

Study of some soil characteristics and arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis with the yellow fritillaria (*Fritillaria raddeana* Regel)

Nazanin Akbari Mohammadabad¹  | Mojgan Sadat Azimi^{1*}   | Hasan Yeganeh¹ |
Mostafa Khoshhal Sarmast² | Elham Malekzadeh³

1. Department of Rangeland management, Faculty of Rangeland and watershed management, University of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
 2. Department of Horticultural Sciences, Faculty of plant production, University of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
 3. Department of Soil fertility and biology, Faculty of Water and soil engineering, University of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
- E-mail: azimi@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 26 May. 2024
Revised: 10 Dec. 2024
Accepted: 12 Dec. 2024
Published online: 01 Jun. 2025

Keywords:
Mycorrhizal
Symbiosis,
Root colonization,
Pasture plant,
Habitat soil.

Abstract

The symbiosis between plants and soil microorganisms contributes to soil preservation and plant species stability. *Arbuscular mycorrhizal* (AM) fungi enhance plant reproduction, growth, health, and resistance to various environmental stresses. The overturned tulip (*Fritillaria raddeana*) represents both a valuable pasture plant and an important genetic resource in Iran. This study investigated the symbiotic relationship between yellow overturned tulip and AM fungi, while examining correlations between spore abundance/root colonization and soil physicochemical properties. We collected 30 soil samples with accompanying root systems from *F. raddeana* habitats, followed by comprehensive soil analysis. After root staining and spore extraction from soil samples, we quantified root colonization rates and AM fungal spore counts. Subsequent analysis evaluated correlations between these fungal parameters and soil characteristics. Results showed the habitat soil was silty loam, non-saline, slightly alkaline, with moderate organic matter content and adequate N, P, and K nutrient levels. Microscopic examination revealed various fungal structures within roots, confirming AM symbiosis (mean colonization = 50%) and demonstrating *F. raddeana*'s mycorrhizal dependency under natural conditions. A statistically significant correlation ($p < 0.01$) emerged between spore density and root colonization. However, no significant relationships were found between root colonization/spore numbers and soil physicochemical properties.

Cite this article: Akbari Mohammadabad, N., Sadat Azimi, M., Yeganeh, H., Khoshhal Sarmast, M., Malekzadeh, E. (2025). Study of some soil characteristics and arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis with the yellow fritillaria (*Fritillaria raddeana* Regel). *Journal of Range & Watershed Management*, 78 (2), 159-172. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.376990.1765>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

مطالعه برخی ویژگی‌های خاک و هم‌زیستی قارچ‌های میکوریز آربسکولار با گیاه لاله واژگون زرد (*Fritillaria raddeana* Regel)

نازنین اکبری محمدآباد^۱ | مژگان سادات عظیمی^{۱*} | حسن یگانه^۱ | مصطفی خوشحال سرمست^۲ | الهام ملک‌زاده^۳

۱. گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

رایانامه: azimi@gau.ac.ir

۲. گروه علوم و مهندسی باغبانی و فضای سبز، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳. گروه حاصلخیزی و بیولوژی خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

کلیدواژه‌ها:

هم‌زیستی میکوریزی،

کلونیزاسیون ریشه،

گیاه مرتعی،

خاک رویشگاه.

هم‌زیستی گیاهان با میکروارگانیسم‌های خاک منجر به حفظ و پایداری خاک و گونه‌های گیاهی می‌گردد. قارچ‌های میکوریز آربسکولار (AM) می‌توانند تکثیر، رشد، سلامتی و مقاومت گیاه را نسبت به عوامل گوناگون محیطی افزایش دهند. لاله واژگون گیاهی مرتعی و از ذخایر ژنتیکی ارزشمند کشور است. هدف از این پژوهش بررسی وجود رابطه هم‌زیستی لاله واژگون زرد با قارچ‌های AM و هم‌بستگی فراوانی اسپور و کلونیزاسیون میکوریزی ریشه با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بود. بدین منظور ۳۰ نمونه خاک به همراه ریشه از رویشگاه لاله واژگون زرد جمع‌آوری و برخی ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری گردید. پس از رنگ‌آمیزی ریشه‌ها و استخراج اسپورها از نمونه‌های خاک، میزان کلونیزاسیون ریشه و جمعیت اسپور این قارچ‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین رابطه هم‌بستگی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر این عوامل قارچی مورد بررسی قرار گرفت. خاک رویشگاه لوم سیلتی، غیرشور، نسبتاً قلیایی با محتوای متوسط ماده آلی و از نظر عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم مناسب بود. با مشاهده ساختارهای مختلف قارچی در ریشه لاله واژگون زرد رابطه هم‌زیستی (متوسط کلونیزاسیون ۵۰٪) قارچ‌های AM با گیاه وجود داشت و بیانگر وابستگی میکوریزی گیاه در شرایط رویشگاه بود. رابطه هم‌بستگی بین فراوانی اسپور قارچ با درصد کلونیزاسیون ریشه از نظر آماری در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود. همچنین بین درصد کلونیزاسیون ریشه و فراوانی اسپور با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک رابطه معنی‌داری مشاهده نشد.

استناد: اکبری محمدآباد؛ نازنین، سادات عظیمی؛ مژگان، یگانه؛ حسن، خوشحال سرمست؛ مصطفی، ملک‌زاده؛ الهام (۱۴۰۴). مطالعه برخی ویژگی‌های خاک و هم‌زیستی قارچ‌های میکوریز آربسکولار با گیاه لاله واژگون زرد (*Fritillaria raddeana* Regel). نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۸ (۲)، ۱۷۲-۱۵۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.376990.1765>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

مرتع یک اکوسیستم طبیعی است که در برگیرنده منابع عظیمی از ذخایر ژنتیکی و تنوع زیستی است. لاله واژگون زرد (*Fritillaria raddeana*) یکی از گونه‌های مرتعی مهم و ارزشمند از ذخایر ژنتیکی کشور است. این گونه گیاهی چندساله، علفی، پیازدار و از خانواده Liliaceae است. متأسفانه این گونه گیاهی با ارزش، جزء گونه‌های در خطر انقراض کشور است. به این دلیل که دارای پراکنش محدودی بوده و همچنین کمیت و کیفیت رویشگاه‌های این گونه متأثر از عوامل مختلف تخریب همچون برداشت گل و سوخ، قاچاق گل، چرای دام‌ها، بوته‌کشی و غیره رو به نابودی است (Islamzadeh, 2010). هدف اصلی از کلیه پژوهش‌های صورت گرفته حفاظت از این ذخیره ژنتیکی کشور است. یکی از کارکردهای مهم اکوسیستم‌های مرتعی حفظ حاصلخیزی خاک است. خاک از مهم‌ترین منابع بقاء انسان، حیوانات، گیاهان و میکروارگانیسم‌ها می‌باشد و کیفیت خاک موجب فعالیت و تنوع میکروبی و رشد بهتر گیاهان می‌گردد (Yang et al, 2017). اکوسیستم‌های طبیعی برای بقاء نیازمند روابط پیچیده بین موجودات زنده با محیط پیرامون خود هستند؛ بنابراین روابط همزیستی مختلفی وجود دارد که در بین این روابط از نظر فراوانی و اهمیت اکولوژیکی، رابطه همزیستی از نوع دوطرفه (هم گیاه و هم قارچ سود می‌برد) بیشتر حائز اهمیت است (Sajedi, 2011 & Feng, 2002). یکی از همزیستی‌های مهم خاک بین قارچ‌های میکوریز آربسکولار (AM) با گیاهان است. در این همزیستی اجباری از طریق هیف‌های قارچ بخشی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه تأمین می‌گردد (Dotzler et al, 2009). میکروارگانیسم‌های خاک که شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها و غیره می‌باشند اثرات متفاوتی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌های خاک دارند. در بین میکروارگانیسم‌های خاک، قارچ‌ها بیشترین نقش را در پایداری خاکدانه‌ها دارند (Fokom, 2013). قارچ‌های میکوریز به طور غیرمستقیم بر تشکیل خاکدانه‌های خاک اثرگذار هستند؛ زیرا کربن حاصل از گیاهان را به صورت مواد آلی به خاک منتقل می‌کنند که این امر سبب چسبیدن ذرات خاک به یکدیگر می‌شود (Tao and Zhiwei, 2005). گلومالین یک ماده گلیکوپروتئینی که توسط قارچ‌های AM ترشح می‌شود که موجب بهبود ساختمان خاک و مقاومت خاکدانه‌ها شده و همچنین این قارچ‌ها از طریق جذب عناصر غذایی باعث افزایش رشد گیاه می‌گردند (Aumtong, 2010). یکی از شاخص‌های سلامت خاک و حضور قارچ‌های میکوریز، مقدار گلومالین خاک است (Madani, 2012). قارچ‌های میکوریز به عنوان برجسته‌ترین تنظیم کننده جریان کربن از گیاهان به خاک محسوب می‌شوند زیرا می‌توانند ۴ الی ۲۰ درصد کربن تثبیت شده توسط گیاهان را مصرف کنند (Zhu and Miller, 2003). نتایج تحقیقات از گذشته تا کنون نشان دهنده افزایش جذب عناصر N، P، S، K، Mg، Ca، Mn، Fe بر اثر همزیستی گیاه با میکوریز است (Jeffries, 2001). همچنین نتایج پژوهش‌های دیگر نشان دهنده مقاومت به تنش خشکی در گیاهان آلوده شده به قارچ‌های میکوریز می‌باشد (Azaiach, 1995). قارچ‌های میکوریز ناحیه وسیعی از اطراف ریشه گیاه را با تشکیل هیف‌های خود احاطه می‌کنند و مواد مغذی و معدنی خاک را در اختیار گیاه می‌گذارند (Hayman, 1982). عوامل متعددی در پراکنش قارچ‌های میکوریز و فراوانی اسپور اثر گذارند که شامل نوع گونه گیاهی، اقلیم، توپوگرافی، خشکسالی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشند (Fazlollahi, 2016 & Rasmussen, 2018). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر مقدار مواد آلی، رطوبت اشباع، بافت و ساختمان خاک و غیره بر نوع قارچ میکوریز و شدت رابطه همزیستی اثر گذار است؛ بنابراین با توجه به شرایط آب و هوایی مختلف فراوانی قارچ‌های میکوریز متفاوت خواهد بود (Liu et al, 2017). تاکنون در مطالعات زیادی موضوع همزیستی قارچ‌های میکوریز با گیاهان گزارش شده است که این همزیستی، بیانگر افزایش جذب آب و مواد مغذی گیاه و همچنین مقاومت نسبت به دما، آلودگی فلزات سنگین، تنش خشکی و شوری می‌باشد (Zhang, 2017 & Cornell, 2022). همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریز در مناطقی که تحت فشارهای اکولوژیکی و فیزیکی است موجب تأثیر بسیار زیاد نگهداری، پایداری و توسعه جوامع گیاهی می‌گردد (Razouk and Kajji, 2015). نتایج پژوهش‌ها نشان دهنده افزایش زی توده و رشد بهتر گیاهان همزیست شده با قارچ‌های میکوریز از طریق افزایش جذب آب، مواد معدنی (فسفر و نیتروژن) و همچنین تولید هورمون‌های رشد از جمله اکسین، جبریلین و سیتوکینین است (Tadesse, C. S. and A. T. Fassil, 2013 & Wang, 2023). همچنین نقش حیاتی دیگر این قارچ‌ها محافظت گیاهان در مقابل انواع بیماری‌ها و پاتوژن‌ها می‌باشد (Zhang et al, 2023).

(2017). همزیستی قارچ‌های میکوریز با ۸۰ درصد از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Varma, 2018). این قارچ‌ها برای تکمیل چرخه زندگی خود وابسته به گیاهان هستند (Muthukrishnan, 2018). در گونه‌های مختلف گیاهی درصد کلونیزاسیون و فراوانی اسپورهای قارچ متفاوت است؛ زیرا ممکن است ساختار گیاه و ریشه آن یا برخی از ویژگی‌های ژنتیکی بر روی این روابط همزیستی اثرگذار باشد (Feng, 2002). پژوهشی در منطقه حفاظت شده کلاه قاضی، استان اصفهان با هدف مطالعه تنوع و کلونیزاسیون قارچ‌های AM صورت گرفت که نتایج نشان دهنده کلونیزه شدن تمامی ریشه‌های نمونه‌برداری شده بود و همچنین تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان دهنده همبستگی مثبت بین درصد کلونیزاسیون میکوریزی و فراوانی اسپور بود (Moosavi, 2023). تاکنون پژوهشی درباره گزارش ویژگی‌های خاک رویشگاه و همزیستی لاله واژگون زرد با قارچ‌های AM انجام نشده است. آگاهی از ترکیب و عملکرد جوامع قارچی میکوریز برای حفظ گیاه میزبان در اکوسیستم‌های طبیعی امری ضروری می‌باشد؛ بنابراین هدف از این پژوهش بررسی وجود رابطه همزیستی لاله واژگون زرد با قارچ‌های AM و شناخت ویژگی‌های خاک موثر بر فراوانی اسپور و کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ می‌باشد تا بتوان در آینده با شناسایی گونه‌های قارچی AM بومی فراوان و کمک به برقراری همزیستی آن‌ها با لاله واژگون زرد به عنوان گونه با ارزش مرتعی در معرض انقراض به حفظ و احیا آن اقدام گردد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

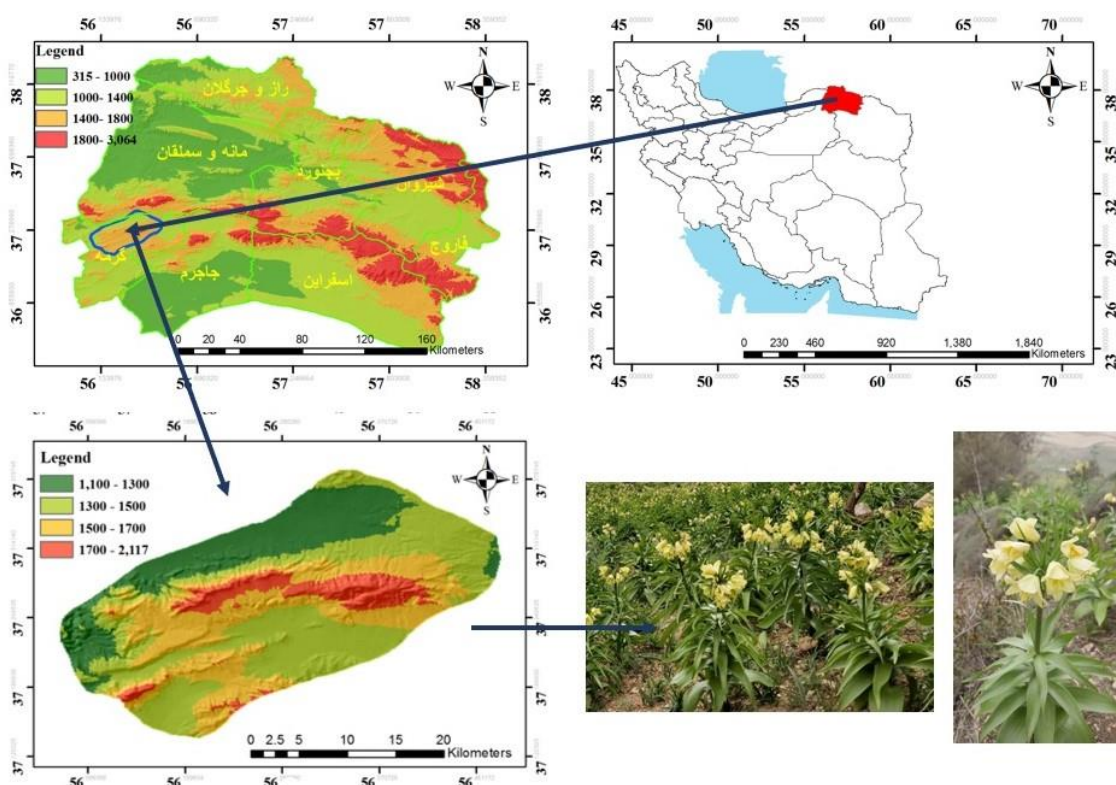
ذخیرگاه خمبی استان خراسان شمالی (شکل ۱) با مجموع مساحتی نزدیک به ۲۲ هکتار در مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 10' 10''$ تا $36^{\circ} 17' 32''$ طول شرقی و $37^{\circ} 16' 30''$ تا $37^{\circ} 18' 30''$ عرض شمالی در حدود ۶۰ کیلومتری شهرستان گرمه واقع شده است (شکل ۲). ارتفاع از سطح دریا در پایین‌ترین نقطه ۱۳۰۰ متر و در بلندترین نقطه ۱۹۲۵ متر است. با توجه به تقسیمات نواحی رویشی منطقه خمبی جزء ناحیه ایرانی - تورانی می‌باشد.



شکل ۱. تصویر رویشگاه لاله واژگون زرد، فروردین ۱۴۰۲

از ویژگی‌های بارز این ناحیه طولانی بودن فصل خشک و کمبود بارندگی می‌باشد. فرم رویشی اغلب گونه‌های این ناحیه به صورت همی کریپتوفیت و کامفیت است (Panahi, 2019). این رویشگاه در سال‌های اخیر تحت تهدیداتی از جمله چرای مفرط دام، قاچاق،

برداشت گل و سوخ و همچنین بوته‌کنی و غیره می‌باشد (Islamzadeh, 2010). شروع بارش‌های سالانه از اواسط پاییز تا اواخر بهار بوده و میانگین دمای سالانه ۱۰/۹ سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۲۹۴/۱ میلی‌متر است. همچنین متوسط رطوبت نسبی منطقه ۶۵ درصد و مقدار تبخیر بین میلی‌متر ۴۲ و ۲۵۵/۷ میلی‌متر در ماه‌های دی و مرداد متغیر است (Panahi, 2019).



شکل ۲. موقعیت رویشگاه لاله واژگون زرد، ذخیرگاه خمبی استان خراسان شمالی

۲-۲. روش اجرای تحقیق

روند اجرای این پژوهش به صورت پیمایش صحرایی و نمونه برداری، تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی و آماری است.

۲-۲-۱. نمونه برداری و آنالیز آزمایشگاهی

در این پژوهش، نمونه برداری در فروردین ۱۴۰۲ از منطقه حفاظت شده خمبی خراسان شمالی، صورت گرفت. بدین منظور، در ۳۰ نقطه با فاصله حدوداً ۳۰۰ متر نمونه برداری انجام گردید. برای هر نمونه گیاهی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری ناحیه فرا ریشه حدود یک کیلوگرم خاک و ریشه‌های گیاه جمع‌آوری گردید. به‌منظور به حداقل رسیدن آسیب به گیاه، نمونه‌برداری با دقت فراوان انجام شد. به این صورت که با دقت بالا خاک اطراف گیاه کنار زده شده و بدون رسیدن آسیب به سوخ گیاه، نمونه ریشه با قیچی گرفته شده و بعد از گرفتن نمونه خاک، مجدد اطراف گیاه با خاک پوشیده گردید. در طی این مدت نمونه‌های خاک تا زمان جداسازی اسپور در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

۲-۲-۲. استخراج و شمارش اسپور

جهت استخراج و شمارش اسپورهای قارچ AM از روش‌های گردمن و نیکلسون^۱ (۱۹۶۳) و جنکیس^۲ (۱۹۶۴) استفاده شد. به این ترتیب که ۵۰ گرم از نمونه خاک در یک بشر ۲ لیتری با مقدار کافی آب و توسط میله شیشه‌ای به مدت ۱۰-۱۵ دقیقه به هم زده شده تا به صورت سوسپانسیون درآید. ۱۰-۱۵ ثانیه اجازه داده شد ذرات درشت رسوب کنند، سپس مایع بالایی از سری مرتب شده الک‌های ۲۵، ۸۰ و ۴۰۰ مش عبور داده شد، این مرحله چند بار (حدوداً ۱۰ بار) تکرار شد. بعد از آن مواد باقی‌مانده بر روی الک‌های ۲۵ و ۸۰ مش به طور جداگانه به کمک آب‌فشان شستشو و در ظروف پتری نگهداری شدند و تعداد اسپورها و اسپورکارپ‌های موجود زیر بینوکلر (X30) شمارش گردید. مواد باقی‌مانده بر روی الک ۴۰۰ مش شامل ذرات ریز خاک و اسپورها به لوله سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و برای ۵ دقیقه با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. مایع بالایی به داخل یک ظرف پتری ریخته شد و بخش ته‌نشین شده در محلول ساکارز ۵۵ درصد به صورت سوسپانسیون درآمد و برای ۲ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. مایع بالایی محلول ساکارز به همراه مایع مرحله قبل بر روی الک ۴۰۰ مش ریخته شد و برای حذف ساکارز با آب شستشو شد. مواد باقی‌مانده روی الک ۴۰۰ مش با ۵۰ میلی‌لیتر آب به صورت سوسپانسیون یکنواخت درآمد، سپس تعداد اسپورها زیر بینوکلر (X30) شمارش شد. تعداد کل اسپورها در یک نمونه ۵۰ گرمی از مجموع تعداد اسپورهای شمارش شده از الک‌های ۲۵، ۸۰ و ۴۰۰ مش گزارش شد.

۲-۲-۳. رنگ‌آمیزی ریشه و تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه‌های مایکوریزی

رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با استفاده از روش تغییر یافته کورمانیک و مک گراو^۳ (۱۹۸۲) انجام شد. نمونه‌های ۰/۱ گرمی از ریشه‌های تازه تهیه شده و به قطعات یک‌سانتی‌متری بریده شد و در اتانول ۵۰٪ (v/v) تثبیت شد. ریشه‌ها ۳ الی ۴ مرتبه با آب شستشو داده شد و در لوله‌های حاوی محلول KOH ۱۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار داده شدند. در طی این مدت محلول مذکور با لیز کردن دیواره سلولی سبب خروج اجزای سیتوپلاسمی و هسته‌ها از سلول شد و در مراحل بعدی نفوذ رنگ به داخل بافت ریشه را آسان می‌کند، در پایان این مرحله محلول KOH به رنگ تقریباً زرد یا زرد کم رنگ درآمد. سپس محلول مذکور دور ریخته شد و ریشه‌ها ۳-۴ مرتبه با آب شستشو شدند و نمونه‌های ریشه‌ای ضخیم‌تر برای رنگ‌زدایی و سفیدکردن در محلول آب اکسیژنه قلیایی تازه (شامل ۳ میلی‌لیتر NaOH، ۳۰ میلی‌لیتر H₂O₂ ده درصد و ۵۶۷ میلی‌لیتر آب معمولی) به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری و سپس برای از بین بردن اثر این محلول با آب شستشو شدند. نمونه‌ها حداقل به مدت ۵ دقیقه در محلول اسیدکلریدریک ۱ درصد قرار داده شد تا آماده رنگ‌پذیری شوند. در ادامه اسید را خالی کرده و بدون شستشو با آب بر روی ریشه‌ها محلول رنگی اضافه شد و ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری گردید. محلول رنگی شامل تریپان بلو ۰/۰۵ درصد در محلول رنگ بر بود. محلول رنگ بر به نسبت حجمی ۱:۱۰:۱ از اسیدلاکتیک: گلیسرین: آب را شامل بود. در ادامه محلول رنگی را دور ریخته و به منظور حذف رنگ‌های اضافی، محلول رنگ بر روی ریشه‌ها ریخته شد، پس از رنگ‌بری، اندام‌های قارچی شامل آربوسکول، هیف و وزیکول‌ها در زیر میکروسکوپ نوری قابل مشاهده شدند. سپس ۳۰ قطعه از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به طور تصادفی بر روی ظرف پتری که به ابعاد ۱×۱ cm شبکه‌بندی شده بود قرار گرفت (روش تقاطع خطوط شبکه) و تعداد خطوط متقاطع کلنیزه شده به وسیله بینوکلر (X30) شمارش و درصد کلونیزاسیون تعیین گردید (Norrif et al, 1992; Schenck and Perez, 1988).

۲-۲-۴. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ۳۰ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری پایه هر بوته از گیاه لاله واژگون زرد تهیه شده و طبق روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. ویژگی بافت خاک با روش هیدرومتری، pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در

¹ Gerdemann and Nicolson

² Jenkins

³ Kormanik and McGraw

عصاره اشباع به ترتیب با استفاده از pH-متر و دستگاه هدایت سنج الکتریکی دیجیتال در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد رطوبت اشباع و ظرفیت زراعی به روش (Hillel, 1980)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن مواد خنثی شونده با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با هیدروکسید سدیم، درصد کربن آلی خاک به روش اکسایش تر، نیتروژن کل با روش کج‌لدال، فسفر قابل جذب توسط عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال و به روش رنگ آبی در طول موج ۶۸۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر، پتاسیم قابل جذب با عصاره گیر استات آمونیوم یک نرمال (pH=7) و توسط دستگاه فلیم فتومتری و تنفس میکروبی به روش (Anderson, 1982) اندازه‌گیری شد (Carter and Gregorich, 2008).

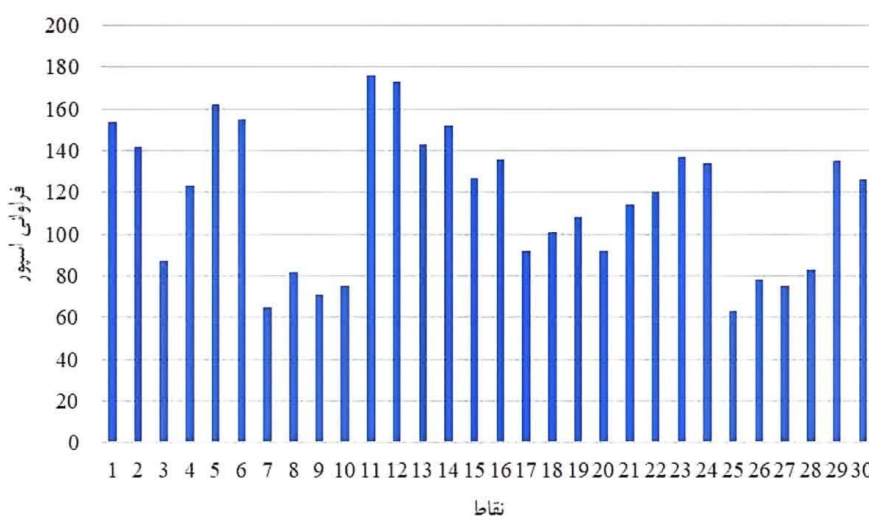
۲-۲-۵. تجزیه و تحلیل آماری

پژوهش انجام شده بر اساس آزمون همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS 16.0 آنالیز گردید.

۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. نتایج شمارش اسپور

با بررسی نمونه خاک‌های نمونه برداری شده از رویشگاه لاله واژگون زرد منطقه خمی، انجام جداسازی و شمارش اسپورها مشخص گردید جمعیت اسپورهای قارچ AM صرف نظر از نوع گونه قارچی بین ۶۳-۱۷۶ عدد اسپور (شکل ۳) در ۵۰ گرم نمونه خاک بود.

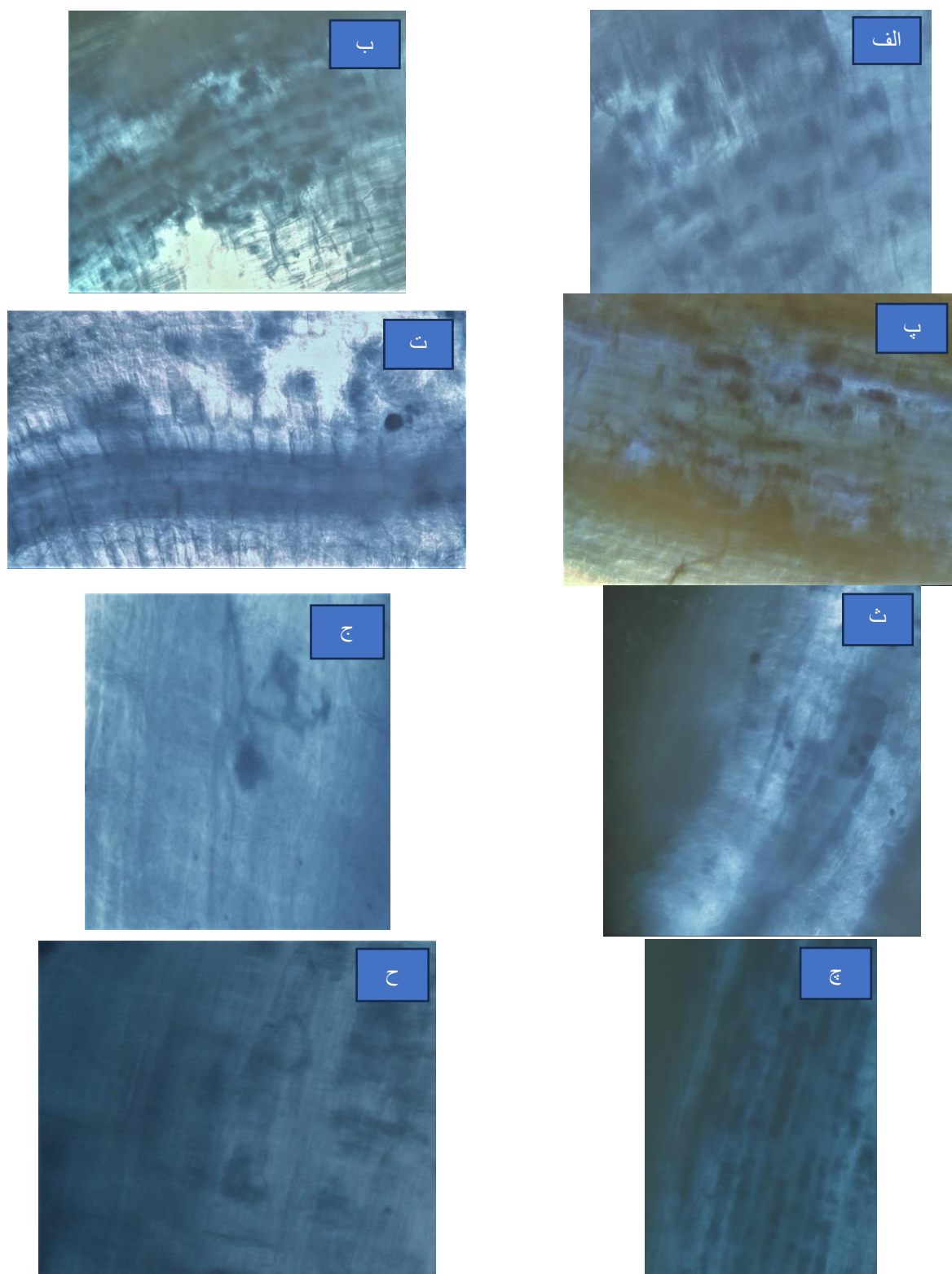


شکل ۳. فراوانی اسپور در نقاط مختلف نمونه برداری شده

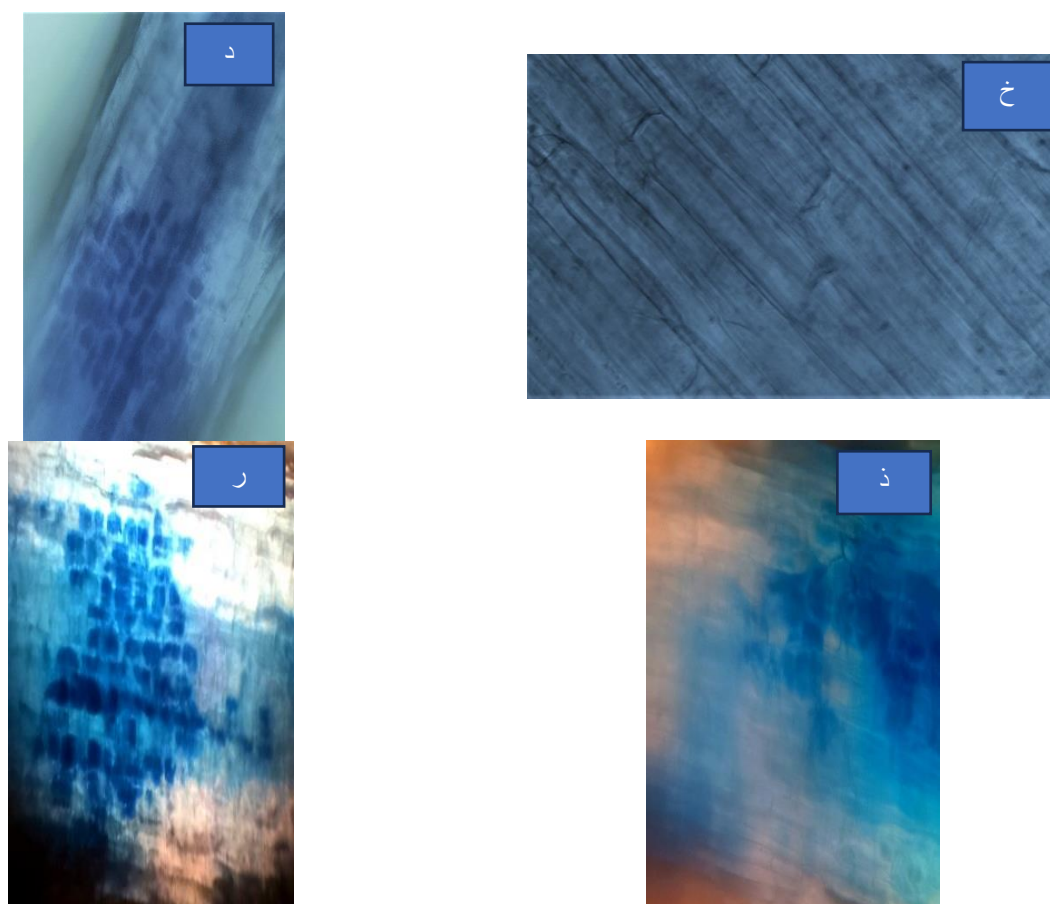
۳-۲. رنگ آمیزی ریشه‌ها و مشاهده ساختارهای قارچی

ساختارهای مختلف قارچی نظیر اسپور، هیف، آربوسکول و وزیکول در ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده لاله واژگون زرد مشاهده شدند (شکل ۴). آربوسکول‌ها و هیف‌های قارچی متداول‌ترین ساختارهای موجود بودند که حضور این اندام‌ها در ریشه، بیانگر برقراری هم‌زیستی این گیاه با قارچ‌های AM می‌باشد.

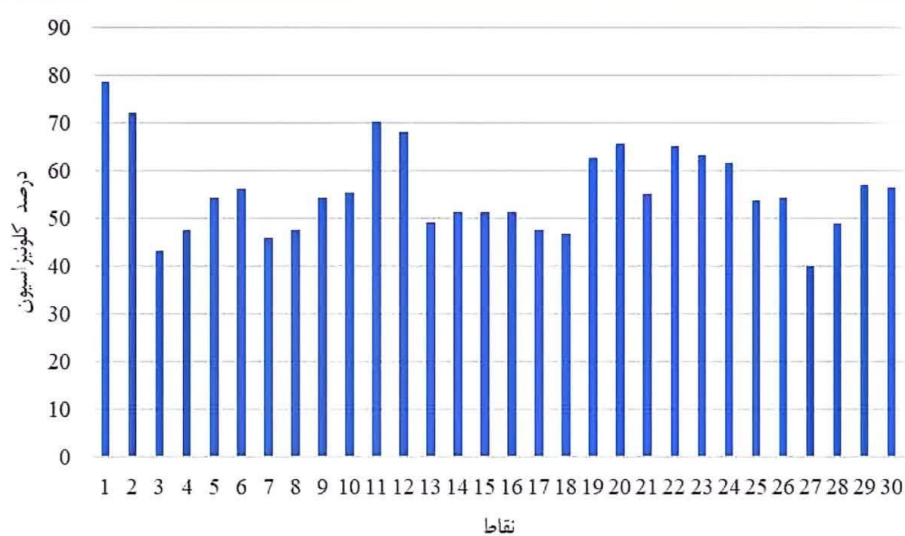
با مشاهده ساختارهای مختلف قارچی در ریشه لاله واژگون زرد و تعیین درصد کلونیزاسیون مشخص گردید بین ۴۰ الی ۷۸/۷۲ درصد ریشه‌ها کلونیزه شده است (شکل ۵).



شکل ۴. اندامهای قارچی AM داخل ریشه‌های رنگ آمیزی شده لاله واژگون زرد.
 خ: ریشه شاهد یا بدون همزیستی. الف، ب، پ، چ، د، ذ، ز: آربوسکول‌های قارچی. ت، ث: اسپور. ج، ذ: هیف‌های قارچی.



ادامه شکل ۴.



شکل ۵. درصد کلونیزاسیون در نقاط مختلف نمونه برداری شده

۳-۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

جدول ۱ نتایج تجزیه خاک رویشگاه لاله واژگون را نشان می‌دهد. به طور کلی خاک رویشگاه لاله واژگون زرد منطقه خمی دارای بافت لوم سیلتی بود (جدول ۱). نتایج آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که دامنه تغییرات درصد کربن آلی خاک بین ۱/۱۲ تا ۱/۵۲ درصد با میانگین ۱/۳۱ درصد، دامنه تغییرات مقدار درصد نیتروژن خاک بین ۰/۱ تا ۰/۱۴ با میانگین ۰/۱۱ درصد، و دامنه تغییرات تنفس میکروبی خاک بین ۱۴/۲ تا ۲۴/۳ با میانگین ۱۹/۳ درصد بود.

جدول ۱. نتایج تجزیه نمونه خاک های نمونه برداری شده از نقاط مختلف

متغیر	pH	قابلیت هدایت الکتریکی	درصد رطوبت اشباع	شن	سیلت	رس	کربنات کلسیم معادل	رطوبت ظرفیت زراعی	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	تنفس میکروبی
واحد اندازه گیری	-	((dS/m	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	((%)	(%)	(%)	((ppm	((ppm	((mg Co 2/ gr soil.day
کمترین	۷/۷۰	۰/۸۱	۳۶	۱۶	۵۴	۱۴	۱۳/۱	۲۷	۱/۱۲	۰/۱	۵/۲۳	۴۰۸	۱۴/۲
بیشترین	۷/۷۶	۱/۲۶	۴۴	۳۰	۶۲	۲۸	۲۰/۵	۳۱	۱/۵۲	۰/۱۴	۲۱/۰۳	۱۱۶۵	۲۴/۳
میانگین	۷/۷۱	۰/۹۷	۳۹/۳۳	۲۲/۹۳	۵۷/۴۶	۱۹/۶	۱۷/۱۳	۲۸	۱/۳۱	۰/۱۱	۱۶/۱۵	۶۸۲/۸	۱۹/۳

۳-۴. ضریب همبستگی خصوصیات خاک با فراوانی قارچ و درصد کلونیزاسیون

نتایج به دست آمده در (جدول ۲) نشان می‌دهد. همبستگی بین فراوانی اسپور قارچ با درصد کلونیزاسیون از نظر آماری در سطح (۰/۰۱) معنی دار بود. درصد شن و سیلت، رطوبت ظرفیت زراعی، نیتروژن کل، کربن آلی و تنفس میکروبی با فراوانی اسپور و کلونیزاسیون ریشه دارای همبستگی مثبت، ولی معنی دار نبود. از طرفی شاخص های pH، EC، رطوبت اشباع، رس، کربنات کلسیم معادل، فسفر و پتاسیم قابل جذب با درصد کلونیزاسیون ریشه و pH، درصد رطوبت اشباع، مقدار سیلت، رس و کربنات کلسیم و پتاسیم قابل جذب در با فراوانی اسپور همبستگی منفی داشتند که از نظر آماری معنی دار نمی‌باشد.

جدول ۲. ضریب همبستگی ویژگی های خاک با فراوانی اسپور و درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه لاله واژگون زرد

درصد کلونیزاسیون	فراوانی اسپور	pH	EC	درصد رطوبت اشباع	شن	سیلت	رس	کربنات کلسیم معادل	ظرفیت زراعی مزرعه	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	تنفس میکروبی
درصد کلونیزاسیون	۰/۶۴۳**	-۰/۳۰۹	-۰/۱۱۱	-۰/۳۴۹	۰/۲۶۴	۰/۲۲۵	-۰/۴۰۴	-۰/۰۵۰	۰/۱۹۶	۰/۱۳۸	۰/۱۷۱	-۰/۱۲۰	-۰/۳۸۷	۰/۰۴۵
فراوانی اسپور	۱	-۰/۰۰۷	۰/۱۸۳	-۰/۰۲۷	۰/۱۵۴	-۰/۰۱۶	-۰/۱۴۹	-۰/۱۶۵	۰/۱۹۸	۰/۰۵۱	۰/۳۲۲	-۰/۱۳۳	-۰/۱۰۲	-۰/۱۱۴

*معنی دار در سطح ۰/۰۵ می باشد، **در سطح ۰/۰۱ معنی دار می باشد، اعداد منفی همبستگی منفی و اعداد مثبت همبستگی مثبت ولی از لحاظ آماری غیر معنی دار.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر تمامی ریشه‌های لاله واژگون زرد مورد بررسی با قارچ‌های AM کلونیزه شده بودند و ساختارهای مختلف قارچ‌های AM مشاهده شدند. هیف‌ها، آربوسکول‌ها، وریکول‌ها و اسپورها به صورت مجزا و یا با هم دیگر در بافت‌های ریشه لاله واژگون زرد مشاهده شدند. هیف‌ها و آربوسکول‌ها فراوان‌ترین ساختارهای قارچی مشاهده شده در ریشه‌های کلونیزه شده لاله واژگون زرد بودند ولی وریکول و اسپور به ندرت مشاهده شد. رابطه همبستگی بین فراوانی قارچ با درصد کلونیزاسیون از نظر آماری در سطح (۰/۰۱) معنی‌دار شد، اما همبستگی معنی‌داری بین درصد کلونیزاسیون و فراوانی اسپور با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شده در این تحقیق وجود نداشت. این نتایج با گزارش Nobis همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. قارچ‌های میکوریز توانایی افزایش مقاومت گیاه میزبان را در برابر تنش‌های محیطی بالا برده و همچنین در بهبود فعالیت‌های فیزیولوژی گیاهان دارای تأثیر مثبتی هستند. قارچ‌های میکوریز به واسطه سیگنال‌های خود گیاه میزبان را شناسایی و با فرستادن اندام‌های مکنده به درون سلول‌های ریشه میزبان ایجاد هم‌زیستی کرده و با کمک هیف‌های خود مواد مورد نیاز را جذب می‌کنند (Tadesse and Fassil, 2013). قارچ‌های AM از منظرهای متفاوتی حائز اهمیت هستند. این قارچ‌ها اهمیت ویژه‌ای در جذب مواد غذایی کم‌تحرک خاک دارند (Begum et al, 2019). پژوهشی درباره‌ی هم‌زیستی قارچ‌های AM با گیاه پنبه در استان خراسان شمالی بیانگر کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های AM بود (Shirzad and Ghorbany, 2015). پژوهشی دیگر نشان داد سه گونه گون (*Astragalus squarrosus*, *Astragalus effusus*, *Astragalus podolobus*) با قارچ‌های میکوریز هم‌زیستی داشتند (Kamali et al, 2021). نتایج پژوهش حاضر نشان داد بین فراوانی اسپور با درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح (۰/۰۱) وجود دارد. نتایج به دست آمده با پژوهشی که در منطقه رفسنجان به جهت بررسی اثر اقلیم، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و میزبان بر فعالیت قارچ‌های میکوریزی بود، مطابقت دارد (Aminiannasab, 2021). دلایل مختلفی بر روی پراکنش و تعداد اسپورهای قارچ از جمله شرایط اقلیمی و ژئوتیپ گیاه و شرایط فیزیکی شیمیایی خاک می‌تواند اثرگذار باشد. هم‌زیستی با قارچ‌های AM متأثر از انواع ویژگی‌های بیولوژیکی گیاه میزبان، وابستگی میکوریزی، شرایط منطقه زندگی، ترکیب گونه، نوع و تنوع قارچ، تغییرات اقلیمی، یا تغییرات فصلی و روشی می‌باشد (Jakobsen et al, 2002 & Wu et al, 2009). نتایج این پژوهش نشان داد خاک رویشگاه لاله واژگون زرد دارای بافت لوم سیلتی، غیر شور، نسبتاً قلیایی با محتوای متوسط ماده آلی و از نظر عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم مناسب می‌باشد. یکی از عوامل محدودکننده گسترش و رشد قارچ‌های میکوریز بافت خاک می‌باشد، به طوری که نتایج این پژوهش نیز نشان داد همبستگی منفی بین مقدار رس خاک با فراوانی اسپور و درصد کلونیزاسیون ریشه وجود دارد؛ بنابراین در خاک‌های با بافت ریز و مقدار زیاد رس، رشد و توسعه این قارچ‌ها کاهش می‌یابد. در رویشگاه گیاه با افزایش مقدار رس خاک از فراوانی اسپور و پتانسیل کلونیزاسیون ریشه با قارچ‌های میکوریز کاسته می‌شود. یکی از برجسته‌ترین ویژگی‌های قارچ‌های میکوریز توانایی جذب فسفر در خاک‌های دارای فقر فسفر است که این امر موجب تثبیت گیاهان در این خاک‌ها می‌شود (Xiao-lin, 1997). نتایج پژوهش حاضر نشان داد بین فسفر خاک و فراوانی اسپور همبستگی مثبت و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی منفی وجود دارد؛ ولی این همبستگی به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. اما میزان فسفر خاک همچنان می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده رشد قارچ‌های میکوریز در اکوسیستم‌های طبیعی باشد. تا حدودی در پژوهش‌های دیگر همبستگی مثبت و منفی بین فسفر با درصد کلونیزاسیون ریشه گزارش شده است (Bohrer et al., 2004). گزارش‌های متعددی نشان دادند که با افزایش حاصلخیزی خاک بویژه غلظت فسفر محلول در خاک، کلونیزاسیون قارچی کاهش می‌یابد (Qin et al., 2020; Higo et al. 2020). یک عامل ضروری سلول‌های زنده پتاسیم می‌باشد (Vinichuk, 2010). بر اساس نتایج خاک، پتاسیم قابل جذب با فراوانی اسپور و درصد کلونیزاسیون همبستگی منفی دارد که این نتایج با پژوهش همبستگی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه دارویی آویشن کوهی مطابقت دارد (Ramak et al, 2016). بنابراین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد گیاه وابستگی بیشتری به هم‌زیستی میکوریزی در شرایط محیطی سخت و خاک‌های با حاصلخیزی کم دارد (Safari Sinagani and El yasi Yeganeh, 2017). ماده آلی کربن همبستگی

معنی‌داری با فراوانی اسپور و درصد کلونیزاسیون ریشه لاله واژگون زرد نشان نداد که نتایج به‌دست‌آمده همانند نتایج پژوهش فیضی کمره و همکاران (۲۰۱۱) بود. یکی از عوامل مهم رشد گیاه و قارچ‌های میکوریز، pH خاک می‌باشد؛ ولی در پژوهش حاضر بین pH خاک با فراوانی اسپور و درصد کلونیزاسیون رابطه منفی و غیر معنی‌دار از نظر آماری وجود داشت. نتایج پژوهشی بر روی تأثیر خصوصیات شیمیایی خاک بر همزیستی سیب و انگور با قارچ‌های AM مطابق این نتایج بود (Avazzadeh-Mehrian and Sadravi, 2017). البته این رابطه منفی می‌تواند در pHهای پایین‌تر به محلول شدن و افزایش عناصر غذایی قابل استفاده خاک و تکثیر قارچ‌ها مرتبط باشد (Abubacker et al, 2014). بنابر نتایج پژوهش، EC با درصد کلونیزاسیون ریشه و فراوانی اسپور به ترتیب رابطه منفی و مثبت وجود دارد که از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. معمولاً با افزایش EC از میزان درصد کلونیزاسیون ریشه کاسته می‌شود. عوض‌زاده-مهریان و صدروی (۱۳۹۶) اظهار داشتند با افزایش شوری جوانه‌زنی و رشد هیف‌های قارچ AM و نیز ترشح مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای برقراری همزیستی کاهش می‌یابد. البته در پژوهش‌های گوناگونی حضور و عدم حضور اسپور قارچ در خاک‌های شور نیز گزارش شده است (Bhaskaran, 1997). گرچه طی این پژوهش، همبستگی معنی‌داری بین ویژگی‌های خاک با فراوانی و پتانسیل همزیستی قارچ‌های AM و گیاه لاله واژگون زرد مشاهده نشد، که این امر می‌تواند با تعداد کم نمونه‌های خاک یا سایر ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی مرتبط باشد. اما آنچه مشخص است، فراوانی رس، حاصلخیزی خاک بویژه فسفر قابل جذب بالا، کاهش پوشش گیاهی بر پتانسیل همزیستی قارچ‌های AM با گیاه تأثیر منفی دارد و در مقابل حفظ پوشش گیاهی تحت شرایط نامساعد محیطی وابستگی گیاه به همزیستی میکوریزی را افزایش می‌دهد. در این تحقیق فقط همبستگی بین برخی ویژگی‌های خاک با فراوانی اسپور و درصد کلونیزاسیون ریشه مورد پژوهش قرار گرفت. در حالی که عوامل گوناگونی از جمله اقلیم، توپوگرافی، گیاه میزبان، تنوع گونه‌ای و غیره بر روی فراوانی و پراکنش قارچ‌های میکوریز اثر گذار است. با توجه به جایگاه ویژه قارچ‌های میکوریز و اهمیت آنها در راستای همزیستی مثبت و بهبود عملکرد فیزیولوژی گیاه میزبان و افزایش مقاومت آن‌ها به تنش‌های محیطی، بررسی و شناسایی آنها گامی مهم است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در راستای تحقیقات کامل‌تر در مورد رویشگاه لاله واژگون زرد باشد. همچنین پیشنهاد می‌گردد با شناسایی گونه‌های فعال و مؤثر این قارچ‌ها، آنها را تکثیر و به صورت مایه تلقیح برای احیای مراتع مورد استفاده قرارداد.

References

- Abubacker, M.N., Visvanathan, M., & Srinivasan, S. (2014). Impact of pesticides on AMF spore population and diversity in banana (*Musca spp.*) plantation soils. *Biolife*, 2(4), 1279-1286.
- Anderson, J.P.E. (1982). Soil respiration. In A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney, Eds. *Methods of Soil Analysis, Part 2—Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, WI, (pp. 831–871).
- Avazzadeh-Mehrian, Z., & Sadravi, M., (2017). The effect of chemical properties of soil on symbiosis of apple and grape with arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(1), 115-125.
- Azaiaeh, H.A., Romheld, V. & Wittenmayer, L., (1995). Effects of a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus and other soil microorganisms on growth, mineral nutrient acquisition and root exudation of soil grown maize plants. *Mycorrhiza*, 5(5), 321-327.
- Aumtong, S., Sirinikorn, P., Susingsa, P., & Maungjai, N. (2010). Glomalin-related soil protein influence on soil aggregate stability in soils of cultivated areas and secondary forests from Northern Thailand. P 21-24, In: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N. & L. Zhang. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Front. Plant Sci*, 10, 1068.
- Bhaskaran, C., & Selvaraj, T. (1997). Seasonal incidence and distribution of VAM fungi in native saline soils. *Journal Environ. Biol*, 18, 209-212.
- Bohrer, K. E., Carl, F., Friese, J. & Amon, P. (2004). Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. *Mycorrhiza*, 14, 329-337.

- Carter, M.R. & Gregorich, E.G. (2008). Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd Edition, Canadian Society of Soil Science, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, 1, 1891-1894.
- Cornell, C., Kokkoris, V., Turcu, B., Dettman, J., Stefani, F. & N. Corradi (2022). The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* harmonizes nuclear dynamics in the presence of distinct abiotic factors. *Fungal Genet Biol*, 158, 103639.
- Dotzler, N., Walker, C., Krings, M., Hass, H., Kerp, H., Taylor, T.N. & Agerer, R., (2009). Acaulosporoid glomeromycotan spores with a germination shield from the 400-million-year-old Rhynie chert. *Mycological Progress*, 8, 9-18.
- Fazlollahi Mohammadi, M., Kooch, Y., & Said -Pulicino, D. (2016). "Slope gradient and shape effects on soil profiles in the northern mountainous forests of Iran. *Eurasian soil science*, 49, 1366-1374.
- Feizi Kamareh, T., Matinizadeh, M., Shirvany, A., Etemad, V. & Khoshnevis, M. (2011). Arbuscular mycorrhizal symbiosis of *Acer cinerascens* and effects of season variation on some rhizosphere Case study: Bazoft, Chaharmahal-o-Bakhtiari. *Iranian Journal of Forest*, 3(3), 213-221. (in Persian).
- Feng, L. X., F. S. Zhang, C. Y. Tian and C. Tang. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza Journals*, 12, 185-190.
- Fokom, R., Teugwa mofo, C., Nana Wakam, L., Ngonkeu Megapche, E.L., Tchameni, S., Nwaga, D., Rillig, C.M., and Amvam Zollo, P.H. (2013). Glomalin, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use changes in the humid forest zone in south Cameroon. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 11: 4. 581-592.
- Hayman, D. (1982). "Influence of soil and fertility on activity and survival of vesicular -arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathol*, 72, 1119-1125.
- Hillel, D. (1980). Applications of Soil Physics. Academic Press, Toronto, ON, Canada.
- Islamzadeh, N., Hosseini, S. M. & Murad Y., H. R., (2010). The study of the habitat of Laleh Vajgoun with Ellenberg's table, *Journal of Sciences and Arts of Natural Resources*, 1(5), 83-93.
- Jeffries, P., (2001). *Achievements in the past and outlook for the future of AMF*. Research School of Biosciences, University. Of kent, Canterbury, kent CT27NJ, VK.
- Kamali, N., Matinizadeh, M., Nori, E., Sori, M., & Dehghan, R. (2021). Analysis condition arbuscular mycorrhizal three species *Astragalus*. *Journal of rangeland*, 15, 411-420. (In Persian).
- Kormanik, P.P. & McGraw, A.C. (1982). Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: Schenck N.C. (ed.). *Methods and principles of mycorrhizal research*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, (pp. 37-45).
- Liu, M., Zheng, R., Bai, S., Bai, Y., & Wang, J. (2017). Slope aspect influences arbuscular mycorrhizal fungus communities in arid ecosystems of the Daqingshan Mountains, Inner Mongolia, North China. *Mycorrhiza*, 27, 189 -200.
- Loeppert, R.H., & Suarez, G.L. (1996). Carbonates and gypsum. In D. L. Sparks (ED.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3. 2th Ed. Chemical methods. Madison Wisconsin, USA (pp. 437-474).
- Madani, A., Lakzian, A., Haghnia, G.H., & Khorasani, R. (2012). The effect of cadmium, zinc and phosphorus on glomalin production by arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in symbiosis with white clover. Mashhad, *Journal Water Soil (Agricultural Science and Technology)*, 4 (26), 864-872.
- Moosavi, N.S., Sedaghati, E., Khodaygan, P., Alaei, H. & Hatami, N. (2023). Study of the diversity and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in Kolah'ghazy protected area, Isfahan Province. *Environmental Sciences*, 21(3), 31-48.
- Muthukrishnan, G., Gopalasubramaniam, S. K., & Perumal, P. (2018). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi for heavy metal-polluted soil management. *Microorganisms for Green Revolution*, 2, 91-113.
- Nobis A., Blaszkowski J., & Zubeck S. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi associations of vascular plants confined to river valleys: towards understanding the river corridor plant distribution. *Journal of plant research*, 128(1), 127-37.
- Norrief, IR., Read, D.J., & Varma, A.K. (1992). *Methods in Microbiology Techniques for Study of Mycorrhiza*. Academic press, London.
- Panahi, P., Karimi, L., Kamali, N., Hassannejad, J., & Safarzadeh, A., (2019). Khombi Reserve, North Khorasan Province, the largest habitat of yellow tulips in the country. *Nature of Iran*, 4, 111-127.
- Ramak, P., Torkashvand, S., & Razavizadeh, R., (2016). Arbuscular mycorrhizal symbiosis of *Thymus kotschyamus* Boiss. & Hohen. in relation with soil elements during spring and autumn in Noujian Watershed (Lorestan province). *Journal of Plant biology of Iran*, 28, 31-46.

- 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.
- Razouk, R., & A. Kajji. (2015). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Water Relations and Growth of Young Plum Trees under Severe Water Stress Conditions. *Int. Journal of Plant Sci*, 5(5), 300-312.
- Safari Sinegani, A., & Elyasi Yeganeh, M., (2017). The occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soil and root of medicinal plants in Bu-Ali Sina garden in Hamadan, Iran. *Biological Journal of Microorganism*, 20, 43-59.
- Sajedi, n. A & Rejali, F. (2011). Impact of drought on the application and mycorrhizal inoculation on nutrient uptake in corn. *Journal of Soil and Water*, 25, 92-83.
- Schenck, N.C., & Perez, Y. (1988). Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi. p. 241. IN: Vesicle Arbuscular Mycorrhizal, 1453 Fifield Hall, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- Shirzad, H., & Ghorbany, M. (2015). Survey of Arbuscular Mycorrhizal Fungi symbiosis with cotton root in north khorasan province. *Iranian Journal of Cotton Researches*, 2, 1-12.
- Tadesse, C. S. & A. T. Fassil. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with shade trees and *Coffea Arabica* L. in a coffee-based agroforestry system in Bonga, Southwestern Ethiopia. *Afrika Focus*, 26 (2), 111-131.
- Tao, L., & Zhiwei, Z. (2005). Arbuscular mycorrhizas in a hot and arid ecosystem in southwest China. *Journal Applied Soil Ecology*, 29, 135-141.
- Varma, A., Prasad, R., & Tuteja, N. (2018). Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. (pp 533).
- Vinichuk, M., Taylor, A.F.S., Rosén, K. & Johanson, K.J. (2010). Accumulation of potassium, rubidium and caesium (¹³³Cs and ¹³⁷Cs) in various fractions of soil and fungi in a Swedish forest. *Science of the Total Environment*, 408, 2543-8.
- Wang, M., Wang, Z., Guo, M., Qu, L. & A. Biere. (2023). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and herbivore infestation depend on availability of soil water and nutrients. *Front. Plant Sci*, 14, 1101932.
- Wu, Q. S. & Zou, Y. N. (2009). Mycorrhizal influence on nutrient uptake of citrus exposed to drought stress. *The Philippine Agricultural Scientist*, 92, 33-38.
- Xiao-lin, L. G. Erchhard., H. Marchner & Jun-Ling., Zhang. (1997). Phosphorus acquisition from compacted soil by hyphae of a mycorrhizal fungus associated with red clover (*Trifolium pratense*). *Can.J.Bot*, 75, 723-729.
- Yang, Y., He, C., Huang, L., Ban, Y., & Tang, M. (2017). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on glomalin-related soil protein distribution, aggregate stability and their relationships with soil properties at different soil depths in lead-zinc contaminated area. *PloS one*, 12(8), 1-19.
- Zhang, H., Wei, S., Hu, W., Xiao, L. & M. Tang. (2017). Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Rhizophagus irregularis* Increased Potassium Content and Expression of Genes Encoding Potassium Channels in *Lycium barbarum*. *Front. Plant Sci*, 8, 440.
- Zhu, Y.G., & Miller, R.M. (2003). Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. *Journal- Trends in plant science*, 8, 407-509.