایی و تعداد مورفوتایپ همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.44) وجود دارد ($p<0.05$). همچنین بین درصد ریشه غیرمیکوریزی و درصد ریشه میکوریزی همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.86)، ($p<0.01$)، بین درصد ریشه میکوریزایی و درصد ریشه‌های خشک همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.77)، ($p<0.01$) و بین درصد ریشه میکوریزی و تعداد مورفوتایپ همبستگی مثبت معنی‌دار (r=0.42) مشاهده شد ($p<0.05$). همچنین بین درصد ریشه غیرمیکوریزی و درصد ریشه میکوریزی همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.86)، ($p<0.01$)، بین درصد ریشه میکوریزایی و درصد ریشه‌های خشک همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.37)، ($p<0.05$) و بین تعداد مورفوتایپ و تعداد آرایه‌ها همبستگی مثبت معنی‌دار (r=0.47) وجود دارد ($p<0.05$). بین تعداد مورفوتایپ و درصد ریشه میکوریزایی همبستگی مثبت معنی‌دار (r=0.42)، ($p<0.05$)، بین تعداد مورفوتایپ و درصد ریشه غیرمیکوریزایی همبستگی منفی معنی‌دار (r=-0.44)، ($p<0.05$)، بین تعداد آرایه‌ها و تعداد مورفوتایپ همبستگی مثبت معنی‌دار (r=0.47)، ($p<0.05$) و بین تعداد آرایه‌ها و درصد ریشه میکوریزایی همبستگی مثبت معنی‌دار (r=0.77) مشاهده شد ($p<0.01$). . بین تعداد آرایه‌ها و درصد ریشه میکوریزایی همبستگی مثبت معنی‌دار (r=-0.64)، ($p<0.01$) مشاهده شد. بین تعداد آرایه‌ها و درصد ریشه غیرمیکوریزایی (r=-0.64)، ($p<0.01$) و بین تعداد آرایه‌ها و درصد ریشه خشک (r= -0.33)، ($p<0.05$) همبستگی منفی معنی‌دار مشاهده شد . همچنین همبستگی بین درصد ریشه غیر میکوریزایی با درصد ریشه خشک و درصد ریشه خشک با تعداد مورفوتایپ ازنظر آماری معنی‌دار نبود ($p>0.05$) (جدول ۲).

جدول ۳- تحلیل آماری و گروه‌بندی میانگین تعداد جدایه در هر ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده

Table 3. Statistical analysis and grouping of the average number of isolates per ten roots of each tree in the investigated sites

Statistical group	The average number of isotype per ten roots of each tree	The number of roots examined	Station name	Number
C	1.47	15	Chenar bagali	1
B	4.60	15	Shoorab	2
B	5.57	15	Grit	3
B	5.73	15	Nojian	4
B	6.80	15	Kashkan	5
A	18.20	15	Kasharaf	6

از مقایسه بین میانگین تعداد جدایه در هر ریشه ازهر درخت مشخص شد که میانگین تعداد جدایه در منطقه کاشرف در گروه آماری برتر (گروه A) و در منطقه چنار بگالی در گروه پایین‌تر (گروه C) قرار گرفت. (P<0/05)؛ و سایر ایستگاه‌ها در گروهی در بین این دو گروهآماری قرار گرفتند (گروه P<0/05) (C). (جدول ۳).

جدول ۴- گروه‌بندی آماری میانگین تعداد مورفوتایپ در هر ده عدد ریشه ازهر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده

Table 4. Statistical grouping of the average number of morphotypes per ten roots of each tree in the investigated sites

Statistical group	The average number of morphotypes per ten roots of each tree	The number of roots examined	Station name	Number
B	0.94	15	Chenar bagali	1
AB	1.27	15	Shoorab	2
AB	1.21	15	Grit	3
B	1.13	15	Nojian	4
AB	1.20	15	Kashkan	5
A	1.60	15	Kasharaf	6

از مقایسه بین میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزی در هر ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده مشخص شد، میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزی در منطقه کاشرف در گروه برتر (گروه A) و درصد ریشه‌های اکتومیکوریزی در منطقه چنار بگالی در گروه پایین‌تر (گروه C) قرار گرفت (P<0.05) و سایر ایستگاه‌ها در گروهی جداگانه (گروه B) در بین این دو گروه قرار گرفتند (P<0.05) (جدول ۴). دلیل برتری در منطقه کاشرف می‌تواند به علل مختلفی ازجمله تراکم بیشتر درختان و پوشش گیاهی مناسب که موجب حفظ رطوبت به مدت زمان بیشتری در منطقه می‌باشد و وجود تنوع گونه‌های بلوط در این ایستگاه (دو گونه نسبت به سایر ایستگاه‌ها که از یک گونه بودند) باشد. در سایر ایستگاه‌ها درختان پراکندگی بیشتری داشتند و پوشش گیاهی در اطراف این درختان نسبت به ایستگاه کاشرف کمتر بود که باعث تبخیر بیشتر خاک این مناطق شده و فعالیت و جمعیت این قارچ‌ها را کمتر می‌کند. همچنین نوع و میزان مواد غذایی موردنیاز درخت در خاک به‌ویژه نیتروژن و فسفر می‌تواند بر جمعیت قارچ‌ها مؤثر باشد که احتمال دارد در این منطقه بیشتر باشد.

جدول ۵- گروه‌بندی آماری میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزی از هر ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده

Table 5. Statistical grouping of the average percentage of ectomycorrhizal roots per ten roots of each tree in the investigated sites

Statistical group	Mean percentage of ectomycorrhizal roots in every ten roots of each tree.	The number of roots examined	Station name	Number
C	10.33	15	Chenar bagali	1
B	39.33	15	Shoorab	2
B	30.00	15	Grit	3
B	33.33	15	Nojian	4
B	32.33	15	Kashkan	5

از مقایسه بین میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزی در هر ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده مشخص شد که میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزی در منطقه کاشرف در گروه برتر (گروه A) و درصد ریشه‌های اکتومیکوریزی در منطقه چنار بگالی در گروه پایین‌تر (گروه C) قرار گرفت ($P<0.05$) و سایر ایستگاه‌ها در گروهی جداگانه (گروه B) در بین این دو گروه قرار گرفتند ($P<0.05$) (جدول ۵).

جدول ۶- گروه‌بندی آماری میانگین درصد ریشه‌های غیراکتومیکوریزی از هر ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده

Table 6. Statistical grouping of the average percentage of non-ectomycorrhizal roots per ten roots of each tree in the investigated sites

Statistical group	Mean percentage of non-ectomycorrhizal roots in every ten roots of each tree.	The number of roots examined	Station name	Number
C	64.66	15	Chenar bagali	1
B	47.33	15	Shoorab	2
C	30.00	15	Grit	3
C	33.33	15	Nojian	4
BC	57.33	15	Kashkan	5
A	36.66	15	Kashkan	6

از مقایسه بین میانگین درصد ریشه‌های غیر اکتومیکوریزی در هر ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده مشخص شد که میانگین درصد ریشه‌های غیر اکتومیکوریزی در منطقه کاشرف از همه کمتر (گروه A) و در منطقه چنار بگالی از همه بیشتر (گروه C) بود ($P<0/05$) و سایر ایستگاه‌ها درگروهای جداگانه (گروه BC و B) در بین این دو گروه قرار گرفتند ($P<0/05$) (جدول ۶).

جدول ۷- گروه‌بندی آماری میانگین درصد ریشه‌های خشک از هر ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده

Table 7. Statistical grouping of the average percentage of dry roots per ten roots of each tree in the investigated sites

Statistical group	Mean percentage of dry roots in every ten roots of each tree.	The number of roots examined	Station name	Number
B	25.66	15	Chenar bagali	1
A	13.33	15	Shoorab	2
A	1.00	15	Grit	3
A	8.67	15	Nojian	4
A	10.33	15	Kashkan	5
A	9.33	15	Kashkan	6

از مقایسه بین میانگین درصد ریشه‌های خشک در هر ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده مشخص شد که میانگین درصد ریشه‌های خشک در منطقه چنار بگالی از همه بیشتر (گروه B) و سایر ایستگاه‌ها در گروه جداگانه (گروه A) قرار گرفتند ($P<0/05$) (جدول ۷).

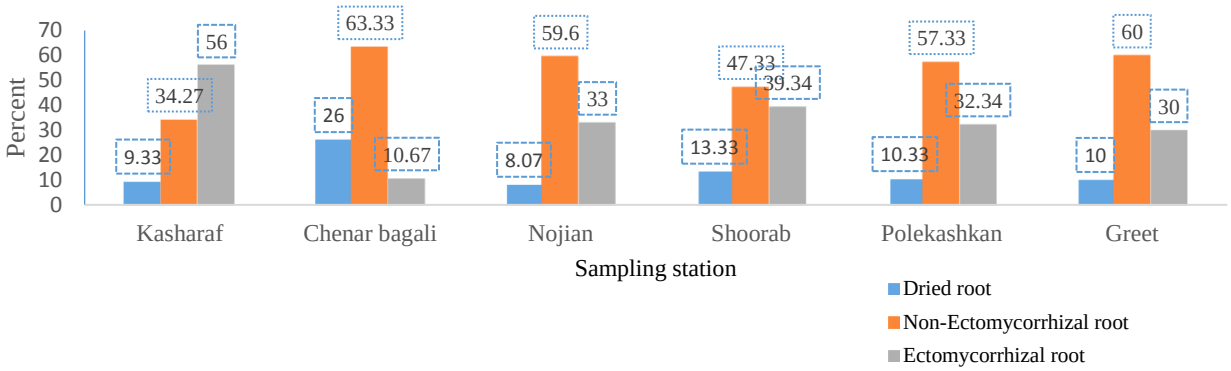
جدول ۸- آماره‌های میانگین درصد ریشه‌های خشک، ریشه‌های غیراکتومیکوریزی، ریشه‌های اکتومیکوریزایی، تعداد مورفوتایپ و جدایه‌های ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده

Table 8. Statistical parameters of the average percentage of dry roots, non-ectomycorrhizal roots, ectomycorrhizal roots, and the number of morphotypes and isolates per ten roots of each tree in the investigated sites

Std. Error ± Mean	The number of examined tree	Station name	Surveyed character	Number
9.33±1.81	15	Kasharaf	Percentage of dry roots (%)	1
25.66±2.00	15	Chenar bagali		
8.66±1.91	15	Nojian		
13.33 ±1.25	15	Shoorab		
10.33±1.72	15	Kashkan		
10.00±2.09	15	Grit		
36.66±3.33	15	Kasharaf	Non-ectomycorrhizal roots (%)	2
64.66±3.36	15	Chenar bagali		
59.33±2.481	15	Nojian		
47.33±2.28	15	Shoorab		
57.33±5.11	15	Kashkan		
60.00±4.80	15	Grit		
56.00±4.34	15	Kasharaf	Ectomycorrhizal roots (%)	3
10.33±2.09	15	Chenar bagali		
33.33±3.18	15	Nojian		
39.33±2.06	15	Shoorab		
32.33±3.74	15	Kashkan		
30.00±3.31	15	Grit		
1.60±0.16	15	Kasharaf	Number of morphotypes	4
.93±0.15	15	Chenar bagali		
1.13±0.09	15	Nojian		
1.26±0.20	15	Shoorab		
1.20±0.10	15	Kashkan		
1.21±0.11	15	Grit		
18.20±2.08	15	Kasharaf	Number of isolates	5
1.46±0.25	15	Chenar bagali		
5.73±0.63	15	Nojian		
4.60±0.73	15	Shoorab		
6.80±0.85	15	Kashkan		
5.57±0.60	15	Grit		

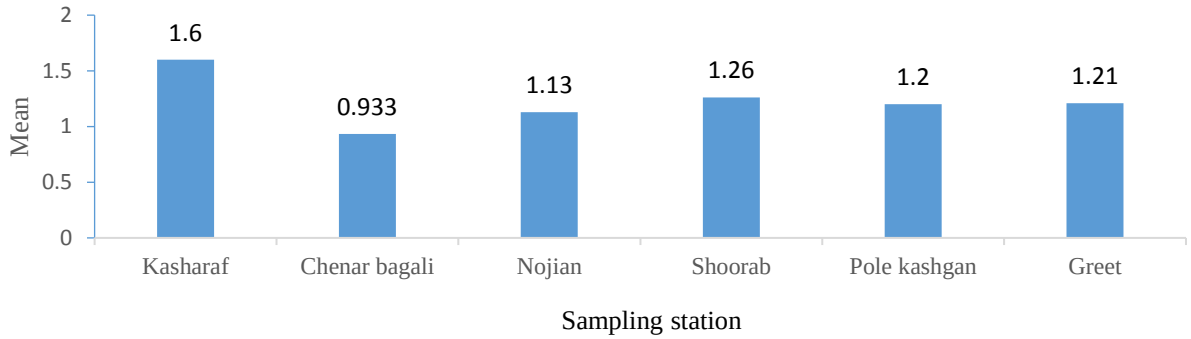
نتایج نشان داد، بیشترین میانگین درصد ریشه‌های غیرزنده مربوط به ایستگاه چناربگالی (25.66±2.00) و بیشترین میانگین درصد ریشه‌های غیراکتومیکوریزی مربوط به ایستگاه چناربگالی (64.66±3.36)، بیشترین میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزی مربوط به ایستگاه کاشرف (56.00±4.34)، بیشترین میانگین تعداد مورفوتایپ

مربوط به ایستگاه کاشرف (1.60±.16) و بیشترین میانگین تعداد جدایه‌های ده عدد ریشه از هر درخت در ایستگاه‌های بررسی‌شده مربوط به ایستگاه کاشرف (18.20±2.08) بود (جدول ۸).



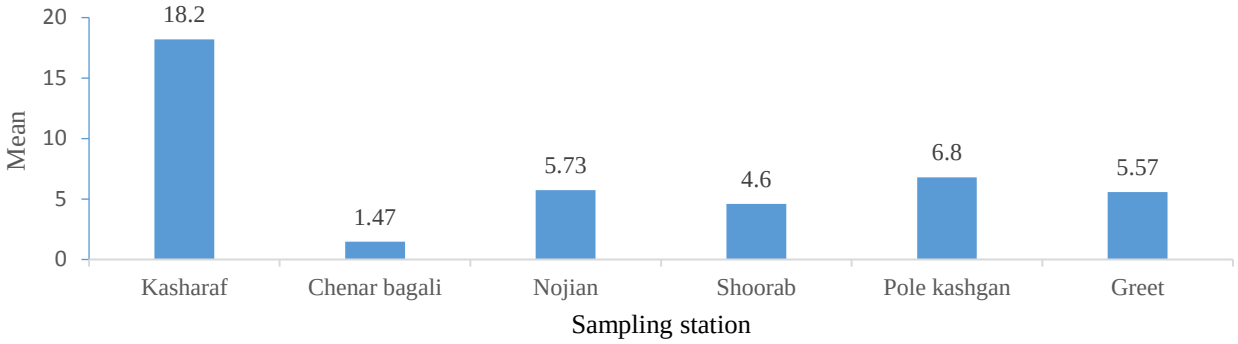
شکل ۱- مقایسه میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در مناطق بررسی‌شده

Figure 1. Comparison of the average percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the studied sites



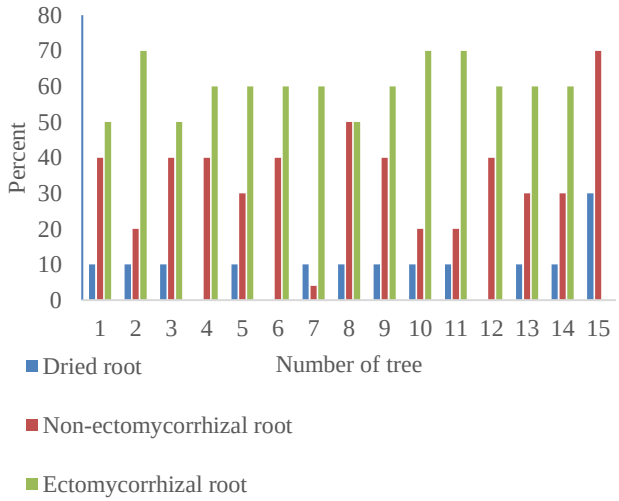
شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد مورفوتایپ‌های اکتومیکوریزایی در درختان بلوط در مناطق نمونه‌برداری

Figure 2. Comparison of the average number of ectomycorrhizal morphotypes in oak trees across the sampling sites



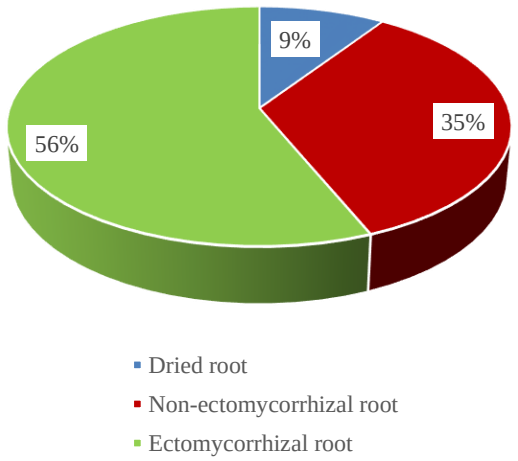
شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد آرایه‌های اکتومیکوریزایی در درختان بلوط در مناطق نمونه‌برداری

Figure 3. Comparison of the average number of ectomycorrhizal taxa in oak trees across the sampling sites



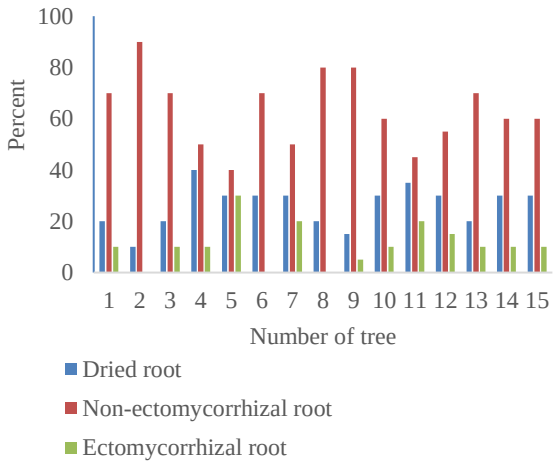
شکل ۴- مقایسه درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه کاشرف

Figure 4. Comparison of the percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Kashraf site



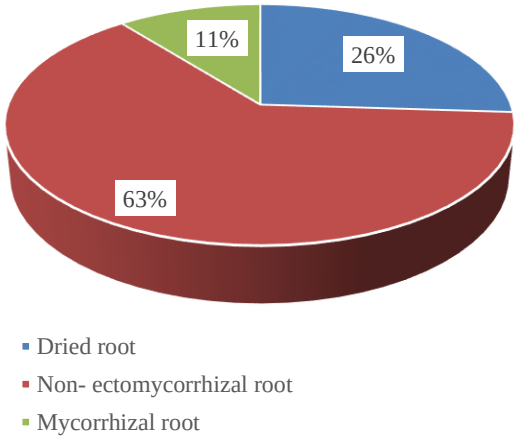
شکل ۵- مقایسه میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه کاشرف

Figure 5. Comparison of the average percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Kashraf site



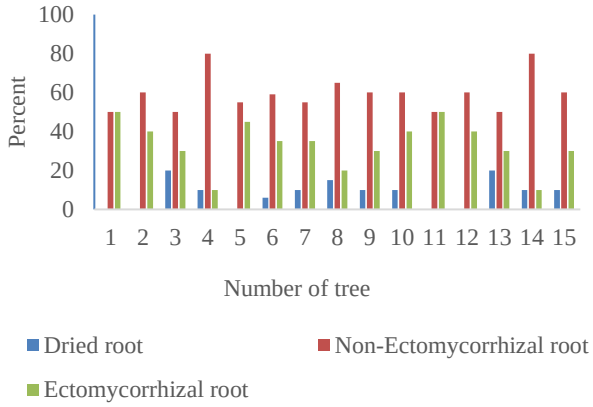
شکل ۶- مقایسه درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه چناربگالی

Figure 6. Comparison of the percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Chenar Bagali site



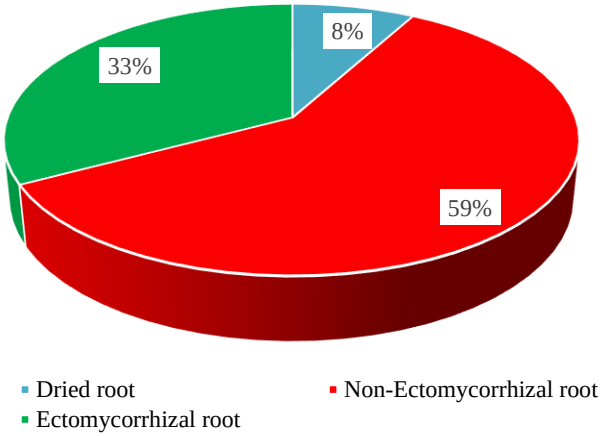
شکل ۷– مقایسه میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه چناربگالی

Figure 7. Comparison of the average percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Chenar Bagali site



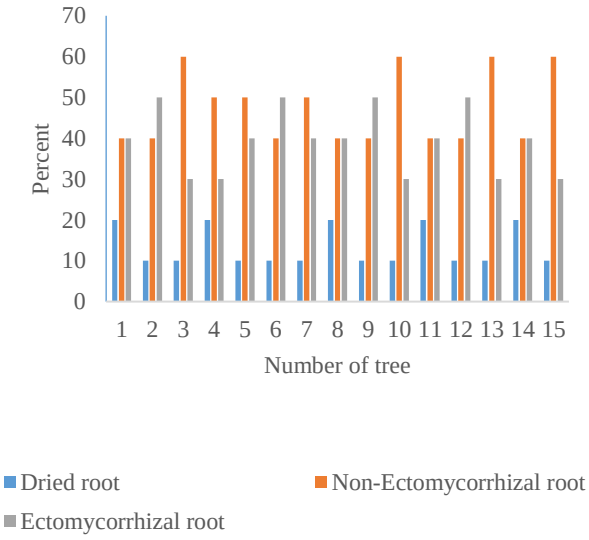
شکل ۸– مقایسه درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه نوزیان

Figure 8. Comparison of the percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Nozhian site



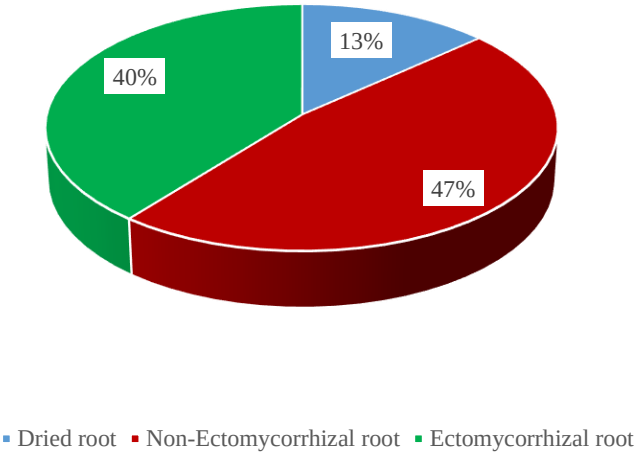
شکل ۹- مقایسه میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه نوژیان

Figure 9. Comparison of the average percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Nozhian site



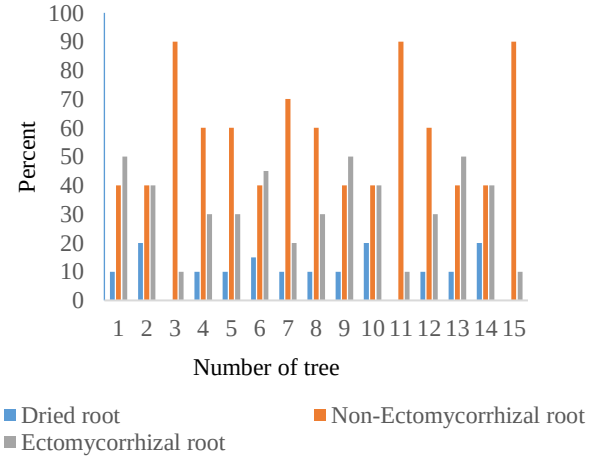
شکل ۱۰- مقایسه درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه شوراب

Figure 10. Comparison of the percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Shurab site



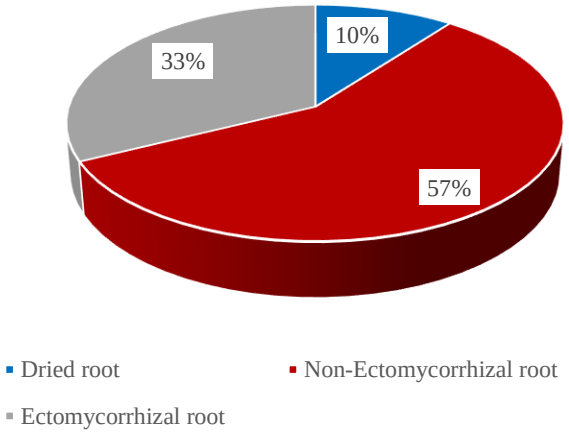
شکل ۱۱– مقایسه میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه شوراب

Figure 11. Comparison of the average percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Shurab site



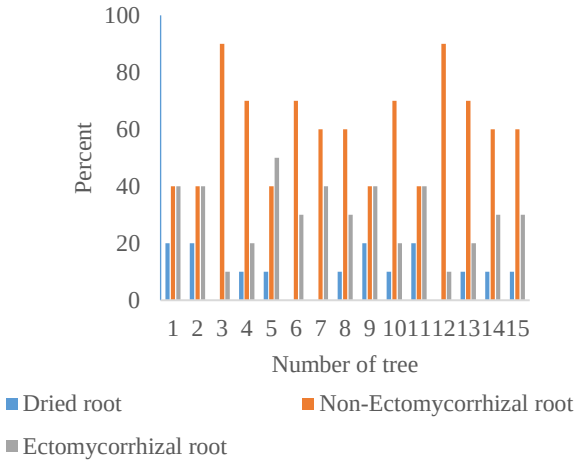
شکل ۱۲– م مقایسه درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتو میکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه پل کشکان

Figure 12. Comparison of the percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Pole Kashkan region



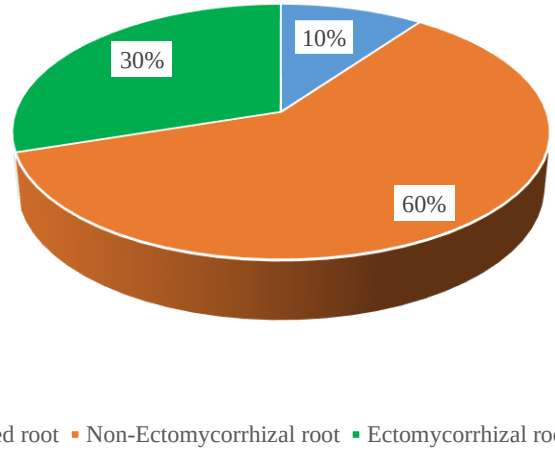
شکل ۱۳- مقایسه میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتو میکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه پل کشکان

Figure 13. Comparison of the average percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Pole Kashkan region



شکل ۱۴- مقایسه درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه گریت

Figure 14. Comparison of the percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Grit site



شکل ۱۵– مقایسه میانگین درصد ریشه‌های اکتومیکوریزایی، ریشه‌های غیراکتومیکوریزایی و ریشه‌های غیرزنده در درختان بلوط در منطقه گریت

Figure 15. Comparison of the average percentage of ectomycorrhizal roots, non-mycorrhizal roots, and dead roots in oak trees in the Grit site

بحث

با توجه به تغییرات زیست‌محیطی، تنش‌های محیطی و خشکیدگی درختان بلوط در اثر عوامل مختلف، نقش قارچ‌های اکتومیکوریز (ECM) بیشتر از گذشته احساس می‌شود. این قارچ‌ها روابط همزیستی با ریشه‌های درختانی مانند بلوط تشکیل می‌دهند و جذب آب و مواد مغذی، به‌ویژه فسفر و نیتروژن را که اغلب در بسیاری از خاک‌ها محدود است، افزایش می‌دهند (Smith & Read, 2010). این همزیستی نه‌تنها به بهبود سلامت درختان کمک می‌کند، بلکه نقش مهمی در پایداری اکوسیستم‌های جنگلی ایفا می‌نماید. تحقیقات اخیر ظرفیت قارچ‌های اکتومیکوریز را در بهبود تاب‌آوری گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی، مانند خشک‌سالی، مورد تأکید قرار داده‌اند. به‌عنوان‌مثال، Agerer (۲۰۲۰) نشان داده که همزیستی‌های اکتومیکوریزی می‌توانند نگهداری آب را در گیاهان میزبان افزایش داده و منجر به بهبود میزان بقا در دوره‌های خشک شوند. بااین‌حال، باید توجه داشت که این تأثیرات در شرایط خاصی مانند خاک‌های بسیار فقیر یا آلوده ممکن است کاهش یابد.

همچنین، این قارچ‌ها در تشکیل تجمع‌های خاک که به بهبود ساختار خاک و افزایش نفوذ و نگهداری بهتر رطوبت کمک می‌کند، نقش اساسی دارند (Dietz *et al.*, 2022). فرایند از طریق تشکیل شبکه‌های میسلیومی انجام می‌شود که سطح تماس ریشه با خاک را افزایش داده و جذب مواد مغذی را تسهیل می‌کند. علاوه‌براین، قارچ‌های اکتومیکوریز به چرخه کربن در اکوسیستم‌های جنگلی کمک می‌کنند. آنها در تجزیه مواد آلی نقش دارند و مواد مغذی ضروری را به خاک بازمی‌گردانند. این فرایند نه‌تنها سلامت گیاه را حفظ می‌کند، بلکه در کاهش تغییرات اقلیمی با حبس کربن در بیومس قارچ نیز نقش مهمی ایفا می‌کند (Wang *et al.*, 2023). بااین‌حال، تغییرات اقلیمی ممکن است بر تنوع و عملکرد این قارچ‌ها تأثیر منفی

بگذارد، بنابراین، نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود.

بنابراین، تقویت این نوع همزیستی در درختان بلوط در مناطق بررسی‌شده می‌تواند به بقا و سلامت آنها کمک کند. تغییرات مداوم در الگوهای اقلیمی جهانی نیازمند تحقیقات بیشتری درباره تعاملات بین قارچ‌های اکتومیکوریز و گیاهان میزبان آنها، به‌ویژه در شرایط محیطی پرتنش است. برای نمونه، بررسی این موضوع که چگونه می‌توان قارچ‌های اکتومیکوریز را به‌طور مؤثر در خاک‌های شور و خشک تقویت کرد، ازجمله سؤالات تحقیقاتی مهم است .درک این دینامیک‌ها برای توسعه راهبردهایی که به حفظ و احیای جنگل‌ها می‌انجامد، به‌ویژه در مناطق آسیب‌پذیر نسبت به تأثیرات اقلیمی مانند جنگل‌های استان لرستان، حیاتی است.

این قارچ‌ها نقش حیاتی در بهبود تاب‌آوری گونه‌های درختی، ازجمله بلوط‌ها (*Quercus* spp.) در برابر تنش‌های غیرزیستی، مانند شوری، ایفا می‌کنند. تنش شوری می‌تواند تأثیرات منفی بر رشد گیاه، جذب مواد مغذی و سلامت کلی درختان بگذارد و منجر به کاهش میزان بقا شود. قارچ‌های اکتومیکوریز با تشکیل روابط همزیستی با ریشه‌های درختان، از طریق سازوکارهای مختلف به سازگاری بهتر با محیط‌های شور کمک می‌کنند. به‌عنوان‌مثال، آنها با افزایش دسترسی به پتاسیم و کلسیم، به حفظ تعادل اسموتیکی در سلول‌های گیاهی کمک می‌کنند (Tuning *et al*., 2022).

بااین‌حال، باید توجه داشت که تقویت قارچ‌های اکتومیکوریز در خاک‌های شور ممکن است با چالش‌هایی مانند هزینه‌های بالای تلقیح قارچی یا دشواری ایجاد شرایط مناسب برای رشد این قارچ‌ها همراه باشد، بنابراین، پیشنهاد می‌شود از روش‌های کم‌هزینه‌تر، مانند بهبود شرایط خاک برای رشد طبیعی قارچ‌ها استفاده شود. علاوه‌براین، قارچ‌های اکتومیکوریز قادرند به توسعه ساختار ریشه درختان بلوط کمک کنند و موجب افزایش بیومس ریشه و سطح ریشه شوند که این موضوع به جذب آب و مواد مغذی به‌طور مؤثر در گیاه کمک می‌کند (Li *et al*., 2023). این ویژگی به‌ویژه در مناطقی مانند جنگل‌های استان لرستان که با پدیده خشک‌سالی روبه‌رو هستند، اهمیت دارد.

در یک بررسی، Patel و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که قارچ‌های اکتومیکوریز به القای سنتز ترکیبات سازگار مانند پرولین و گلیسین بتائین در درختان بلوط کمک می‌کنند. این ترکیبات نقش حیاتی در تنظیم اسموتیکی دارند و از ساختارهای سلولی در برابر آسیب‌های ناشی از تنش محافظت می‌نمایند و درنهایت ظرفیت گیاه برای مقابله با تنش‌های مختلف را افزایش می‌دهند. بااین‌حال، باید به این نکته توجه کرد که برخی گونه‌های قارچی ممکن است با گونه‌های خاصی از درختان بلوط سازگاری نداشته باشند، بنابراین انتخاب گونه‌های مناسب قارچی برای هر منطقه ضروریست.

درنتیجه، قارچ‌های اکتومیکوریز به‌عنوان شریک‌های حیاتی برای درختان بلوط، به‌ویژه در محیط‌های شور که شوری خاک استرس قابل‌توجهی ایجاد می‌کند، عمل می‌کنند. نقش‌های آنها در دسترسی به مواد مغذی، توسعه ریشه و تنظیم اسموتیکی اهمیت این قارچ‌ها را در ارتقای تاب‌آوری درختان نشان می‌دهد. بااین‌حال، تحقیقات بیشتر در زمینه سازوکارهای خاص این تعاملات و تأثیرات آنها بر مدیریت جنگل‌ها در مناطق آسیب‌پذیر برای افزایش پایداری اکوسیستم‌های دارای بلوط ضروریست.

علاوه‌براین، باید به نقش سایر میکروارگانیسم‌های خاک، مانند باکتری‌های مفید نیز توجه شود. تعاملات بین این میکروارگانیسم‌ها و قارچ‌های اکتومیکوریز می‌تواند به بهبود سلامت خاک و درختان کمک کند. این قارچ‌ها چون تبادل مواد مغذی حاصل‌شده از خاک را با کربوهیدرات‌های میزبان گیاهی انجام می‌دهند، نقش مؤثری در مقاومت در برابر تنش‌های غیرزنده یا زیستی گونه‌های میزبان دارند (Smith & Read, 2008). اکتومیکوریزها نقش مهمی در انتقال مواد مغذی دارند، بنابراین، در حفظ تنوع زیستی اکوسیستم‌ها (Simard *et al*., 1997) مؤثر هستند.

درنهایت، باید به جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی تقویت قارچ‌های اکتومیکوریز نیز توجه شود. برای نمونه، افزایش درآمد حاصل از فروش کلاهک‌های قارچی خوراکی می‌تواند به بهبود معیشت جوامع محلی کمک کند. این قارچ‌ها نوعی روابط همزیستی ایجاد می‌کنند که به‌طور چشمگیری جذب و انتقال مواد مغذی را افزایش می‌دهد. این ارتباطات برای بقا و رشد موفق درختان بلوط بسیار مهم هستند، به‌ویژه در خاک‌های ضعیف و جایی که محدودیت در دسترس بودن طبیعی مواد مغذی وجود دارد. تحقیقات اخیر نشان داده‌اند، قارچ‌های ECM نقش اساسی در جذب و جابه‌جایی مواد ضروری، مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم ایفا می‌کنند. Smith و Read (۲۰۱۰) تأکید می‌کنند، قارچ‌های ECM می‌توانند به شیوه مؤثری سیستم ریشه‌ای درختان بلوط را به وسیله شبکه‌های میسلیومی به خاک‌های اطراف گسترش دهند که این کار سطح تماس برای جذب مواد غذایی را فراتر از ناحیه ریشه افزایش می‌دهد. این شبکه قارچی نه‌تنها جذب مواد ضروری را تقویت می‌کند، بلکه وابستگی کلی درختان بلوط به منابع خاک را نیز کاهش می‌دهد .در کل، قارچ‌های اکتومیکوریز جزئی جدایی‌ناپذیر از سیستم انتقال مواد مغذی درختان بلوط ازجمله در استان لرستان هستند. توانایی آنها در بهبود جذب مواد مغذی به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم نشان‌دهنده اهمیت آنها در اکوسیستم‌های جنگلی، به‌ویژه در خاک‌های دارای کمبود مواد غذایی است. پیشنهاد می‌شود با ادامه تحقیقات در مورد سازوکارهای خاص این تعاملات، بینش‌های ارزشمندی برای شیوه‌های مدیریت این جنگل‌ها و حفاظت از زیستگاه‌های آنها فراهم شود. همچنین، باید به این موضوع توجه شود که چگونه تغییرات اقلیمی ممکن است بر تنوع و عملکرد قارچ‌های اکتومیکوریز تأثیر بگذارد و چه راهبردهایی برای سازگاری با این تغییرات لازم است.

References

- Agerer, R., 2020. Ectomycorrhizae: Diversity and Ecological Role. Fungal Diversity, 105(1): 1-20. https://doi.org/10.1007/s13225-020-00528-x
- Azcón-Aguilar, C. and Barea, J.M., 1997. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens–an overview of the mechanisms involved. Mycorrhiza, 6(6): 457-464.
- Bessette, A. E., Roody, W. C., Bessette, A. R. and - Dunaway, D. L., 2007. Mushrooms of the southeastern United States. Syracuse University Press. 373p.
- Brundrett, M.C., 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. New phytologist, 154(2): 275-304.
- Davis, M., Sommer, R. and Menge, J., 2012. Field guide to mushrooms of western North America. University of California Press. Vol. 106, 488p.
- Dell, B., 2002. Role of mycorrhizal fungi in ecosystems. CMU Journal, 1(1): 47-60.
- Dietz, S., Kuo, H. and Rainey, G.B., 2022. Ectomycorrhizal fungi enhance soil structure and carbon retention: Implications for forest management. Soil Biology and Biochemistry, 164: 108419. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.,2022.108419
- Fortin, J.A., Plenchette, C. and Piché, Y., 2015. Les Mycorhizes (second ed.). Versaillles: Inra. p. 10. ISBN 978-2-7592-2433-3.Corporation, 650 p.
- Itoo, Z.A. and Reshi, Z.A., 2013. The multifunctional role of ectomycorrhizal associations in forest ecosystem processes. The Botanical Review, 79: 371-400.
- Jahanbazi, H., Iranmanesh, Y., Talebi, M., Shirmardi, H.A., Mehnatkesh, A.M., Pourhashemi, M. and Habibi, M., 2020. Effect of physiographic factors on absorption of essential nutritional elements of the leaf in Brants oak (*Quercus brantii* Lindl.) affected by decline (Case study: Helen forest, Chaharmahal & Bakhtiari province). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 33(3): 734-748.
- Kottke, I. and Nebel, M., 2005. The evolution of mycorrhiza-like associations in liverworts: an update. New Phytologist, pp.330-334.

– Lehto, T., 1992. Mycorrhizas and drought resistance of *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. I. In conditions of nutrient deficiency. New phytologist, 122(4): 661-668.
– Li, J., Zhang, H. and Zhang, Y., 2023. Ectomycorrhizal fungi enhance root structure and function of oak trees under salt stress. Tree Physiology, 43(2): 152–163. https://doi.org/10.1093/treephys/tpac028
– Martin, A., Casimiro, A. and Pais, M.S., 1997. Influence of mycorrhization on physiological parameters of micropropagated Castanea sativa Mill. plants. Mycorrhiza, 7(3): 161-165.
– Metzler, S. and Metzler, V., 1992. Texas mushrooms: a field guide. University of Texas Press. Vol. 18, 350p.
– Nikolaou, N., Angelopoulos, K. and Karagiannidis, N., 2003. Effects of drought stress on mycorrhizal and non-mycorrhizal Cabernet Sauvignon grapevine, grafted onto various rootstocks. Experimental Agriculture, 39(3): 241-252.
– Nilsen, E.T. and Orcutt, D.M., 1996. Physiology of plants under stress. John Willey and Sons. Inc., New York. Mycorrhiza, 7: 161-165.
– Patel, S., Yadav, S. and Singh, A., 2021. Stress-Responsive Metabolites in Ectomycorrhizal Oak Trees Under Salinity Stress. Journal of Plant Physiology, 258: 153364. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153364
– Porcel, R., Aroca, R. and Ruiz-Lozano, J.M., 2012. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Agronomy for Sustainable Development, 32(1): 181–200. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0029-x. S2CID 8572482
– Read, D.J., 1992. The Mycorrhizal Mycelium DJ Read. Mycorrhizal functioning: an integrative plant-fungal process. Chapman and Hall. 1102: 102-110.
– Remy, W., Taylor, T.N., Hass, H. and Kerp, H., 1994. Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. Proceedings of the National Academy of Sciences, 91(25): 11841-11843.
– Sagheb-Talebi, K., Pourhashemi, M. and Sajedi, T., 2013. Forests of Iran. Springer Science.152p.
– Simard, S.W., Perry, D.A., Jones, M.D., Myrold, D.D., Durall, D.M. and Molina, R., 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. Nature, 388(6642): 579-582.
– Smith, A.H., 1975. A field guide to western mushrooms. University of Michigan Press, 264p.
– Smith, S. E. and Read, D. J., 2010. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. 800p.
– Smith, S.E. and Read, D., 2008. Mycorrhizal Symbiosis Third Edition Introduction. Mycorrhizal Symbiosis, 605p.
– Svenningsen, N. B., Watts-Williams, S. J., Joner, E. J., Battini, F., Efthymiou, A., Cruz-Paredes, C., Nybroe, O. and Jakobsen, I., 2018. Suppression of the activity of arbuscular mycorrhizal fungi by the soil microbiota. The ISME journal, 12(5): 1296-1307.
– Tuning, R., Bender, P. and Hartmann, P., 2022. Ectomycorrhizal fungi enhance nutrient availability in saline soils: Implications for oak tree growth. Forests, 13(1): 34. https://doi.org/10.3390/f13010034
– Wang, B. and Qiu, Y.L., 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. Mycorrhiza, 16(5): 299-363.
– Wang, Q., Liu, X. and Zhang, Y., 2023. The Role of Ectomycorrhizal Fungi in Carbon Cycling and Climate Change Mitigation. Journal of Ecology, 111(1): 123-135. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13750