

Research Paper

Identification of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Coexist with Plant Species in Different Habitats of Iranian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Ilam

Nahid Jafarian¹, Javad Mirzaei² , Reza Omidipour³ and Yahya Kooch⁴

1- Ph.D. Student, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran

2- Associate Professor, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran,
(Corresponding author: j.mirzaei@mail.ilam.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran

4- Associate Professor, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 25 December, 2022

Accepted: 4 April, 2023

Extended Abstract

Background: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are a crucial component of soil microflora, forming symbiotic relationships with approximately 80% of plant species. These fungi play a significant role in enhancing plant nutrient uptake, improving soil structure, and promoting ecosystem health. The present study aimed to identify the morphology of arbuscular mycorrhizal fungi across three distinct habitats—Shanachir, Ilam, and Malekshahi—each characterized by different climatic conditions. Additionally, the study focused on two aspect slopes, north and south, within the oak forests of Ilam province. Understanding the diversity and distribution of AMF in these varying environments can provide insights into their ecological roles and the factors influencing their populations.

Methods: To collect soil samples, a total of 20 mixed soil samples were taken from each habitat, ensuring representation from both north and south aspect slopes. This resulted in a comprehensive collection of 60 samples across the three habitats, all obtained through a completely random sampling plan from a depth of 0-20 cm during the spring season. The extraction of AMF spores was conducted using a method that involved sieving and centrifugation with sucrose, which is effective for isolating fungal spores from soil. Identification of the mycorrhizal fungi was performed based on morphological characteristics, utilizing identification keys and reliable online resources. The abundance percentage of each fungal species was calculated based on the proportion of spores belonging to each species within the total sample. To analyze the similarity of fungal species across different habitats and aspect slopes, a Venn diagram was employed. This visual representation allowed for a clear understanding of species overlap and diversity among the sampled areas.

Results: The study identified a total of 39 species of arbuscular mycorrhizal fungi belonging to 11 genera across the three studied areas and two aspect slopes. Specifically, 36 fungal species from 11 genera were recorded in the Ilam habitat, while the Malekshahi habitat yielded 37 species from the same number of genera. In contrast, 34 fungal species from 10 genera were identified in the Shanachir area. The genera *Acaulospora* and *Glomus* exhibited the highest relative frequency across all habitats and aspect slopes, indicating their dominance in these ecosystems. Among the identified species, *Glomus nanolumen* and *Acaulospora lacunosa* were the most abundant, consistently showing high percentages of fungal species abundance across all habitats. The analysis of species similarity revealed that 30 species of mycorrhizal fungi, accounting for 76.92% of the total species identified, were common among the different habitats. Notably, one endemic species, *Glomus macrocarpum*, was found exclusively in the Malekshahi region. Statistical analysis indicated a significant difference in spore density among the study areas ($p=0.000$). The highest spore density was recorded in the Malekshahi and Shanachir habitats, surpassing that of the Ilam habitat. Furthermore, the average spore density was consistently higher in the southern aspect slopes compared to the northern slopes.



Specifically, the average spore density varied from 111.20 spores per 100 grams of soil in Ilam to 140.25 spores per 100 grams in Malekshahi. Among the aspect slopes, spore density ranged from 105.60 in the northern Ilam to 150.90 in the southern Malekshahi.

Conclusion: The results of this study demonstrate significant variations in the diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi across different habitats and aspect slopes. The number of fungal species, their distribution patterns, and spore densities varied considerably, with the highest spore density observed in the southern aspect slope and the Malekshahi region. These findings underscore the importance of environmental factors, such as climatic conditions and soil characteristics, in shaping the composition and abundance of mycorrhizal fungi. Understanding the dynamics of AMF in relation to their plant partners is essential for improving ecosystem management and conservation strategies. The presence of endemic species highlights the need for targeted conservation efforts in specific regions. Future research should explore the functional roles of these fungi within their ecosystems and assess how changes in land use and climate may impact their populations and the overall health of forest ecosystems. By fostering a deeper understanding of arbuscular mycorrhizal fungi, we can enhance our ability to maintain and restore the ecological balance in these vital habitats.

Keywords: Climate, Mycorrhiza, Slope aspect, Spore, Symbiosis

How to Cite This Article: Jafarian, N., Mirzaei, J., Omidipour, R., & Kooch, y. (2023). Identification of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Coexist with Plant Species in Different Habitats of Iranian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Ilam. *Ecol Iran For*, 11(2), 73-87. <https://doi.org/10.61186/ifej.11.22.67>



مقاله پژوهشی

شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار همزیست با گونه‌های گیاهی در رویشگاه‌های مختلف بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در ایلامناهید جعفریان^۱، جواد میرزایی^۲، رضا امید پور^۳ و یحیی کوچ^۴

۱- دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
 ۲- دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران (نویسنده مسوول: j.mirzaei@ilam.ac.ir)
 ۳- استادیار گروه مرتع و آب‌خیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
 ۴- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۱۵

صفحه: ۷۳ تا ۸۷

چکیده مسوط

مقدمه و هدف: قارچ‌های میکوریز آربوسکولار یک جز مهم از میکروفلور خاک را تشکیل می‌دهند و با ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی همزیستی دارند. پژوهش حاضر با هدف شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در سه رویشگاه (شنه‌چیر، ایلام و ملکشاهی) با شرایط اقلیمی مختلف در دو جهت دامنه شمال و جنوب در جنگل‌های استان ایلام انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: به منظور نمونه‌برداری خاک، در هر رویشگاه و در هر جهت ۲۰ نمونه خاک ترکیبی در دو جهت شمالی و جنوبی برداشت شد. در مجموع ۶۰ قطعه نمونه برای هر سه رویشگاه بر اساس طرح نمونه‌برداری کاملاً تصادفی از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر در فصل بهار برداشت شد. استخراج اسپور قارچ‌های میکوریز با استفاده از روش الک مربوط و سانتی‌فیوژ کردن با ساکارز و شناسایی قارچ‌ها بر اساس اندازه‌گیری ویژگی‌های ریخت شناسی و با استفاده از کلید شناسایی و سایت‌های اینترنتی معتبر انجام شد. درصد فراوانی گونه‌های قارچی با استفاده از درصد اسپورهای متعلق به یک گونه قارچی نیز محاسبه شد. برای تعیین درصد تشابه گونه‌های قارچی در مناطق و جهت‌های شیب مختلف در هر رویشگاه از نمودار وون استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که در مجموع ۳۹ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار متعلق به ۱۱ جنس در سه رویشگاه مورد مطالعه و دو جهت شناسایی شدند. ۳۶ گونه قارچی متعلق به ۱۱ جنس در رویشگاه ایلام، ۳۷ گونه قارچ میکوریز متعلق به ۱۱ جنس در ملکشاهی و ۳۴ گونه قارچی متعلق به ۱۰ جنس در شنه‌چیر شناسایی شد. از ۱۱ جنس شناسایی شده بالاترین درصد فراوانی نسبی مربوط به جنس‌های *Glomus* و *Acaulospora* بود. در هر سه رویشگاه و در دو جهت شمالی و جنوبی دو گونه *Glomus nanolumen* و *Acaulospora lacunosa* بالاترین درصد فراوانی گونه قارچی را داشتند. نتایج تشابه گونه‌ها در مناطق مختلف نشان داد که ۳۰ گونه قارچ میکوریز معادل ۷۶/۹۲٪ گونه‌ها در بین مناطق مشترک بودند و یک گونه اندمیک (*Glomus macrocarpum*) در رویشگاه ملکشاهی وجود داشت. نتایج نشان داد تراکم اسپور در مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری داشتند ($p=0/000$) که در رویشگاه ملکشاهی و شنه‌چیر بیشتر از ایلام بود. میانگین تراکم اسپور در تمام مناطق در جهت جنوبی بیشتر از شمالی بود. میانگین تراکم اسپورها در مناطق مختلف از ۱۱۱/۲۰ در ایلام تا ۱۴۰/۲۵ در ملکشاهی و در بین جهت‌های مختلف از ۱۰۵/۶۰ در شمال ایلام تا ۱۵۰/۹۰ در جهت جنوبی ملکشاهی متغیر بود.

نتیجه‌گیری: نتیجه مطالعه حاضر نشان داد که قارچ‌های میکوریز در مناطق و جهت‌های مختلف از نظر تعداد گونه قارچی، پراکنش و تعداد اسپور متفاوت بودند و بیشترین تراکم اسپور در جهت‌های جنوبی و در منطقه ملکشاهی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: اسپور، اقلیم، جهت شیب، میکوریز، همزیستی

مقدمه

می‌گذارند (Smith and Read, 2010). علاوه بر این، قارچ‌های میکوریزی با تنظیم ترکیب جامعه میکروبی ریزوسفر (Veresoglou et al., 2012)، ساختار خاک و چرخه مواد مغذی (Cheng et al., 2012; Leifheit et al., 2015) نقش مهمی را در پایداری اکوسیستم ایفا می‌کنند (Munkvold et al., 2004).

توزیع قارچ میکوریزی و تولید اسپور عمدتاً تحت تأثیر عوامل زیستی (تنوع و ساختار پوشش گیاهی) و غیرزنده (عوامل اقلیمی، توپوگرافی، خشکسالی و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک) هستند (Fazlollahi Mohammadi et al., 2016, Rasmussen et al., 2018).

عوامل اقلیمی چون نوسانات فصلی دما (Dumbrell et al., 2011) و الگوهای بارندگی (Alguacil et al., 2015) بر رشد قارچ‌های میکوریزی در خاک تأثیر می‌گذارند. به‌گونه‌ای که ساختار جامعه قارچ میکوریز آربوسکولار در مناطق خشک به‌طور قابل‌توجهی با جنگل‌های مرطوب متفاوت است (Da Silva et al., 2014). بنابراین، جوامع قارچ میکوریز در محیط‌های مختلف به لحاظ شرایط آب و هوایی می‌توانند کاملاً متفاوت باشند (Liu et al., 2017). براساس پژوهش‌های انجام

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (*Arbuscular Mycorrhizal*)، جزو اساسی جوامع میکروبی خاک و همزیست اجباری می‌باشند که با ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی زمینی، همزیستی میکوریز را تشکیل می‌دهند (Classen et al., 2015). هیف‌های قارچ میکوریز قادرند ناحیه وسیعی از اطراف ناحیه ریشه گیاه را احاطه کنند و مواد مغذی معدنی ثابت (Cu و Zn, P) را برای گیاهانی که در خاک وجود دارند، فراهم کرده و در دسترس گیاهان میزبان قرار دهند (Hayman, 1982). این قارچ‌ها اثرات مفیدی بر توانایی گیاهان فردی می‌گذارند که از جمله این اثرات می‌توان افزایش جذب نیتروژن و فسفر (Hodge and Storer, 2015)، بهبود تحمل به خشکی (Augé, 2001) و تنش شوری (Garg and Chandel, 2011)، افزایش مقاومت پاتوژن گیاهان میزبان (Chaudhry et al., 2013)، تحمل فلزات سنگین (Hildebrandt et al., 2007)، ترسیب خاک (Parihar et al., 2020) و بهبود روابط آب (Augé, 2001) را نام برد. در این همزیستی، گیاهان در ازای دسترسی بهتر به منابع خاک (نیتروژن، فسفر و آب) کربن حاصل از فتوسنتز را با همزیست‌های قارچی به اشتراک

شده، بالا بودن دما و سطوح رطوبت پایین، ترکیب جامعه میکروبی مرتبط با ریشه را تغییر می‌دهند و بر همزیستی قارچ‌های میکوریزی اثر می‌گذارند (Gavito et al., 2000; Augé, 2001). بنابراین، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار یک جزء ضروری برای پیش‌بینی عملکرد اکوسیستم‌های زمینی در رابطه با تغییرات آب و هوایی هستند (Drigo et al., 2008). با توجه به اثرپذیری جوامع قارچی از نوع اقلیم انتخاب قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بومی مناسب و تولید آنها به مقدار کافی و با کیفیت مناسب، یکی از مسائل ضروری به‌منظور افزایش رشد گونه‌های گیاهی میزبان، به‌ویژه تحت تغییرات آب و هوایی است (Berruti et al., 2016). به‌نظر می‌رسد سویه‌های بومی این قارچ‌ها از نظر فیزیولوژیکی، اکولوژیکی و ژنتیکی با محیط در حال تغییر، سازگارتر هستند و می‌توانند برای گیاهان میزبان خود پایدارتر باشند (De Oliveira et al., 2017; Hart et al., 2018). بنابراین آگاهی از ترکیب جوامع قارچی میکوریز و شناسایی جوامع قارچی انعطاف‌پذیر و سازگار با شرایط آب و هوایی، برای حفظ گیاه میزبان در اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه احیاء گونه‌های بومی در جوامع جنگلی تخریب یافته، با کاربرد استفاده از این قارچ‌ها به‌عنوان کود زیستی به‌منظور افزایش رشد و توسعه نهال در نهالستان و سپس انتقال نهال به طبیعت ضروری می‌باشد.

عوامل توپوگرافی نیز بر جوامع قارچی آربوسکولار اثرگذار می‌باشند. بدین‌صورت که جهت شیب به‌عنوان یک عامل توپوگرافی بر ساختار و توسعه خاک، توزیع مجدد مواد مغذی و در دسترس بودن خاک (Xiao et al., 2019)، تنوع و توزیع پوشش گیاهی (Haidari et al., 2019) و جوامع میکروبی خاک (Schlatter et al., 2018) اثر می‌گذارد و مسئول ناهمگونی ریزمحیط با تغییر نور، دما و آب است (Liang et al., 2017). قارچ‌های میکوریز نیز یکی از جوامع میکروبی خاک هستند که تحت تأثیر شیب قرار می‌گیرند و مطالعات صورت گرفته تفاوت در ترکیب و تنوع این قارچ‌ها در شیب‌های مختلف را نشان می‌دهند (Xu et al., 2020).

با توجه به اهمیت قارچ‌های میکوریز و نقش آنها، مطالعات بسیاری در خصوص شناسایی، اثرات این قارچ‌ها بر گیاهان، تنوع زیستی و همزیستی این قارچ‌ها با گونه‌های گیاهی در کشاورزی، درختان جنگلی و باغی و مراتع انجام شده است که می‌توان به مطالعات جعفرلو و همکاران (Jafarlou et al., 2019) در خصوص اثرات همزیستی این قارچ‌ها بر رشد و فیزیولوژی نهال‌های گونه بیابانی استبرق اشاره کرد که مطالعه آنها نقش قارچ‌های میکوریز در افزایش و تسهیل جذب آب و عناصر تغذیه‌ای، افزایش حجم ریشه، ایجاد کلنیزاسیون ریشه‌ای، بهبود متغیرهای فیزیولوژی نهال استبرق را نشان داد. جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2018) جوامع قارچی میکوریز همزیست با ریشه و پاسخ آنها به تغییرات آب و هوایی کوتاه‌مدت و چرا در فلات تبت را شناسایی کردند که تنوع زیستی نسبتاً بالایی از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (۲۲ گونه قارچ) را شناسایی کردند. مطالعات مربوط به شناسایی این قارچ‌ها در شرایط اقلیمی و توپوگرافی مختلف محدود می‌باشد. زوو و همکاران (Xu et al., 2020) با بررسی اثر موقعیت شیب

بر جوامع قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار در مزارع صنوبر نشان دادند که موقعیت شیب اثرات قابل توجهی بر همزیستی، تنوع و ترکیب جوامع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار دارد، به‌گونه‌ای که همزیستی میکوریزی از شیب بالا به سمت شیب پایین افزایش قابل توجهی داشت و تنوع نیز در شیب‌های بالا بیشتر از شیب پایین بود. لیو و همکاران (Liu et al., 2017) در مقایسه جوامع قارچ میکوریز آربوسکولار بین دامنه‌های آفتابی و سایه‌دار دریافتند که ترکیب جامعه قارچ میکوریزی به‌طور قابل توجهی بین جهت‌های شیب متفاوت است و طبق نتایج آنها، تنوع، غنای قارچ، تراکم اسپور و همزیستی ریشه در دامنه‌های آفتابی بالاتر از دامنه‌های سایه‌دار بودند. امینیان نسب و همکاران (Aminian Nasab et al., 2021) اثر اقلیم، خصوصیات فیزیوشیمیایی خاک و میزبان بر فعالیت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در نه منطقه رفسنجان و اثرپذیری درصد کلونیزاسیون و جمعیت اسپور قارچ میکوریز آربوسکولار با نوع گونه میزبان و اقلیم منطقه، بررسی کردند که نتایج آنها نشان داد که تراکم جمعیت اسپور و درصد کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در هر منطقه با نوع میزبان و اقلیم منطقه در ارتباط می‌باشد. Xu و همکاران (Xu et al., 2022) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که بارندگی سبب افزایش فراوانی قارچ‌های میکوریز می‌شود و افزایش دما سبب تغییر ترکیب جوامع گیاهی می‌شود. همچنین مطالعه آنان نشان داد که جوامع قارچ میکوریز ممکن است بیش از حد انتظار به گرم شدن هوا حساس باشند. وانگ و همکاران (Wang et al., 2022) اثر جهت بر تنوع قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که جهت بر تنوع قارچ‌ها اثر نمی‌گذارد اما در جهت‌های شمالی با تابش کمتر، رطوبت بالاتر و مواد مغذی بیشتر عملکرد قارچ‌های میکوریز افزایش می‌یابد و در جهت‌های جنوبی با تابش بیشتر، رطوبت و مواد مغذی کمتر خاک تکثیر قارچ افزایش می‌یابد.

با توجه به محدودیت مطالعات انجام شده در خصوص شناسایی قارچ‌های میکوریزی در شرایط اقلیمی و توپوگرافی مختلف، مطالعه حاضر با هدف شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در مناطقی با شرایط محیطی مختلف و در دو جهت شمال و جنوب در رویشگاه‌های مختلف بلوط ایرانی در استان ایلام انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

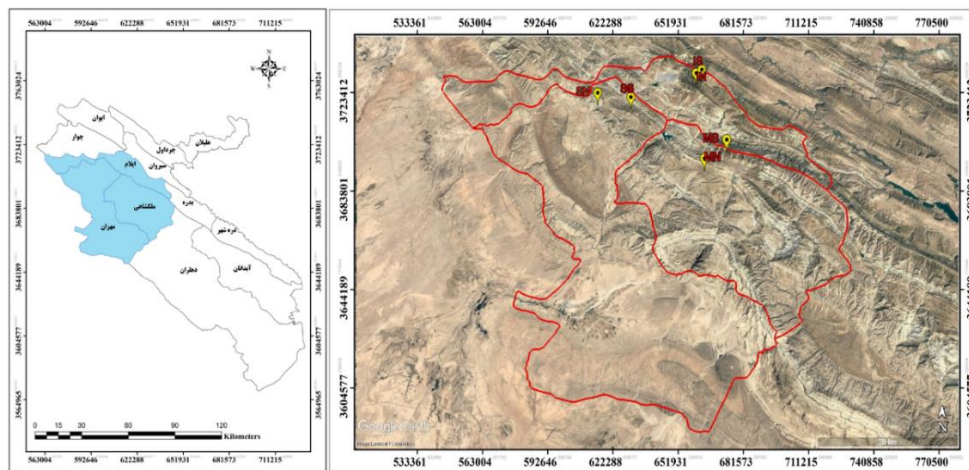
تحقیق حاضر در رویشگاه‌های بلوط ایرانی در استان ایلام انجام گرفت. به‌منظور انجام این تحقیق سه منطقه با شرایط محیطی و میکرواقلیم متفاوت شامل شهرستان‌های ایلام (رویشگاه ارغوان) با طول جغرافیایی $42^{\circ}47'27''$ تا $46^{\circ}09'14''$ و عرض جغرافیایی $31^{\circ}31'09''$ تا $33^{\circ}39'15''$ با میانگین بارندگی $766/24$ میلی‌متر، میانگین دمای $13/95$ درجه سانتی‌گراد و اقلیم کمی خشک، شهرستان ملکشاهی (رویشگاه کبیرکوه) با طول جغرافیایی $58/147''$ تا $46^{\circ}29'58''$ و عرض جغرافیایی $33^{\circ}39'59''$ تا $33^{\circ}22'39''$ با میانگین بارندگی $710/02$ میلی‌متر، میانگین دمای $15/34$ درجه سانتی‌گراد و

باران و دما در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شد و اطلاعات هواشناسی مربوط به نقاط نمونه‌برداری استخراج و با استفاده از فرمول دمارتن ($IDM = P/(T+10)$) اقلیم مناطق مورد مطالعه به‌دست آمد (Pellicone et al., 2019). در رویشگاه‌های مورد مطالعه، درختان جنگلی چون بلوط و بنه غالب بودند. گونه‌های علفی زیر اشکوب در مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

اقلیم نسبتاً خشک و شهرستان مهران (رویشگاه شنه‌چیر) با طول جغرافیایی $32^{\circ} 32' 51''$ تا $36^{\circ} 19' 41''$ و عرض جغرافیایی $33^{\circ} 31' 33''$ تا $33^{\circ} 22' 6''$ میانگین بارندگی $614/25$ میلی‌متر، میانگین دمای $17/70$ درجه سانتی‌گراد و اقلیم نیمه‌خشک انتخاب شدند. به‌منظور تعیین اقلیم در مناطق مورد مطالعه اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی از اداره هواشناسی ایلام تهیه شد و سپس، نقشه‌های جدول ۱- گونه‌های علفی شناسایی شده در مناطق مورد مطالعه

Table 1. Grass species identified in the studied areas

خانواده	شنه چیر	ملکشاهی	ایلام	خانواده	شنه چیر	ملکشاهی	ایلام	خانواده	شنه چیر	ملکشاهی	ایلام
جنس و گونه	(r)	(hi)	(m)	جنس و گونه	(r)	(hi)	(m)	جنس و گونه	(r)	(hi)	(m)
Family	Shanachi	Maleksha	Ila	Family	Shanachi	Maleksha	Ila	Family	Shanachi	Maleksha	Ila
Genus and Species	(r)	(hi)	(m)	Genus and Species	(r)	(hi)	(m)	Genus and Species	(r)	(hi)	(m)
Amaranthaceae				<i>Echinops kotschyi</i>	*			<i>Onobrychis cornuta</i>	*		
<i>Noaea mucronata</i>	*			<i>Gundelia tournefortii</i>	*	*		<i>Sophora alopecuroides</i>			*
Apiaceae				<i>Jurinea carduiiformis</i>	*	*		<i>Trifolium campestre</i>	*		
<i>Erengium billardieri</i>	*			<i>Picnoman acarna</i>	*	*	*	<i>Trifolium lappaceum</i>	*		
<i>Lagoecia cuminooides</i>	*			<i>Scariola orientalis</i>	*			<i>Trifolium repens</i>	*		
Asparagaceae				<i>Senecio vernalis</i>	*		*	<i>Trifolium resupinatum</i>	*	*	
<i>Bellevalia glauca</i>	*	*	*	<i>Taraxacum montanum</i>	*	*	*	<i>Vicia peregrina</i>		*	*
<i>Muscari neglectum</i>		*		<i>Tragopogon longirostris</i>		*		Papaveraceae			
Astraceae				Euphorbiaceae				<i>Papaver dubium</i>	*		
<i>Onopordum heteracantha</i>	*	*	*	<i>Euphorbia aleppica</i>	*	*	*	Plantaginaceae			
<i>Scorzonera calycilata</i>		*		<i>Euphorbia cheiradenia</i>			*	<i>Veronica orientalis</i>	*		
Berberidaceae				<i>Euphorbia condylocarpa</i>	*			Plumbaginaceae			
<i>Bongardia chrysonomum</i>		*		<i>Euphorbia denticulata</i>		*	*	<i>Acantholimon blakeckii</i>	*	*	*
Boraginaceae				<i>Euphorbia granulata</i>			*	Poaceae			
<i>Alyssum linifolium</i>	*	*	*	<i>Euphorbia helioscopia</i>	*			<i>Aegilops crassa</i>	*	*	
<i>Alyssum marginatum</i>			*	<i>Euphorbia macrostegia</i>			*	<i>Aegilops tauschii</i>	*		*
<i>Anchusa italica</i>	*			Geraniaceae				<i>Aegilops umbellulata</i>	*		*
<i>Lepidium draba</i>	*			<i>Erodium gruinum</i>	*	*	*	<i>Avena wiestii</i>	*	*	*
<i>Crambe orientalis</i>	*	*		<i>Erodium oxymylnichum</i>	*			<i>Boissiera squarrosa</i>	*	*	*
<i>Myosotis refracta</i>	*			<i>Geranium tuberosum</i>	*	*	*	<i>Bromus danthoniae</i>	*	*	*
<i>Onosma bulbotrichum</i>		*	*	Iridaceae				<i>Bromus sericeus</i>	*		*
<i>Onosma microcarpum</i>	*			<i>Crocus haussknechtii</i>	*	*		<i>Bromus sterilis</i>	*	*	*
<i>Rochelia disperma</i>			*	Lamiaceae				<i>Bromus tectorum</i>	*	*	*
<i>Sinapis arvensis</i>	*	*		<i>Marrubium astracanicum</i>			*	<i>Bromus tomentellus</i>	*	*	*
Caprifoliaceae				<i>Phlomis olivieri</i>			*	<i>Dactylis glomerata</i>		*	
<i>Scabiosa leucactis</i>	*			<i>Phlomis persica</i>	*	*	*	<i>Echinaria capitata</i>	*		
<i>Valerianella vesicaria</i>	*	*	*	<i>Stachys inflata</i>	*	*		<i>Festuca ovina</i>		*	
Caryophyllaceae				<i>Teucrium polium</i>	*			<i>Heteranthelium piliferum</i>	*	*	
<i>Minuartia lineata</i>	*			<i>Ziziphora tenuior</i>	*	*	*	<i>Hordeum bulbosum</i>		*	*
<i>Minuartia meyeri</i>	*	*	*	Leguminosae				<i>Lolium rigidum</i>	*		
<i>Vaccaria grandiflora</i>	*	*		<i>Astragalus compactus</i>		*		<i>Rostraria phleoides</i>	*	*	
Compositae				<i>Astragalus curviflorus</i>	*	*	*	<i>Poa bulbosa</i>	*	*	*
<i>Achillia conferta</i>	*			<i>Tragacantha faciculifolius</i>			*	<i>Poa pratensis</i>			*
<i>Anthemis haussknechtii</i>	*	*		<i>Astragalus gossypinus</i>		*		<i>Stipa hohenackeriana</i>	*	*	
<i>Pallenis pygmaeus</i>	*			<i>Astragalus sieberi</i>	*			<i>Taeniatherum crinitum</i>	*	*	*
<i>Carthamus oxyacantha</i>	*			<i>Medicago monantha</i>	*	*		<i>Hordeum murinum</i>	*	*	*
<i>Centaurea bruguierana</i>	*			<i>Medicago lupulina</i>	*	*	*	<i>Sanguisorba minor</i>	*		*
<i>Centaurea intricata</i>	*	*		<i>Medicago orbicularis</i>	*			Rubiaceae			
<i>Cirsium congestum</i>	*	*	*	<i>Medicago radiata</i>	*		*	<i>Galium aparine</i>	*		*
<i>Cirsium spectabile</i>	*			<i>Medicago sativa</i>	*	*		Scrophulariaceae			
<i>Cousinia haussknechtii</i>	*	*	*	<i>Melilotus officinalis</i>	*			<i>Verbascum kurficum</i>			*
<i>Cymbolaena griffithii</i>	*	*		<i>Onobrychis caput-gali</i>	*						



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان ایلام: SS جهت جنوبی شنه چپر، SN جهت شمالی شنه چپر، MS جهت جنوبی ملکشاهی، MN جهت شمالی ملکشاهی، IS جهت جنوبی ایلام، IN جهت شمالی ایلام
Figure 1. Location of the study area in Ilam province: SS -SN, MS- MN, IS - IN -indicate the south and north aspect in Shanachir, Malekshahi and Ilam habitats, respectively

گرفت. تعیین درصد مشابهت گونه‌های قارچی در مناطق و جهت‌های جغرافیایی مختلف در هر رویشگاه و ترسیم نمودار وون در نرم‌افزار R-studio و با استفاده از پکیج ggven انجام گرفت. به منظور ارزیابی اثر منطقه و جهت بر تراکم قارچ از آنالیز تجزیه واریانس دو طرفه در قالب از مدل خطی عمومی (GLM) و سپس آزمون دانکن (برای اثر منطقه) و t-student (برای جهت شیب) استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تحقیق حاضر در مجموع ۳۹ گونه قارچی متعلق به ۱۱ جنس شناسایی شد. از بین گونه‌های شناسایی شده ۷ گونه از جنس *Acaulospora*، ۶ گونه از جنس‌های *Funneliformis* و *Diversispora*، ۴ گونه از جنس *Rhizophagus*، ۳ گونه از جنس‌های *Septoglomus* و *Claroideoglomus* و از جنس‌های *Archaeospora*، *Dominikia*، *Enterophospora* و *Pacispora* تنها ۱ گونه قارچی وجود داشت. میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 2017) قارچ‌های همزیست با گونه‌های گیاهی در منطقه حفاظت شده مانشت و قارلرنگ در استان ایلام را شناسایی کردند و ۳۵ گونه قارچی متعلق به ۱۰ جنس را شناسایی کردند. بررسی‌های انجام شده براساس تفکیک رویشگاه برای شناسایی قارچ‌های میکوریز نشان داد که در رویشگاه شنه‌چپر ۳۴ گونه قارچی متعلق به ۱۰ جنس شناسایی شد. از این تعداد، ۷ گونه از جنس *Acaulospora*، ۶ گونه از جنس‌های *Diversispora* و *Funneliformis*، ۳ گونه از جنس‌های *Claroideoglomus*، *Septoglomus*، *Rhizophagus*، *Glomus* و ۱ گونه از جنس‌های *Archaeospora*، *Enterophospora* و *Pacispora* شناسایی شدند. گونه قارچی *G. nanolumen* با فراوانی ۱۹/۲۶ و *A. lacunosa* با فراوانی ۱۴/۴ درصد بالاترین فراوانی و گونه‌های *F. verruculosus* و *C. walker* با فراوانی ۰/۰۴، ۰/۰۴ و ۰/۰۸ درصد کمترین فراوانی را در رویشگاه شنه‌چپر داشتند (جدول ۲).

نمونه‌برداری از خاک

به منظور نمونه‌برداری، در هر رویشگاه از ۲۰ قطعه نمونه تصادفی به ابعاد ۲۰×۲۰ مترمربعی استفاده شد. برای کمی کردن اثرات جهت شیب در هر رویشگاه، نمونه‌برداری در دو جهت غالب (شمالی و جنوبی) انجام شد (در هر جهت ۱۰ نمونه). در مجموع ۶۰ قطعه نمونه برای هر سه رویشگاه و در دو جهت شمالی و جنوبی بر اساس طرح نمونه‌برداری کاملاً تصادفی (Completely randomized design) برداشت شد. یک نمونه خاک ترکیبی از چهار گوشه و مرکز هر قطعه نمونه از عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متر خاک در فصل بهار و با استفاده از بیلچه برداشت (Bouamri et al., 2006) و به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های خاک در آزمایشگاه به منظور شناسایی قارچ‌های میکوریزی هوا خشک شدند.

شناسایی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و آنالیز داده‌ها

با استفاده از روش الک مرطوب و سانتریفیوژ کردن با ساکارز اقدام به استخراج اسپور قارچ شد (Manimegalai et al., 2011). لازم به ذکر است که از دو گرم خاک خشک برای استخراج استفاده انجام شد. شناسایی قارچ‌ها براساس اندازه‌گیری ویژگی‌های مورپخت‌شناسی نظیر شکل، رنگ، اندازه، تعداد لایه و شکل ریشه انجام شد (Schenck and Perez, 1990). شناسایی گونه‌های قارچ میکوریز با استفاده از کلید شناسایی Schenck و Perez (Schenck and Perez, 1989) و سایت‌های اینترنتی معتبر: <http://www.amf-phylogeny.com> و invam.caf.wvu.edu انجام گرفت. خصوصیات گونه‌های قارچی شناسایی شده در جدول ۳ ارائه شده است. درصد فراوانی نسبی (Fi=(Ni/N)*100) قارچ‌های میکوریز آربوسکولار با استفاده از درصد اسپورهای متعلق به یک گونه قارچی محاسبه گردید. Fi: درصد فراوانی نسبی، Ni: تعداد افراد در گونه أم؛ N: تعداد کل افراد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار R-studio و Exel 2019 انجام گرفت. فراوانی گونه‌های قارچی و جنس قارچ در مناطق مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام

نیز تفاوت در فراوانی و نوع قارچ‌ها در رویشگاه‌هایی با شرایط محیطی مختلف را نشان داد که اثرپذیری شرایط محیطی متفاوت بر قارچ‌ها را اثبات کرد.

براساس نتیجه تحقیق حاضر شناسایی ۳۹ گونه قارچ میکوریز در تمام مناطق مورد مطالعه و در دو جهت شمال و جنوب، نشان‌دهنده تنوع بالا در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. همچنین براساس نتایج فراوانی هر گونه قارچی، پراکنش و تعداد گونه‌های قارچی علاوه بر مناطق مختلف، در جهت‌های شمالی و جنوبی متفاوت بود. به‌گونه‌ای که در رویشگاه شنه‌چیر در جهت جنوبی رویشگاه ۳۳ گونه متعلق به ۱۰ جنس و در جهت شمالی آن ۳۰ گونه متعلق به ۱۰ جنس، در جهت جنوبی ملکشاهی ۳۶ گونه متعلق به ۱۱ جنس و در جهت شمالی ۳۰ گونه متعلق به ۱۰ جنس و در جهت جنوبی ایلام ۳۳ گونه متعلق به ۱۱ جنس و در جهت شمالی آن ۲۹ گونه قارچ میکوریز متعلق به ۹ جنس شناسایی شد (جدول ۳).

براساس این نتایج تعداد گونه‌های قارچی شناسایی شده در مناطقی با موقعیت شیب جنوبی بیشتر از شیب شمالی است. مطالعات سایر محققین نیز حاکی از تفاوت فراوانی گونه‌های قارچی در مناطق و جهت‌های مختلف می‌باشد. اسلام و همکاران (Islam et al., 2019) در مطالعه‌ای به بررسی جوامع قارچی در چهار منطقه با اقلیم‌های متفاوت از نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب پرداختند و ۸۲ واحد تاکسونومیک عملیاتی متعلق به ۸ جنس قارچ میکوریز آربوسکولار را شناسایی کردند و دریافتند که با تغییر شرایط آب و هوایی، فراوانی نسبی قارچ‌های میکوریز به‌طور قابل‌توجهی تغییر می‌کند. لیو و همکاران (Liu et al., 2017) نیز در مطالعه‌ای مقایسه جوامع قارچ میکوریز آربوسکولار بین دامنه‌های آفتابی و سایه‌دار انجام دادند و براساس نتایج آنان ترکیب جامعه قارچ میکوریز آربوسکولار به‌طور قابل‌توجهی بین موقعیت‌های شیب متفاوت بود، و دامنه‌های آفتابی تنوع و غنای قارچ میکوریزی و همچنین تراکم اسپور، کل کلونیزاسیون ریشه، فراوانی آربوسکول، فراوانی وزیکول، و کلونیزاسیون هیف به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از دامنه‌های سایه‌دار بود.

در رویشگاه ملکشاهی ۳۷ گونه قارچ میکوریز متعلق به ۱۱ جنس شناسایی شد. از این تعداد، ۷ گونه متعلق به جنس *Acaulospora*، ۶ گونه از جنس *Glomus*، ۵ گونه از جنس‌های *Diversispora* و *Funneliformis*، ۴ گونه از جنس *Rhizophagus*، ۳ گونه از جنس‌های *Claroideoglomus* و *Septogloimus* و ۱ گونه از جنس‌های *Archaeospora*، *Dominikia*، *Enterophospora* و *Pacispora* شناسایی شدند. گونه‌های قارچی *G. nanolumen* با فراوانی ۱۵/۲ درصد، *A. lacunosa* با فراوانی ۱۰/۲ و *A. gedanensis* با فراوانی ۱۰/۱ بالاترین فراوانی و گونه‌های *C. A. capsicula*، *F. verruculosus*، *D. spurca*، *D. arenaria walker* و *R. clarus* و *Pac. Scintillans*، *G. pustulatum* با ۰/۱ درصد کمترین فراوانی را در رویشگاه ملکشاهی داشتند (جدول ۲).

در رویشگاه ایلام ۳۶ گونه قارچی متعلق به ۱۱ جنس شناسایی شد. از این تعداد، ۷ گونه از جنس *Acaulospora*، ۶ گونه از جنس *Funneliformis*، ۵ گونه از جنس‌های *Diversispora* و *Glomus*، ۴ گونه از جنس *Rhizophagus*، ۳ گونه از جنس *Septogloimus*، ۲ گونه از جنس *Claroideoglomus* و ۱ گونه از جنس‌های *Archaeospora*، *Dominikia*، *Enterophospora* و *Pacispora* شناسایی شدند. گونه‌های قارچی *A. lacunosa* با فراوانی ۱۹/۷۸ و *G. nanolumen* با فراوانی ۱۷/۶۷ درصد بالاترین فراوانی و گونه‌های *G. pustulatum*، *Dom. Minuta*، *D. gibbosa* و *Pac. Scintillans* با ۰/۰۴ درصد کمترین فراوانی را در رویشگاه ایلام داشتند (جدول ۲). از آنجایی‌که مهمترین فاکتورهای محیطی مؤثر بر رابطه همزیستی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار شامل خاک، نوع گیاه میزبان و شرایط اقلیمی می‌باشند (Bainard et al., 2011; Dumbrell et al., 2011)، که بر نوع و فراوانی قارچ‌های میکوریز آربوسکولار موجود در نواحی مختلف تأثیرگذار هستند (Aminian Nasab et al., 2021). در این راستا مطالعه حاضر

جدول ۲- فراوانی نسبی قارچ میکوریز آربوسکولار در جهت و رویشگاه‌های مختلف

Table 2. The relative abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in different Slope Aspects and habitats

Genera	Species	فراوانی نسبی (%)								
		Relative abundance (%)								
		شبه چپ (Shanachir)			ملکشاهی (Malekshahi)			ایلام (Ilam)		
جنوبی south	شمالی north	کل Total	جنوبی south	شمالی north	کل Total	جنوبی south	شمالی north	کل Total		
Acaulospora	<i>A. capsicula</i>	2.70	3.23	2.96	0.13	-	0.1	0.77	1.04	0.90
	<i>A. gedanensis</i>	4.38	5.91	5.12	10.34	9.72	10.1	5.05	3.31	4.23
	<i>A. koskei</i>	0.88	0.79	0.83	0.46	0.77	0.6	0.60	0.66	0.63
	<i>A. lacunosa</i>	14.68	13.56	14.14	11.07	9.10	10.2	18.84	20.83	19.78
	<i>A. mellea</i>	0.44	0.87	0.64	0.46	0.77	0.6	0.26	1.42	0.81
Archaeospora	<i>A. paulinae</i>	5.92	5.05	5.50	3.91	2.24	3.1	2.23	2.46	2.34
	<i>A. thomii</i>	1.83	2.44	2.12	2.58	3.32	2.9	0.94	1.99	1.44
	<i>Ar. schenckii</i>	0.15	0.08	0.11	0.13	0.93	0.5	0.17	0.19	0.18
Claroideoglossum	<i>C. etunicatum</i>	4.82	6.23	5.50	3.71	1.54	2.7	3.34	3.98	3.64
	<i>C. lamellosum</i>	3.73	3.39	3.56	2.52	1.47	2.0	1.11	1.61	1.35
	<i>C. walker</i>	0.07	-	0.04	0.20	-	0.1	-	-	-
	<i>D. arenaria</i>	0.07	0.63	0.34	0.13	0.15	0.1	-	1.14	0.54
	<i>D. aurantia</i>	2.99	2.92	2.96	5.04	2.24	3.7	5.05	4.17	4.63
Diversispora	<i>D. eburnean</i>	0.44	0.39	0.42	0.40	2.08	1.2	1.88	0.19	1.08
	<i>D. gibbosa</i>	0.15	0.47	0.30	-	-	-	0.09	-	0.04
	<i>D. spurca</i>	0.29	0.16	0.23	-	0.31	0.1	-	-	-
Dominikia	<i>D. versiformis</i>	2.70	3.15	2.92	6.96	3.63	5.4	2.57	4.17	3.33
	<i>Dom. Minuta</i>	-	-	-	0.46	0.85	0.6	0.09	-	0.04
Entrophospora	<i>E. infrequens</i>	1.31	2.52	1.90	0.93	1.39	1.1	0.51	4.73	2.52
	<i>F. badius</i>	1.02	0.79	0.91	2.78	2.78	2.8	4.28	1.52	2.97
	<i>F. caledonius</i>	-	0.16	0.08	-	-	-	0.60	0.57	0.58
Funneliformis	<i>F. coronatus</i>	5.62	4.73	5.20	3.91	8.18	5.9	1.54	3.13	2.29
	<i>F. geosporus</i>	0.15	0.39	0.27	0.80	-	0.4	1.63	0.09	0.90
	<i>F. mosseae</i>	3.29	2.29	2.81	2.05	2.47	2.2	1.97	3.03	2.47
	<i>F. verruculosus</i>	0.07	-	0.04	0.07	0.23	0.1	-	0.38	0.18
	<i>G. fuegianum</i>	-	-	-	0.99	0.08	0.6	0.26	-	0.13
	<i>G. nanolumen</i>	20.60	17.82	19.26	15.51	14.74	15.2	20.12	14.96	17.67
	<i>G. macrocarpum</i>	-	-	-	0.27	0.23	0.2	-	-	-
Glomus	<i>G. microcarpum</i>	0.22	-	0.11	0.60	3.16	1.8	0.51	-	0.27
	<i>G. pustulatum</i>	-	-	-	0.13	-	0.1	0.09	-	0.04
	<i>Glomus sp</i>	7.38	8.75	8.04	7.42	8.64	8.0	9.08	10.23	9.62
Pacispora	<i>Pac. scintillans</i>	1.53	1.58	1.55	0.13	-	0.1	0.09	-	0.04
	<i>R. aggregatus</i>	0.29	0.16	0.23	0.46	0.39	0.4	0.94	1.23	1.08
Rhizophagus	<i>R. clarus</i>	-	-	-	0.20	-	0.1	-	0.09	0.04
	<i>R. fasciculatus</i>	1.24	0.71	0.99	2.05	0.69	1.4	0.86	0.28	0.58
Septoglossum	<i>R. intraradices</i>	3.29	2.05	2.69	1.79	1.00	1.4	0.60	1.14	0.85
	<i>S. constrictum</i>	6.94	8.36	7.62	8.55	10.65	9.5	12.41	10.89	11.69
	<i>S. descripticola</i>	0.44	0.39	0.42	2.52	6.25	4.2	1.46	0.57	1.03
	<i>S. xanthium</i>	0.37	-	0.19	0.33	-	0.2	0.09	-	0.04
تعداد قارچ	39	33	30	34	36	30	37	33	29	36

جدول ۳- خصوصیات مورفولوژی گونه‌های قارچی

Table 3. Morphology Characteristics of fungal species

میانگین ضخامت دیواره هیف (میکرومتر) Hyphal wall thickness (µm)	لایه هیف Hyphal layer	شکل هیف hyphae shape	لایه‌های اسپور Spore layers	اندازه اسپور (میکرومتر) Spore size (µm)	رنگ اسپور Spore color	نام گونه‌های قارچی
-	-	-	3	(180) 279 (380)	نارنجی قهوه‌ای تا قرمز قهوه‌ای Orange brown to red brown	<i>A. capsicula</i>
-	-	-	2	(55) 65 (75)	زرد رنگ پریده تا زرد لیمویی pale yellow to lemon yellow	<i>A. gedanensis</i>
-	-	-	3	(120) 187 (240)	زرد-قهوه ای کم رنگ تا نارنجی-قهوه ای تیره، اکثراً قهوه ای کم رنگ	<i>A. koskei</i>
-	-	-	2	(80) 120 (130)	Pale yellow-brown to dark orange-brown, most pale orange-brown	<i>A. lacunosa</i>
-	-	-	3	(90) 120 (140)	زرد تا زرد مایل به قرمز، نارنجی قهوه‌ای، نارنجی قهوه ای تیره	<i>A. mellea</i>
-	-	-	3	(60) 72 (95)	زرد رنگ پریده تا نارنجی، نارنجی قهوه‌ای کم رنگ تا قهوه‌ای نارنجی تیره	<i>A. paulinae</i>
-	-	-	3	(150) 185 (240)	شیشه‌ای تا زرد رنگ پریده Hyaline to pale yellow	<i>A. thomii</i>
-	-	-	3	50 (64) (80)	نارنجی مایل به قهوه‌ای Brownish orange	<i>Ar. schenckii</i>
2.2	2	راست یا خمیده، استوانه‌ای اندکی نامنظم Straight or curved, slightly irregular cylindrical	2	(75) 95 (135)	شیشه‌ای Completely hyaline	<i>C. etunicatum</i>
5.1	3	راست یا کج، استوانه‌ای یا اندکی نامنظم، گاهی استوانه، ندرتاً دارای فرورفتگی Straight or crooked, cylindrical or slightly irregular, sometimes cylindrical, rarely concave	3	(60) 100 (140)	زرد رنگ پریده تا زرد Pale yellow to yellow	<i>C. lamellosum</i>
2.1	2	راست یا کج، غالباً نامنظم، ندرتاً قیفی شکل یا دارای فرورفتگی Straight or crooked, often irregular, rarely funnel-shaped or concave	3	(55) 81 (95)	کرم تا زرد کم رنگ cream to pale yellow	<i>C. walker</i>
1.1	1-3	راست یا کج، استوانه‌ای، ندرتاً دارای فرورفتگی Straight or crooked, cylindrical, rarely concave	3	(55) 97 (120)	سفید تا زرد رنگ پریده White to pale yellow	<i>D. arenaria</i>
1.1	1-3	راست یا کج، استوانه‌ای اندکی نامنظم، ندرتاً دارای فرورفتگی Straight or crooked, slightly irregular cylindrical, rarely concave	3	(70) 98 (120)	خاکستری، زرد، قهوه‌ای Gray, yellow, brown	<i>D. aurantia</i>

Continued Table 3.

ادامه جدول ۳-

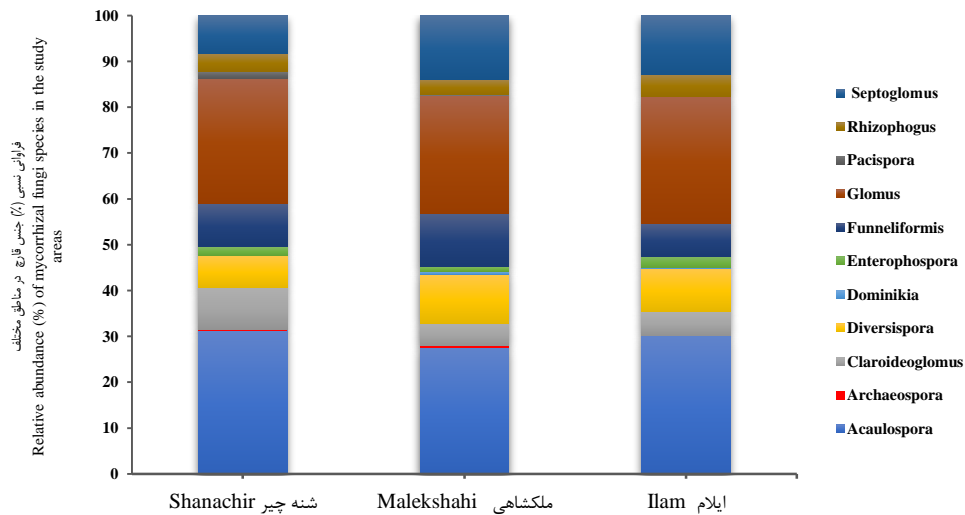
1.6	2	راست یا کج، استوانه‌ای یا اندکی نامنظم، ندرتا دارای فرورفتگی Straight or crooked, cylindrical or slightly irregular, rarely concave	2	(92) 108 (146)	سفید روشن تا کرم کم‌رنگ Bright white to pale cream	<i>D. eburnea</i>
1.6	3	راست یا کج، استوانه‌ای گاهی نامنظم Straight or crooked, sometimes irregular cylindrical	4	(70) 93-115 (140)	شیشه‌ای تا زرد روشن hyaline to light yellow	<i>D. gibbosa</i>
1	2	راست یا کج، استوانه‌ای Straight or crooked, cylindrical	3	(75) 86 (110)	شیشه‌ای تا زرد رنگ پریده Subhyaline to pale yellow brown	<i>D. spurca</i>
1.8	2	راست یا کج، استوانه‌ای اندکی یا نامنظم Straight or crooked, slightly cylindrical or irregular	2	(80) 106 (150)	زرد رنگ پریده تا زرد تیره Pale yellow to dark yellow	<i>D. versiformis</i>
1	2	استوانه‌ای اندکی نامنظم، ندرتا دارای فرورفتگی slightly irregular cylinder, rarely with a depression	2	(18) 39 (65)	شیشه‌ای hyaline	<i>Dom. minuta</i>
-	-	-	4	(95) 135 (175)	نارنجی قهوه‌ای تا نارنجی قهوه‌ای تیره، بیشتر به سمت نارنجی تیره Golden to Light orange-brown, most toward the darker orange.	<i>E. infrequens</i>
4.4	2	راست یا کج، استوانه‌ای اندکی نامنظم Straight or crooked, slightly irregular cylinder	3	(35) 55 (65)	نارنجی مایل به قهوه‌ای یا قهوه‌ای مایل به قرمز Orange-brown or brown red	<i>F. badius</i>
19	4	راست یا کج، استوانه‌ای و ندرتا قیفی یا دارای فرورفتگی Straight or crooked, cylindrical and rarely funnel or concave	4	90 (224) (370)	قهوه‌ای Pale orange-yellow to yellow-brown	<i>F. caledonius</i>
2.6	2	قیفی شکل Funnel shaped	2	(80) 160 (220)	نارنجی تا قهوه‌ای تا نارنجی قهوه‌ای تیره Orange to brown to dark brown orange	<i>F. coronatus</i>
4.5	2	صاف یا کج، قیفی تا استوانه‌ای Straight or crooked, funnel to cylindrical	3	(120) 176 (240)	زرد نارنجی Yellow orange	<i>F. geosporus</i>
2.4	3	قیفی شکل Funnel shaped	3	(80) 185 (280)	کاهی تا قهوه‌ای تیره نارنجی Straw to dark orange-brown	<i>F. mosseae</i>
5.6	2	راست یا کج، قیفی تا تقریباً استوانه‌ای Straight or crooked, funnel to almost cylindrical	3	(100) 171 (240)	زرد تا نارنجی Yellow to orange	<i>F. verruculosus</i>
2.7	2	راست تا کج، قیفی شکل، گاهی استوانه‌ای دارای فرورفتگی Straight to crooked, funnel-shaped, sometimes cylindrical with a depression	2	(20) 47 (60)	زرد رنگ پریده تا قهوه‌ای متمایل به زرد Pale yellow to brown yellow	<i>G. fuegianum</i>
-	2	راست یا خمیده، قیفی شکل Straight or curved, funnel-shaped	2	(13) 36 (43)	شیشه‌ای، سفید مایل به زرد زرد رنگ پریده hyaline, white yellow, pale yellow	<i>G. nanolumen</i>
6.4	2	راست یا خمیده، استوانه‌ای به سمت نامنظم، ندرتا دارای فرورفتگی Straight or curved, cylindrical to irregular, rarely concave	2	(110) 115 (120)	زرد Yellow	<i>G. macrocarpum</i>
2.4	2	راست یا خمیده، استوانه‌ای به سمت نامنظمی Straight or curved, cylindrical to irregular	2	(23) 39 (55)	زرد تا زرد طلایی Yellow to golden yellow	<i>G. microcarpum</i>
1.3	2	راست یا کج، استوانه‌ای یا نامنظم Straight or crooked, cylindrical or irregular	3	(85) 100 (110)	نارنجی تیره dark orange	<i>G. pustulatum</i>
2.5	1-3	منقبض، استوانه‌ای Constricted, cylindrical	2-3	(35) 50 (75) 180-237	سفید سبز تا سبز شیمی White green to jade green	<i>Glomus</i> sp
1.5	1	راست یا اندکی خمیده، استوانه‌ای، گاهی اندکی دارای فرورفتگی Straight or slightly curved, cylindrical, sometimes slightly concave	3	(70) 107 (165)	شیشه‌ای تا نارنجی سفید Hyaline to orange-white	<i>Pac. scintillans</i>
14.3	3	متورم یا منقبض غالباً راست یا منحنی، استوانه‌ای تا نسبتاً قیفی، پایه اسپور ندرتاً Often straight or curved, cylindrical to moderately funnel-shaped. Spore base rarely swollen or contracted	3	(40) 86 (150)	زرد، نارنجی Yellow, orange	<i>R. aggregatus</i>
13.3	3	راست تا خمیده، استوانه‌ای تا قیفی شکل Straight to curved, cylindrical to funnel-shaped	3	(70) 106 (150)	سفید تا زرد قهوه‌ای یا زرد کم رنگ تا قهوه‌ای زرد کم رنگ white to yellow-brown, with many pale yellow to pale yellow brown	<i>R. clarus</i>
8.6	2	راست تا اندکی خمیده، استوانه‌ای Straight to slightly curved, cylindrical	3	50 (105) (130)	زرد رنگ پریده pale yellow	<i>R. fasciculatus</i>
10.2	3	راست یا خمیده، استوانه‌ای یا اندکی نامنظم، به ندرت دارای فرورفتگی Straight or curved, cylindrical or slightly irregular, rarely concave	3	(40) 93 (140)	شیشه‌ای، زرد رنگ پریده تا زرد Orange-brown to dark brown	<i>R. intraradices</i>
6	2	راست یا خمیده، معمولاً فرو رفتگی علامت دار به سمت پایه اسپور Straight or curved, usually a marked depression towards the base of the spore	2	(100) 160 (220)	نارنجی مایل به قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره Orange-brown to dark brown	<i>S. constrictum</i>
2.6	2	راست یا خمیده نامنظم، قیفی شکل ندرتاً فرورفته Straight or irregularly curved, funnel-shaped rarely depressed	2	(70) 89 (115)	زرد رنگ پریده تا نارنجی Pale yellow to orange	<i>S. deserticola</i>
5.6	3	راست یا کج، استوانه‌ای، ندرتا دارای فرورفتگی Straight or crooked, cylindrical, rarely concave	3	(23) 50 (70)	زرد روشن تا زرد تیره Light yellow to dark yellow	<i>S. xanthium</i>

داده شده است. نتایج سایر مطالعات در مناطق خشک در توافق با غالبیت جنس *Glomus* (Liu et al., 2017; Da Silva et al., 2014; Mirzaei et al., 2017) می‌باشد. میرزایی و همکاران (2017) در بررسی قارچ‌های همزیست با گونه‌های گیاهی در منطقه حفاظت شده مانشت و به این نتیجه رسیدند که جنس *Glomus* بیشترین فراوانی را در منطقه مورد مطالعه دارد. جنس *Glomus* به‌عنوان یکی از جنس‌های خانواده *Glomeraceae* از معروفترین قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

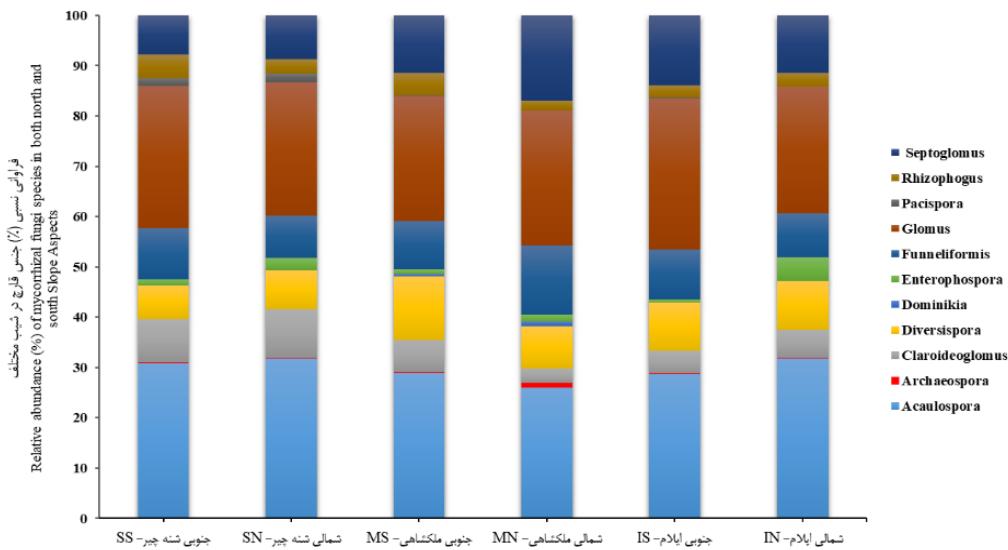
براساس نتایج حاصل از فراوانی نسبی جنس قارچ در مناطق مورد مطالعه، از بین ۱۱ جنس شناسایی شده، بیشترین فراوانی متعلق به دو جنس *Acaulospora* با ۳۱/۳۲، ۳۰/۱۳ و ۲۷/۵۶ به ترتیب در رویشگاه شنه چیر، ایلام و ملکشاهی و جنس *Glomus* با فراوانی نسبی، ۲۷/۷۴ در رویشگاه ایلام، ۲۷/۴۲ درصد در رویشگاه شنه چیر و فراوانی ۲۵/۸۱ درصد در رویشگاه ملکشاهی را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). در شکل ۳ نیز فراوانی جنس‌های قارچی در جهت‌های مختلف نشان

اکولوژیکی گسترده‌ای را نشان می‌دهد (Öpik et al., 2013)، و این توانایی را دارد که از طریق تکه‌های میسلیوم یا قطعات ریشه میکوریزه، همزیستی را انجام دهد، به طوری که زنده می‌ماند و به راحتی تکثیر می‌شود (Biermann and Linderman, 1983).

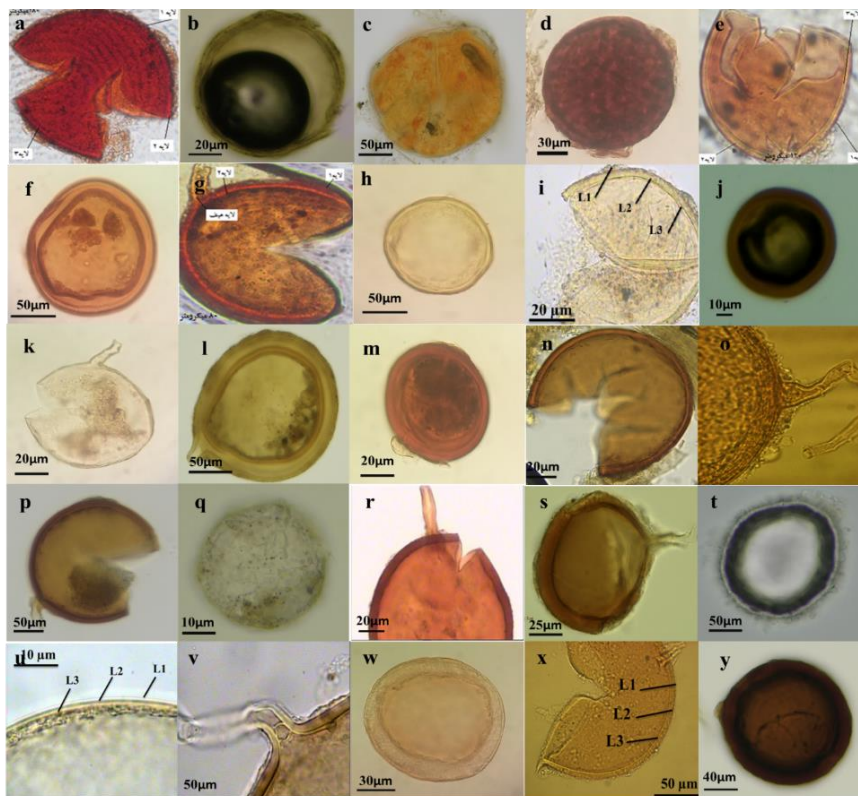
می‌باشد (Beyene et al., 1996) که دارای سازگاری بالا در شرایط خشک و شور می‌باشند (Chaudhry et al., 2013). با توجه به اقلیم مناطق مورد مطالعه (کمی خشک، نسبتاً خشک و نیمه‌خشک) غالبیت این جنس قابل توجه می‌باشد. جنس *Glomus* طیف وسیعی از تنوع ژنتیکی را شامل می‌شود و دامنه



شکل ۲- فراوانی نسبی (%) جنس‌های قارچ میکوریز در مناطق مورد مطالعه
Figure 2. Relative abundance (%) of mycorrhizal fungi species in the study areas



شکل ۳- فراوانی نسبی (%) جنس‌های قارچ میکوریز در دو جهت شمالی و جنوبی در رویشگاه‌های مورد مطالعه
Figure 3. Relative abundance (%) of mycorrhizal fungi species in both north and south Slope Aspects in the studied areas (SS -SN, MS- MN, IS - IN –indicate the south and north aspect in Shanachir, Malekshahi and Ilam habitats, respectivel.)



شکل ۲- تصاویر برخی از گونه‌های قارچی شناسایی شده

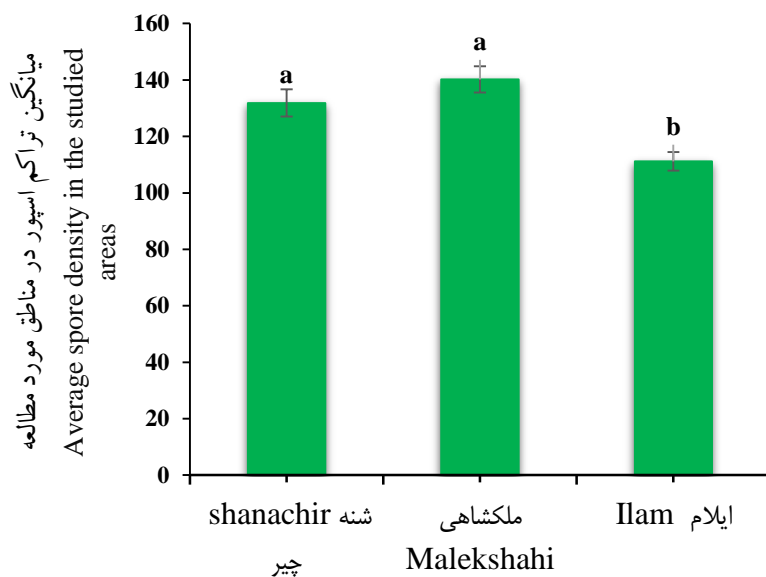
Figure 2. Images of some identified fungal species

a) *A. capsicula*, b) *A. gedanensis*, c) *A. koskei*, d) *A. lacunose*, e) *A. mellea*, f) *A. thomii*, g) *C. etunicatum*, h) *C. lamellosum*, i) *C. walker*, j) *D. arenaria*, k) *D. eburnea*, l) *E. infrequens*, m) *F. badius*, n) *F. geosporus*, o) *F. mosseae*, p) *F. verruculosus*, q) *G. nanolumen*, r) *G. macrocarpum*, s) *G. pustulatum*, t) *Glomus sp.*, u) *R. aggregatus*, v) *R. clarus*, w) *R. fasciculatus*, x) *R. intraradices*, y) *S. constrictum*

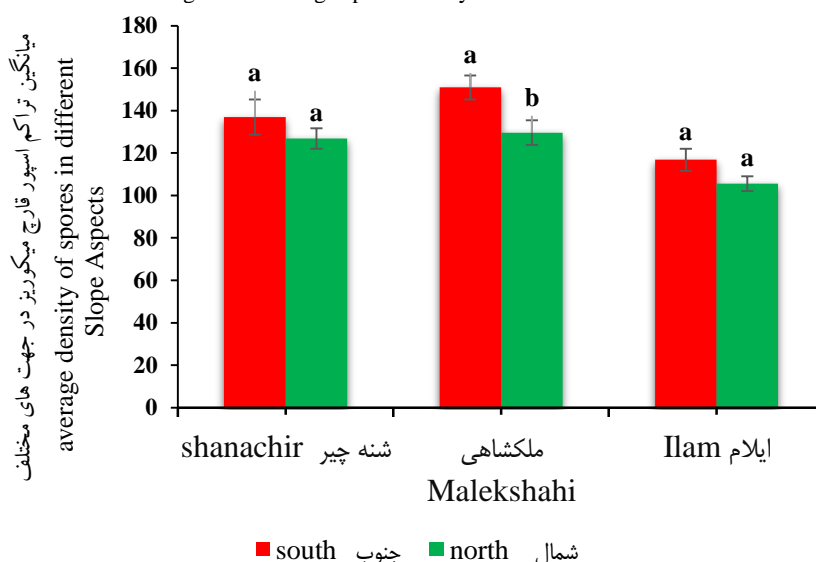
افزایش میزان خشکی و نامساعد شدن شرایط جوی (کمبود رطوبت، افزایش دما)، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار تحت تنش قرار گرفته و اسپورزایی می‌کنند. همچنین در جهت‌های جنوبی میزان نور دریافتی به کف جنگل بیشتر و حداکثر تبخیر و تعرق و حداقل رطوبت وجود دارد (Aazami et al., 2018). بنابراین در شرایط نامناسب از نظر رطوبت و مواد مغذی در شیب‌های جنوبی ممکن است گیاهان به‌منظور برآوردن نیازهای خود برای رشد، به قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بیشتر وابسته باشند که سبب ارتباط قوی‌تری بین قارچ‌های میکوریزی و گیاهان برای غلبه بر شرایط سخت و ایجاد همزیستی بیشتر می‌شود ولی در شیب‌های شمالی که دارای شرایط نسبتاً غنی از نظر آب و مواد مغذی می‌باشند، گیاهان ممکن است مواد مغذی کافی را از خاک بدون کمک قارچ‌های میکوریز جذب کنند که سبب کاهش تدریجی وابستگی گیاهان به قارچ‌های میکوریز می‌شود (Liu et al., 2017).

همچنین براساس نتایج میانگین تراکم اسپورها در دو گرم از نمونه‌های مورد بررسی در مناطق مختلف از ۱۱۱/۲۰ در ایلام تا ۱۴۰/۲۵ بود. همچنین در بین جهت‌ها از ۱۰۵/۶۰ در شمال ایلام تا ۱۵۰/۹۰ در جهت جنوبی ملکشاهی متغیر بود.

نتایج نشان داد که مناطق مختلف از نظر تراکم اسپور با هم اختلاف معنی‌داری ($p=0/000$) دارند. براساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین تراکم اسپور در رویشگاه ملکشاهی و شنه‌چیر وجود داشت (شکل ۴). همچنین نتایج مربوط به تراکم اسپور در جهت‌های مختلف در هر رویشگاه نشان داد که در رویشگاه ملکشاهی بین جهت شمالی و جنوبی از نظر تراکم اسپور اختلاف معنی‌داری ($p=0/017$) وجود دارد و بیشترین تراکم در جهت جنوبی مشاهده شد. در رویشگاه ایلام ($p=0/091$) و شنه‌چیر ($p=0/309$) گرچه اختلاف معنی‌داری بین جهت‌های شمالی و جنوبی وجود نداشت اما میزان تراکم اسپور در جهت جنوبی بیشتر بود (شکل ۵). امینیان نسب و همکاران (Aminian Nasab et al., 2021) نیز اثر اقلیم، خصوصیات خاک و گونه میزبان بر فعالیت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در ۹ منطقه از شهرستان رفسنجان پرداختند و نتایج آنان ارتباط بین جمعیت اسپور قارچ‌های میکوریز با نوع گونه میزبان و اقلیم منطقه را تأیید کرد و نشان داد که تراکم اسپور در مناطق با اقلیم نیمه‌خشک و کوهستانی بیشتر از مناطق با اقلیم خشک و دشت بود. در مطالعه حاضر نیز میزان تراکم اسپور در رویشگاه شنه‌چیر با اقلیم نیمه‌خشک و ملکشاهی با اقلیم نسبتاً خشک بیشتر از ایلام با اقلیم کمی خشک بود. با



شکل ۴- میانگین تراکم اسپور در مناطق مورد مطالعه
Figure 4. Average spore density in the studied areas



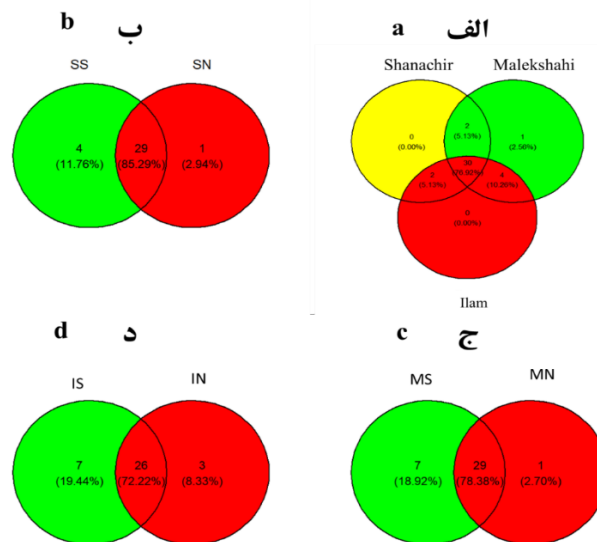
شکل ۵- میانگین تراکم اسپور در جهت‌های شیب مختلف در مناطق مورد مطالعه
Figure 5. The average density of spores in different Slope Aspects in the studied areas

مشترک (% ۵/۱۳)، در ملکشاهی و شنه‌چیر، دو گونه (% ۵/۱۳) مشترک در ایلام و شنه‌چیر و چهار گونه مشترک (% ۱۰/۲۶) در ایلام و ملکشاهی مشاهده شد (شکل ۶).
در تحقیق حاضر نمودار وون برای جهت‌های شمال و جنوب به تفکیک هر رویشگاه رسم شد. براساس نتایج در رویشگاه شنه چیر ۲۹ گونه مشترک (% ۸۵/۲۹) در جهت شمال و جنوب، ۴ گونه اندمیک (% ۱۱/۷۶) در جهت جنوبی و *G. microcarpum* *F. verruculosus* *C. walkeri* و *S. xanthium* و یک گونه اندمیک (% ۲/۹۴) در جهت شمال (*F. caledonius*) مشاهده شد. در رویشگاه ملکشاهی ۲۹ گونه مشترک (% ۷۸/۳۸) در دو جهت، هفت گونه اندمیک در جهت جنوبی (% ۱۸/۹۲) *C. walkeri* *A. capsicula*

براساس نتایج حاصل درصد تشابه گونه‌ها با استفاده از نمودار وون در سه رویشگاه مورد مطالعه، ۳۰ گونه (% ۷۶/۹۲) در بین مناطق مشترک بودند، اشتراک این گونه در مناطق مختلف می‌تواند به علت سازش پذیری بالا و پراکنش وسیع این گونه‌های قارچی باشد. نتایج ما نشان داد که برخی از گونه‌های قارچی شناسایی شده در تحقیق حاضر تنها در یک رویشگاه خاص یا در جهت خاصی قرار داشتند و گونه اندمیک آن رویشگاه بودند. براساس نتایج یک گونه اندمیک (% ۲/۵۶) (*G. macrocarpum*) در رویشگاه ملکشاهی وجود داشت که می‌تواند به دلایلی چون سازش‌پذیری کم گونه به شرایط محیطی در دیگر مناطق مورد مطالعه و حساسیت و عدم پایداری این گونه باشد (Jafarian et al., 2018). دو گونه

G. pustulatum *G. microcarpum* *G. fuegianum* و *S. xanthium* و *Pac. Scintillans* (۳ گونه اندمیک *R. clarus* *F. verruculosus*) در جهت شمالی (۸۱٪) و *D. arenaria* وجود داشت (شکل ۶).

Pac. Scintillans *G. pustulatum* *F. geosporus* و *R. clarus* و *S. xanthium* (۲٪) و یک گونه اندمیک (۲٪) در جهت شمالی (*D. spurca*) وجود داشت. در رویشگاه ایلام ۲۶ گونه مشترک (۷۲٪) در دو جهت، ۷ گونه اندمیک (*Dom. minuta* *D. gibbosa*) در جهت جنوبی (۱۹٪) وجود داشت.



شکل ۶- نمودار وون مناطق مختلف و جهت شمال و جنوب در هر رویشگاه: الف) نمودار وون سه رویشگاه (شنه‌چیر، ملکشاهی و ایلام)، ب) جهت جنوبی شنه‌چیر، SS جهت شمالی شنه‌چیر، پ) MS جهت جنوبی ملکشاهی، MN جهت شمالی ملکشاهی، ت) IS جهت جنوبی ایلام، د) IN جهت شمالی ایلام

Figure 6. Venn diagram of different habitats and north and south Slope Aspects in each habitat: a) Venn diagram of three habitats (Shanachir, Malekshahi and Ilam), SS -SN, MS- MN, IS - IN -indicate the south and north aspect in Shanachir, Malekshahi and Ilam habitats, respectively

بالاترین درصد فراوانی گونه قارچی را داشتند. بالاترین درصد فراوانی نسبی جنس قارچ نیز متعلق به دو جنس *Glomus* و *Acaulospora* بود. بین تراکم اسپور در مناطق مورد مطالعه نیز اختلاف معنی‌داری وجود داشت به گونه‌ای که تراکم اسپور قارچ در رویشگاه ملکشاهی و شنه‌چیر بیشتر از ایلام بود. همچنین تراکم اسپور در جهت جنوبی بیشتر از جهت شمالی بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که در مجموع ۳۹ گونه قارچ میکوریز آربوسکولار متعلق به ۱۱ جنس در سه رویشگاه مورد مطالعه و دو جهت شناسایی شد. به گونه‌ای که ۳۶ گونه قارچی متعلق به ۱۱ جنس گونه قارچی در رویشگاه ایلام، ۳۷ گونه قارچ میکوریز متعلق به ۱۱ جنس در ملکشاهی و ۳۴ گونه قارچی متعلق به ۱۰ جنس در شنه‌چیر شناسایی شد. در تمام مناطق و جهت‌ها دو گونه *A. lacunosa* و *G. nanolumen*

منابع

- Aazami, A., Hosseni, A., and Hoseianzadeh, J. (2018). "The effect of depth and aspect on soil moisture in dieback affected oak forests (Case study: Meleh siah Forest, Ilam Province). *Ecology of Iranian Forests*, 6(11), 41-50. (In Persian). :DIO 10.29252/ifej.6.11.41
- Alguacil, M., Torrecillas E., Lozano Z., & Roldán, A. (2015). "Arbuscular mycorrhizal fungi communities in a coral cay system (Morrocoy, Venezuela) and their relationships with environmental variables." *Science of the Total Environment*, 505, 805-813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.030>
- Aminian Nasab, P., Sedaqhati, E., Hosseini S., and Saberi Riseh, R. 2021. "Investigation of climate, Soil physico-chemical properties and host on Arbuscular mycorrhizal fungi activity in Rafsanian." *Biological control of pests and plant diseases*, 9(2), 216-197 (In Persian). DIO: 10.22059/JBIOC.2022.327964.308
- Augé, R. M. (2001). "Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis." *Mycorrhiza*, 11(1), 3-42.
- Bainard, L. D., M. Koch, A., & Gordon, A.M. (2011). "Influence of trees on the spatial structure of arbuscular mycorrhizal communities in a temperate tree-based intercropping system." *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.014>

- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini R., & Bianciotto. V. (2016). "Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes." *Frontiers in microbiology*, 6, 1559. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01559
- Beyene, S., Ricken, B., & Hoefner, W. (1996). "Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on dry matter yield, as well as P and K concentrations in maize (*Zea mays* L.) at increasing levels of P supply." *Angewandte Botanik* (Germany).
- Biermann, B. & Linderman, R. (1983). "Use of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots, intraradical vesicles and extraradical vesicles as inoculum." *New Phytologist*, 95(1), 97-105. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1983.tb03472.x>
- Bouamri, R., Dalpe, Y., Serrhini, M. N., & Bennani, A. (2006). "Arbuscular mycorrhizal fungi species associated with rhizosphere of *Phoenix dactylifera* L. in Morocco." *African Journal of Biotechnology*, 5(6), 510-516.
- Chaudhry, M. S., Saeed, M. & Nasim, F. (2013). "Soil chemical heterogeneity may affect the diversity of arbuscular-mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Tamarix aphylla* under arid climate." *Analele Stiintifice ale Universitatii Alexandru Ioan Cuza din Iasi. Sectiunea II A, Biologie Vegetala*, 59(2).
- Cheng, L., Booker, F.L., Tu, C., Burkey, K.O., Zhou, L., Shew, H.D., Ruffy, T.W. & Hu, S. (2012). "Arbuscular mycorrhizal fungi increase organic carbon decomposition under elevated CO₂." *Science*, 337(6098), 1084-1087. DOI: 10.1126/science.1224304
- Classen, A. T., Sundqvist, M.K., Henning, J.A., Newman, G.S., Moore, J.A.M., Cregger, M.A., Moorhead, L.C., & Patterson, C.M. (2015). "Direct and indirect effects of climate change on soil microbial and soil microbial-plant interactions: What lies ahead?" *Ecosphere*, 6(8), 1-21. DOI:10.1890/ES15-00217.1
- Da Silva, I. R., DeMello, C.M.A., Neto, R.A.F., da Silva, D.K.A., de Melo, A.L., Oehl, F. & Maia, L.C. (2014). "Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along an environmental gradient in the Brazilian semiarid." *Applied Soil Ecology*, 84, 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.07.008>
- De Oliveira, J. R. G., de Resende, M., de Melo, N.F., & Yano-Melo, A.M. (2017). "Symbiotic compatibility between arbuscular mycorrhizal fungi (autoctone or exotic) and three native species of the Caatinga in different phosphorus levels." *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 39(1), 59-69. <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v39i1.33486>
- Drigo, B., Kowalchuk, G.A., & van Veen, J.A. (2008). "Climate change goes underground: effects of elevated atmospheric CO₂ on microbial community structure and activities in the rhizosphere." *Biology and Fertility of Soils*, 44, 667-679. DOI:10.1007/s00374-008-0277-3
- Dumbrell, A. J., Ashton, P.D., Aziz, N., Feng, G., Nelson, M., Dytham, C., Fitter, A. H., & Helgason, T. (2011). "Distinct seasonal assemblages of arbuscular mycorrhizal fungi revealed by massively parallel pyrosequencing." *New Phytologist*, 190(3), 794-804. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03636.x
- Fazlollahi Mohammadi, M., Kooch, Y., & Said-Pullicino, D. (2016). "Slope gradient and shape effects on soil profiles in the northern mountainous forests of Iran." *Eurasian soil science*, 49, 1366-1374. DOI:10.1134/S1064229316120061
- Garg, N., & Chandel, S. (2011). "Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixation, and nutrient uptake in *Cicer arietinum* (L.) under salt stress." *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(2), 205-214. DOI:10.3906/tar-0908-12
- Gavito, M. E., Curtis, P.S., Mikkelsen T.N., & Jakobsen, I. (2000). "Atmospheric CO₂ and mycorrhiza effects on biomass allocation and nutrient uptake of nodulated pea (*Pisum sativum* L.) plants." *Journal of Experimental Botany*, 51(352), 1931-1938. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.352.1931>
- Haidari, R. H., Sohrabi Zadeh, A., and Haidari, M. 2019. "Effect of Physiographic Factors on Plant Biodiversity in the Central Zagros Forests (Case Studv: Educational Forest of Razi University of Kermanshah)." *Ecology of Iranian Forest*, 7(13), 66-75 (In Persian). DIO: 10.29252/ifej.7.13.66
- Hart, M. M., Antunes, P.M., Chaudhary, V.B., & Abbott, L.K. (2018). "Fungal inoculants in the field: Is the reward greater than the risk?" *Functional Ecology*, 32(1), 126-135. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12976>
- Hayman, D. (1982). "Influence of soil and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi." *Phytopathol.* 72: 1119-1125.
- Hildebrandt, U., M. Regvar and H. Bothe. 2007. "Arbuscular mycorrhiza and heavy metal tolerance." *Phytochemistry*, 68(1), 139-146. DOI: 10.1016/j.phytochem.2006.09.023
- Hodge, A., & Storer, K. (2015). "Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems." *Plant and soil*, 386, 1-19. DOI:10.1007/s11104-014-2162-1
- Islam, M. N., Germida, J.J., & Walley, F.L. (2019). "Responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to soil core transplantation across Saskatchewan prairie climatic regions." *Canadian Journal of Soil Science*, 100(1), 81-96. DOI:10.1139/cjss-2019-0053
- Jafarian, N., Mirzae, J., Morad, M., and Heydari, M. 2018. "Biodiversity and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi with some species of zaeros forest." *Forest and Wood Products*, 71(1), 35-47 (In Persian). DIO: 10.22059/JFWP.2018.245316.875
- Jafarlou, M.B., Badehian, Z. and Delpasand, J. (2019). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi colonization on Growth and Physiology of *Calotropis Procera* Seedlings to Water Stress Response. 32(2), 305 -314 (In Persian). DIO: 20.1001.1.23832592.1398.32.2.14.9
- Jiang, S., Pan, J., Shi, G., Dorji, T., Hopping, K. A., Klein, J. A., Liu, Y., & Feng, H. (2018). "Identification of root-colonizing AM fungal communities and their responses to short-term climate change and grazing on Tibetan plateau." *Symbiosis*, 74, 159-166. DOI:10.1007/s13199-017-0497-0
- Leifheit, E., Verbruggen, E., & Rillig, M.C. (2015). "Arbuscular mycorrhizal fungi reduce decomposition of woody plant litter while increasing soil aggregation." *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 323-328. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.12.003>

- Liang, Y.M., Su, Y., He, X., Chen, X., & Hu, Y. (2017). "Various effects on the abundance and composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities in soils in karst shrub ecosystems." *Huan Jing Ke Xue = Huanjing Kexue*, 38(11), 4828-4835. DOI: 10.13227/j.hjxx.201704153
- Liu, M., Zheng, R., Bai, S., Bai, Y., & Wang, J. (2017). "Slope aspect influences arbuscular mycorrhizal fungus communities in arid ecosystems of the Daxingshan Mountains, Inner Mongolia, North China." *Mycorrhiza*, 27: 189-200. DOI: 10.1007/s00572-016-0739-7
- Manimegalai, V., Selvaraj, T. & Ambikapathy, V. (2011). "Studies on isolation and identification of VAM fungi in Solanum viarum Dunal of medicinal plants." *Adv Appl Sci Res*, 2(4), 621-628.
- Mirzaei, J., Dostcami, S., & Moradi, M. (2017). "Identification of arbuscular mycorrhizal fungi associated with plant species in the Manesht and Ghalarang protected area." *Forest and Wood Products*, 70(4), 549-557. DOI:10.22059/JFWP.2018.126715.639 (In Persian).
- Munkvold, L., Kjoller, R.M., Rosendahl, S., & Jakobsen, I. (2004). "High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi." *New Phytologist*, 164(2), 357-364. DOI:10.1111/j.1469-8137.2004.01169.x
- Öpik, M., Zobel, M., Cantero, J.J., Davison, J., Facelli, J.M., Hiiesalu, I., Jairus, T., Kalwij, J.M., Koorem, K., Leal, M.E. (2013). "Global sampling of plant roots expands the described molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi." *Mycorrhiza*, 23, 411-430. DOI: 10.1007/s00572-013-0482-2
- Parihar, M., Rakshit, A., Meena, V.S., Gupta, V.K., Rana, K., Choudhary, M., Tiwari, G., Mishra, P.K., Pattanayak, A., Bisht, J.K., Jatav, S.S., Khatri, P., & Jatav, H. (2020). "The potential of arbuscular mycorrhizal fungi in C cycling: a review." *Archives of Microbiology*, 202, 1581-1596. DOI: 10.1007/s00203-020-01915-x
- Pellicone, G., Caloiroand, I., Caloiro. (2019). "The De Martonne aridity index in Calabria (Southern Italy)." *Journal of Maps*, 15(2), 788-796. <https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1673840>
- Rasmussen, P. U., Hugerth, L.W., Blanchet, F.G., Andersson, A.F., Lindahl, B.D., Tack, A. J. (2018). "Multiscale patterns and drivers of arbuscular mycorrhizal fungal communities in the roots and root-associated soil of a wild perennial herb." *New Phytologist*, 220(4), 1248-1261. DOI: 10.1111/nph.15088
- Schenck, N. C., & Perez, Y. (1990). Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi, Synergistic publications Gainesville.
- Schlatter, D. C., Kahl, K., Carlson, B., Huggins, D.R., & Paulitz, T. (2018). "Fungal community composition and diversity vary with soil depth and landscape position in a no-till wheat-based cropping system." *FEMS microbiology ecology*, 94(7), fyy098. <https://doi.org/10.1093/femsec/fyy098>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). Mycorrhizal symbiosis, Academic press. 3rd ed.; 800 pp.
- Veresoglou, S. D., Shaw, L.J., Hooker, J.E. & Sen, R. (2012). "Arbuscular mycorrhizal modulation of diazotrophic and denitrifying microbial communities in the (mycor) rhizosphere of *Plantago lanceolata*." *Soil Biology and Biochemistry*, 53, 78-81. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.05.007>
- Wang, Q., Pan, J., Ke, Y., Yu, S., Murray, P. J., Luo, T., Zhang, L., Liu, W. 2022. Impact of Aspect on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Diversity and Community Composition in a Natural *Toona ciliata* var. *pubescens* Forest in Subtropical China. *Forests*, 13(12), 2100. <https://doi.org/10.3390/f13122100>
- Xiao, Y., Yang, L., Nie, X., Li, C., Xiong, F., Wang, L. & Zhou, G. (2019). "Effects of slope position on phylogenetic diversity and structure of alpine shrub community." *Chinese Journal of Ecology*, 38(6), 1611. DOI:10.13292/j. 1000-4890.201906.023/
- Xu, X., Wang, X., Cleary, M., Wang, P., Lu, N., Sun, Y., & Rönnerberg, J. (2020). "Slope position rather than thinning intensity affects arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) community in Chinese fir plantations." *Forests*, 11(3), 273. DOI://doi.org/10.3390/f11030273
- Xu, X., Qiu, Y., Zhang, K., Yang, F., Chen, M., Lue, X., Yan, X., Wang, P., Zhang, Y., Chen, H., Guo, H., Jiang, L., Hu, S. 2022. Climate warming promotes deterministic assembly of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Glob Chang Biol*, 28(3), 1147-1161. Doi: 10.1111/gcb.15945.