

اثر مبداء بذر و تلقیح میکوریزی بر مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های فندق در منطقه فندقلو

یونس رستمی کیا^{۱*}، محمد متینی زاده^۲، احمد رحمانی^۲

۱. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
۲. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹

چکیده

یکی از دلایل مهم عدم موفقیت پروژه‌های نهال‌کاری با گونه فندق، تغییرات اقلیمی و به دنبال آن تنش‌های ناشی از خشکی در سال‌های اولیه رویش است. این تحقیق با هدف احیاء و توسعه توده‌های جنگلی تخریب شده فندق در شرایط دیم در جنگل فندقلوی اردبیل انجام شد. بدین منظور، در اوایل اردیبهشت ۱۳۹۵ در نهالستان فندقلوی اردبیل، نو نهال‌های گلدانی فندق تولید شده از سه مبداء بذری شامل فندقلو (جنگل فندقلوی اردبیل)، مکش (جنگل آق‌اولر گیلان) و مکیدی (جنگل ارسباران)، با قارچ‌های *Rhizophagus irregularis* و نیز مایه تجاری Myco root (حاوی قارچ میکوریزی آربوسکولار، *R. irregularis* و *Glomus mosseae*، *G. Etunicatum*) تلقیح شدند. سپس، در فروردین ۱۳۹۶، نهال‌های یکنواخت یکساله فندق به اراضی حاشیه جنگل فندقلو (مساحت ۶۰۷۵ مترمربع) منتقل شدند و به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ۲۵ تایی در شرایط دیم مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج پس از چهار سال نشان داد که نهال‌های میکوریزی، تولید شده از بذرهای هر سه مبداء، در اغلب صفات مورد بررسی از اندازه‌های بزرگتری نسبت به نهال‌های تلقیح نشده برخوردار بودند. بیشترین مقدار کلنیزاسیون ریشه نهال‌ها (۵۱/۹ درصد)، و همچنین، بزرگترین اندازه‌های اغلب متغیرهای اندازه‌گیری شده به نهال‌های مبداء فندقلو تلقیح شده با قارچ *R. irregularis* اختصاص داشت. طوری که زنده‌مانی ۵۲/۷ درصد، رویش قطریقه ۸۲/۱ درصد، رویش ارتفاع ۵۸/۹ درصد، فتوستتوز ۱۰۲ درصد، هدایت روزنه‌ای ۱۵۲/۲ درصد، کارائی مصرف آب ۲۷۲/۹ درصد و محتوای کلروفیل ۶۳/۶ درصد نسبت به شاهد (نهال‌های غیرمیکوریزی مبداء فندقلو) افزایش داشت. با توجه به همزیستی رضایت‌بخش نهال‌های فندق با قارچ‌های میکوریزی، برای تولید نهال فندق در نهالستان جنگلی فندقلو و کاشت آن در عرصه‌های تخریب شده این منطقه، نهال تولید شده از مبداء بذر فندقلو همزیست شده با قارچ *R. irregularis*، نسبت به نهال‌های با مبداء بذری مکش و مکیدی تلقیح شده با مایه تجاری Myco root ارجحیت دارد.

واژه‌های کلیدی: رشد ارتفاعی، زنده‌مانی، فندق، قارچ رایزوفآگوس، نرخ فتوستتوز.

مقدمه

مهم‌ترین گونه این جنگل را فندق (*Corylus avellana*) تشکیل می‌دهد که به صورت توده‌های خالص یا همراه با سایر گونه‌های جنگلی رویش دارد [۲]. متأسفانه در سال‌های اخیر تبدیل کاربری، چرای دام، آتش‌سوزی و

جنگل فندقلو با توجه به شرایط اقلیمی و رویشگاهی از تنوع و ترکیب پوشش گیاهی غنی برخوردار است [۱].

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۵۳۳۲۸۷۶۳

قطع درختان از عوامل تأثیرگذار در تخریب این جنگل با ارزش بوده است [۳].

فندق جزء گونه‌های پیش‌آهنگ در مراحل اولیه توالی جنگل است و نقش بسیار مهمی در احیاء جنگل‌های مخروطه دارد و می‌تواند به‌عنوان درختچه پرستار در استقرار و حفاظت از نهال‌های گونه‌های جنگلی موثر باشد [۴، ۵] و به لحاظ اینکه تولید میوه آن از ارزش اقتصادی زیادی برخوردار است، می‌تواند در احیاء اراضی بایر و احداث باغات فندق در منطقه، مورد استفاده قرار گیرد [۶].

در حال حاضر اجرای پروژه‌های نهال‌کاری به دلیل تغییرات اقلیمی و تنش‌های ناشی از خشکی که اغلب در طول دوره رویش حادث می‌شود؛ به‌ویژه در سال‌های اولیه رویش نهال‌ها که گیاه به همه عوامل محیطی زنده و غیرزنده حساس است، یکی از دلایل مهم عدم موفقیت پروژه‌های نهال‌کاری با فندق محسوب می‌شود. بنابراین استفاده از فن‌آوری‌های نوین در نهال‌کاری با این گونه اجتناب‌ناپذیر است. یکی از این فن‌آوری‌ها برای مقابله با تنش خشکی، استفاده از قارچ‌های مفید خاکزی است که در اثر همزیستی با ریشه گیاهان نقش مهمی در تعدیل اثر خشکی و بهبود صفات رویشی به‌ویژه درصد استقرار و زنده‌مانی آنها ایفا می‌کند [۷]. قارچ میکوریزی آربوسکولار *Rhizophagus irregularis* از جمله قارچ‌های غیر اختصاصی خاک هستند که با ریشه اکثر گیاهان رابطه همزیستی دارند که در جذب مواد غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرک در خاک مؤثر هستند [۸] و با تقویت ساختار خاک، استفاده از آب، مواد مغذی و فتوسنتز را در محیط‌های نامطلوب تقویت می‌کنند [۹] و به‌واسطه افزایش تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین موجب افزایش رشد و زی‌توده گیاه می‌شوند [۱۰، ۱۱].

اگرچه در زمینه اثرات مثبت تلقیح قارچ‌های میکوریزی بر زنده‌مانی و صفات رویشی نهال‌های جنگلی فندق در شرایط نهالستان گزارش‌هایی منتشر شده است [۱۲، ۱۳]. ولی تاکنون هیچ پژوهشی مبنی بر تأثیر تلقیح قارچ

میکوریزی بر صفات رویشی نهال جنگلی فندق در عرصه‌های طبیعی در داخل و خارج کشور گزارش نشده است. در ارتباط با استفاده از سایر نهال‌های میکوریزی برای آزمایش در عرصه‌های طبیعی گزارش‌های چندی منتشر شده است. از جمله، ارزیابی اثربخشی تلقیح قارچ میکوریز *(R. irregularis)* و افزودن کمپوست برای تقویت جنگل‌کاری با *Olea europaea* از طریق تغییرات صفات رویشی نهال‌ها و پارامترهای فیزیکی خاک در منطقه Murcia (جنوب شرق اسپانیا) نشان داد که بعد از یکسال نهال‌های میکوریزی رویش قطریقه (۴۵/۸ درصد) و رویش ارتفاع (۶۲/۴ درصد) بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد دارند و مشخصه‌های فیزیکی خاک (درصد خاکدانه‌های پایدار و جرم ظاهری خاک) به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تلقیح نهال‌ها و افزودن کمپوست به خاک قرار گرفتند [۱۴].

در تحقیقی دیگر، بررسی تأثیر هم‌افزایی تلقیح قارچ میکوریزی آربوسکولار *(R. irregularis)* و کمپوست بر رشد رویشی نهال‌های پسته (*Pistacia lentiscus L.*) در جنگل‌کاری واقع در منطقه نیمه‌خشک مدیترانه‌ای جنوب شرق اسپانیا نشان داد که تلقیح نهال‌ها با قارچ *R. irregularis* و افزودن بقایای کمپوست، بعد از یکسال باعث افزایش ۱۰۶ درصدی رویش طولی نهال‌ها در مقایسه با شاهد شد [۱۵].

اثر تلقیح قارچ‌های میکوریزی *Glomus mosseae* و *R. irregularis* روی نهال‌های زیتون (*Olea europaea*) در شرایط نهالستان و عرصه در شمال‌شرقی اسپانیا نشان داد که هر دو قارچ باعث افزایش رشد رویشی نهال‌ها شدند. اندازه‌گیری‌ها بعد از ۲۰ ماه در عرصه مشخص کرد که بیشترین درصد افزایش رویش قطری و ارتفاعی به‌ترتیب با ۲۳/۸ و ۱۲/۵ درصد به نهال‌های تلقیح شده با *R. irregularis* تعلق دارد [۱۶].

در تحقیقی قابلیت احیاء و بازسازی تپه‌های شنی معدنی در شمال‌شرقی برزیل با کاشت نهال‌های *Guazuma ulmifera*

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در حاشیه جنگل فندقلو (اراضی زارعی دیم واقع در روستای خانقاه سفلی) با مختصات $38^{\circ}24'1''$ عرض شمالی و $48^{\circ}32'27''$ طول شرقی و ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس داده‌های ۱۵ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹) ایستگاه کلیماتولوژی شهرستان نمین (نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه)، حداکثر درجه حرارت $37/5$ درجه سانتی‌گراد در مردادماه، حداقل درجه حرارت $21/1$ - درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه و متوسط دمای سالانه $8/9$ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش سالانه $357/8$ میلی‌متر است. البته، مقدار واقعی بارندگی سالانه در این منطقه جنگلی به دلیل نفوذ جریان‌ات خزری که باعث مه - بارش (باران مخفی در فصل پاییز و زمستان) می‌شود، بیشتر از این مقدار است. بر اساس فرمول آمبرژه ($Q=38/35$) و مقدار $m=7$ (معدل حداقل دما در سردترین ماه سال)، اقلیم منطقه نیمه مرطوب با زمستان‌های سرد است. شکل ۱ منحنی آمبروترمیک شهرستان نمین را نشان می‌دهد که طول فصل خشک در منطقه حدود ۴ ماه است که از اواخر خرداد ماه شروع و تا اواخر مهرماه ادامه دارد.

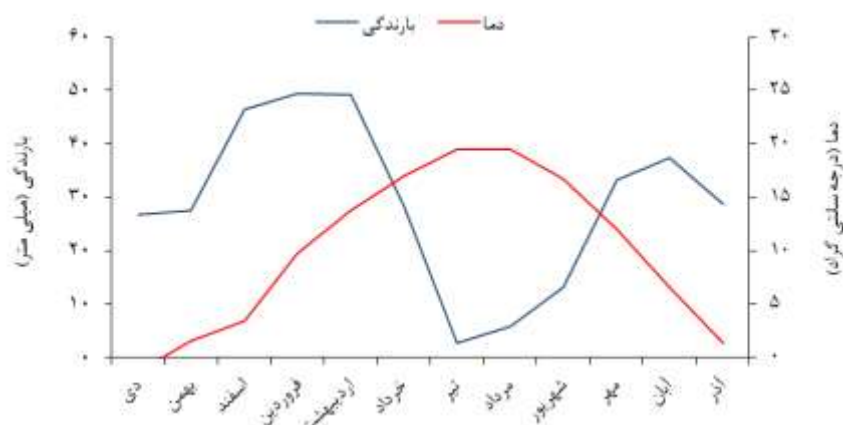
روش پژوهش

اوایل مهرماه ۱۳۹۴ میوه‌های فندق از پایه‌های مادری میانسال و سالم با ویژگی‌های یکسان از نظر قطر یقه (۱۰ سانتی‌متر) و ارتفاع (۳/۵۰ متر) از سه رویشگاه جنگلی جمع‌آوری شدند (جدول ۱).

جهت تعیین صفات کمی و کیفی بذور و میوه، از هر مبداء ۱۰۰ عدد میوه فندق انتخاب شد. سپس وزن و مغز فندقه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت $0/001$ گرم و ابعاد فندقه (طول و عرض) به وسیله کولیس با دقت $0/1$ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

و *Tabebuia roseo-alba* تلقیح شده با قارچ میکوریزی بومی (*Acaulospora longula*) بعد از ۱۶ ماه معلوم شد این قارچ با ریشه نهال‌های فوق به ترتیب ۶۲ و ۵۵ درصد همزیستی دارد و درصد استقرار به ترتیب ۵۴ و ۴۲ درصد و رشد رویش ارتفاعی ۳۵ و ۲۸ درصد نهال‌های تلقیح شده با این قارچ در مقایسه با نهال‌های تلقیح نشده (شاهد) افزایش دارد [۱۷]. مطالعه انجام شده در ارتباط با احیاء اراضی تخریب شده بیابان Sonoran چین با گونه‌های *Prosopis microphylla* و *Parkinsonia florida articulate* تلقیح شده با قارچ میکوریز از جنس *Glomus* و باکتری‌های *Bacillus pumilus* و *Azospirillum brasilense* استفاده از کمپوست، بعد از ۳۰ ماه نشان داد که درصد زنده‌مانی، رشد ارتفاعی و قطری نهال‌های تلقیح شده با قارچ میکوریزی هر سه گونه در مقایسه با شاهد بین ۶۰ تا ۹۰ درصد افزایش داشت [۱۸]. همچنین یافته‌های مربوط به اثر تلقیح قارچ میکوریزی آربوسکولار (*Funneliformis mosseae*) بر رشد و فتوسنتز نهال‌های زردآلو (*Prunus sibirica* L) در یک معدن شنی در شمال غربی چین بعد از ۵ سال نشان داد که بیشترین مقدار کلنیزاسیون ریشه نهال‌ها $83/7$ درصد بود. نهال‌های تلقیح شده، بیوماس خشک ریشه (۴۲ درصد)، نرخ فتوسنتز ($82/2$ درصد)، هدایت روزنه‌ای ($49/7$ درصد) و کارایی مصرف آب ($90/2$ درصد) بیشتری در مقایسه با نهال‌های تلقیح نشده (شاهد) داشتند [۱۹].

با توجه به اهمیت اکولوژیکی و اقتصادی گونه فندق، شناسایی روش‌های افزایش توان سازگاری و استقرار و رشد رویشی مطلوب این گونه برای احیاء توده‌های تخریب شده و همچنین استفاده از آن در برنامه‌های نهالکاری ضروری است. پژوهش حاضر، برای اولین بار در کشور برای تعیین اثر تلقیح قارچ‌های میکوریزی بر صفات رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های فندق در عرصه و در شرایط دیم با هدف جنگل‌کاری در جنگل‌های تخریب شده فندق منطقه فندقلوی اردبیل انجام شد.



شکل ۱. منحنی آمبروترمیک شهرستان نمین بر اساس داده‌های ۱۵ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹).

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی و رویشگاهی محل جمع‌آوری بذرهاى فندق

رویشگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	جهت جغرافیایی	اقلیم
مکش	۱۶۲۰ - ۱۵۵۰	۳۷°۴۳'۰۲"	۴۷°۵۳'۱۰"	جنوبی - جنوب غربی	مرطوب سرد با دو ماه فصل خشک
فندقلو	۱۴۳۰ - ۱۴۷۰	۳۸°۱۹'۱۶"	۴۸°۳۶'۲۸"	جنوبی	نیمه مرطوب سرد با چهار ماه فصل خشک
مکیدى	۱۴۷۰ - ۱۵۲۰	۳۸°۵۱'۱۵"	۴۸°۳۹'۱۷"	جنوب غربی	نیمه مرطوب سرد کوهستانی با سه ماه فصل خشک

جدول ۲. میانگین خصوصیات کمی و کیفی میوه‌های جمع‌آوری شده از سه رویشگاه جنگلی.

مبدأ	طول فندقه (سانتی‌متر)	عرض فندقه (سانتی‌متر)	وزن فندقه (گرم)	وزن مغز (گرم)	پوکی فندقه (درصد)
مکش	۱/۸۸ ± ۰/۱۱	۱/۴۵ ± ۰/۱۲	۲/۴۲ ± ۰/۲۹	۰/۶۶ ± ۰/۰۹	۸/۰ ± ۱/۹۲
فندقلو	۱/۶۱ ± ۰/۰۹	۱/۵۵ ± ۰/۱۴	۱/۷۷ ± ۰/۲۱	۰/۵۷ ± ۰/۲۱	۱۷/۲ ± ۶/۳۵
مکیدى	۱/۴۸ ± ۰/۱۵	۱/۴۲ ± ۰/۲۳	۱/۴۲ ± ۰/۴۱	۰/۳۸ ± ۰/۱۹	۳۱/۳ ± ۲/۴۰

اشتباه معیار ± میانگین

زیست فناوری پیش‌تاز واریان، تحت نظارت بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شدند. یک‌ماه پس از رشد نونهال‌ها (اوایل اردیبهشت ۱۳۹۵) در بستر کشت گلدان (منطقه ریشه نونهال‌ها)، مقدار ۵۰ گرم پروپاگول از هر یک از قارچ‌های میکوریزی فوق قرار داده شد [۲۱]. سپس، در فروردین ۱۳۹۶، تعدادی نهال‌های یکساله و یکنواخت فندق انتخاب و به اراضی حاشیه جنگل فندقلو (مساحت ۶۰۷۵ مترمربع) منتقل شدند. نهال‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور ذکر شده در بالا (مبدأ نهال در سه سطح، و تلقیح قارچی در سه سطح *Rhizophagus irregularis*، مایه

جهت ضدعفونی بذرها از قارچ‌کش کاربوکسین تیرام (۲ در ۱۰۰۰) استفاده شد. سپس بذرها با آب مقطر شسته شدند و برای اعمال تیمار میوه‌های فندق در ماسه مرطوب در دمای 1 ± 4 درجه سانتی‌گراد (یخچال) به مدت چهارماه لایه‌گذاری شدند [۲۰].

آلوده‌سازی ریشه نهال‌ها و انتقال به عرصه

جمعیت قارچ میکوریزی *Rhizophagus irregularis* و نیز مایه تلقیح تجاری میکوریزی با نام تجاری *Myco root* (حاوی قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار سویه‌های *Rhizophagus irregularis* *Glomus mosseae* و *G. etunicatum*) با ۱۰۰ پروپاگول در هرگرم، از شرکت

عرصه نمونه‌ها برداشت شد و پس از مخلوط کردن، نمونه‌های یک کیلویی تهیه و جهت آزمایش به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل انتقال داده شد. مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

تلقیح تجاری Myco root (و شاهد) با سه تکرار ۲۵ تایی کاشته شدند. نهال‌ها در فواصل ۳ × ۳ متر، به مدت چهار سال در شرایط دیم مورد آزمایش قرار گرفتند. در طی دوره آزمایش، وجین علف‌های هرز و خاک دادن پای نهال‌ها انجام شد. قبل از انتقال نهال‌ها به عرصه، از دو عمق ۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۴۰ سانتی متری خاک از چندین نقطه

جدول ۳. مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی محل اجرای پروژه واقع در اراضی زراعی حاشیه جنگل فندقلو

عمق خاک (cm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds/m)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	مواد آلی (درصد)	ازت (درصد)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)
۰-۲۰	۶/۷۹	۰/۵۶۱	۳۶	۲۸	۳۶	رسی لومی	۳/۲۶	۰/۱۷	۱۰/۰۴	۱۸۳
۲۰-۴۰	۷/۳۸	۰/۳۸۰	۱۴	۳۶	۵۰	شنی لومی	۱/۷۸	۰/۳۰	۲۹/۴۳	۳۴۲

شده‌ای قرار داشت، پخش شد. سپس در هر خط افقی و عمودی تعداد برخورد‌های ریشه و تعداد برخورد‌های ریشه‌های میکوریزی شده (وجود ساختارهایی از قبیل هیف، آربسکولار، وزیکول و اسپور) با اضلاع شبکه تعیین و درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها (شکل ۲) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد [۲۴].

$$(1) \quad \frac{\text{تعداد ریشه‌های میکوریزی}}{\text{تعداد ریشه‌های برخورد کرده با اضلاع شبکه}} \times 100 = \text{درصد کلنیزاسیون}$$

تعیین زنده‌مانی و صفات مرفولوژیکی

تعداد نهال‌های سبز شده و باقی‌مانده تا زمان اندازه‌گیری‌ها نسبت به تعداد نهال‌های کاشته شده به‌عنوان درصد زنده‌مانی تعیین شد. با استفاده از شاخص مدرج و نوار قطر سنج به ترتیب اندازه‌گیری اولیه ارتفاع و قطریقه نهال‌ها و اندازه‌گیری ثانویه آنها در انتهای دوره رویش (مهر ۱۳۹۹) انجام شد. با تفاضل دو اندازه‌گیری اول و دوم، رویش قطریقه و رویش ارتفاعی نهال تعیین شد.

تعیین صفات فیزیولوژیکی

در انتهای دوره رویش سال چهارم، صفات فیزیولوژیکی شامل نرخ فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و تعرق سلولی

تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه

قبل از کشت نهال‌ها در عرصه، و نیز بعد از کاشت و در انتهای سال چهارم، درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه نهال‌ها تعیین شد. برای این کار، به ازای هر تیمار، سه نهال به‌طور تصادفی انتخاب و از هر نهال ۱۰ قطعه ریشه یک سانتی متری تهیه و رنگ‌آمیزی شد [۲۲]. به‌منظور رنگ‌بری و نرم کردن بافت‌ها، ریشه‌ها به مدت یک ساعت در محلول هیدورکسید پتاسیم ۱۰ درصد و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند، پس از چند بار شستشو ریشه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در محلول آب اکسیژنه قلیایی ۱۰ درصد (3 ml NH₄OH + 30 ml H₂O₂) برای رنگ‌بری کامل قرار داده شدند. سپس ریشه‌ها چندین مرتبه شسته شده و جهت آماده کردن بافت‌ها برای رنگ‌پذیری به مدت سه دقیقه در محلول هیدورکسید پتاسیم (۱ درصد) و ریشه‌ها در محلول لاکتوگلیسرین تریان‌بلو به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا ریشه‌ها رنگ بگیرند. پس از رنگ‌آمیزی، درصد کلنیزاسیون ریشه‌ها بر اساس روش تقاطع شبکه در زیر دستگاه بینوکولار تعیین شد [۲۳]. در این روش هر نمونه از ریشه رنگ‌آمیزی شده، در داخل یک پتری‌دیش که در زیر آن یک صفحه شبکه‌بندی

نتایج و بحث

درصد کلنیزاسیون

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کلنیزاسیون با ۵۱/۹ درصد به نهال‌های مبدا فندقلو تلقیح شده با قارچ *R. irregularis* و کمترین مقدار آن با ۱۰/۱ درصد به نهال‌های مبدا مکیدی بدون تلقیح (شاهد) اختصاص دارد (جدول ۴ و شکل ۲). همان‌طوری‌که در جدول نیز ارایه شده است پس از چهار سال ریشه نهال‌های شاهد (بدون تلقیح) فندقلو اردبیل، مکش و مکیدی به ترتیب ۱۷/۵۰، ۱۲/۵۰ و ۱۰/۱۰ درصد کلنیزاسیون داشتند که در این زمینه می‌توان اظهار داشت که ریشه نهال‌ها در طی این مدت توانسته‌اند با قارچ‌های طبیعی که در خاک عرصه وجود دارند همزیست شوند. در این ارتباط بررسی خاک پیرامون ریشه‌های فندق در جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته مناطق معتدله لهستان نشان داد که ریشه‌های فندق همزیستی زیادی با قارچ‌های *T. aestivum*، *T. rufum* و *T. excavatum* دارند [۲۷]. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک، خواص زیستی و بیوشیمیایی آن است که در آن میکروارگانیسم‌ها در تعامل با ریشه گیاهان (کلنیزاسیون ریشه) نقش مهمی در تجزیه مواد آلی و چرخه مواد غذایی دارند و باعث افزایش کیفیت و حاصلخیزی خاک می‌شوند [۲۸، ۲۹].

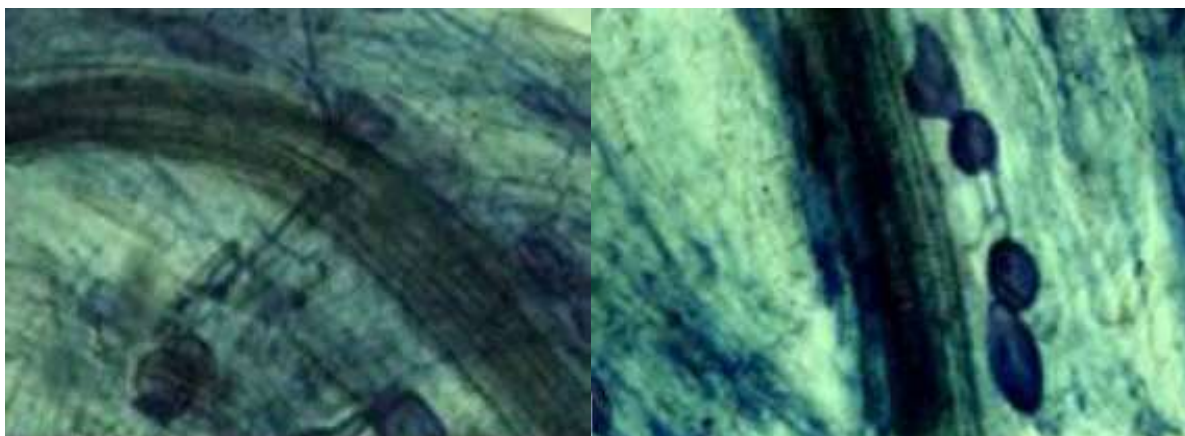
در واحد سطح برگ نهال‌ها اندازه‌گیری شدند. بدین منظور در هر تیمار، ۳ نهال به‌طور تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری‌ها روی چهارمین و پنجمین برگ بالغ سالم و کاملاً رشد یافته از نوک گیاه با استفاده از یک دستگاه فتوستتزی قابل حمل (ADC bioScientific Ltd., UK) در یک روز آفتابی (اواسط شهریور ماه) و در هوای آزاد تحت شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا بین ساعت ۹:۳۰ تا ۱۱:۳۰ در حالی‌که دمای ثابت برگ بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود، انجام شد و کارایی مصرف آب گیاه بر اساس میزان فتوستتزی به‌میزان تعرق محاسبه شد [۲۵]. محتوی کلروفیل با استفاده از دستگاه (Model SPAD 502 Minolta, Japan) از برگ‌های قسمت بالایی نهال (از هر نهال سه برگ از یک پنجم بالایی) تعیین شد [۲۶].

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 صورت گرفت. نرمال بودن داده‌ها از آزمون Shapiro - Wilk و همگنی واریانس داده‌ها از طریق آزمون لون (Levene) تعیین شد. برای بررسی تأثیر معنی‌داری تیمارهای اصلی و تأثیر متقابل آنها بر ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌ها از آزمون آنالیز واریانس دو طرفه و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح آماری پنج درصد استفاده شد.

جدول ۴. میانگین درصد کلنیزاسیون نهال‌های فندق جنگلی با تلقیح قارچ.

تغییرات درصد کلنیزاسیون	درصد کلنیزاسیون در سال چهارم کاشت	درصد کلنیزاسیون قبل از کاشت	تلقیح قارچ	مبدا نهال
۱۷/۵۰	۱۷/۵۰	۰	شاهد	
۴/۷	۴۰/۴	۳۴/۷	Myco root	فندقلو اردبیل
۷/۵	۵۱/۹	۴۴/۴	<i>R. irregularis</i>	
۱۲/۵	۱۲/۵	۰	شاهد	
۵/۶	۳۵/۸	۳۰/۲	Myco root	مکش گیلان
۶/۹	۴۸/۹	۴۲/۰	<i>R. irregularis</i>	
۱۰/۱	۱۰/۱	۰	شاهد	
۶/۴	۴۰/۵	۳۴/۱	Myco root	مکیدی ارسباران
۵/۷	۳۶/۵	۳۰/۸	<i>R. irregularis</i>	



شکل ۲. ساختارهایی از قبیل هیف، آربسکولار، وزیکول و اسپورهای قارچ *R. irregularis* روی ریشه نهال‌های فندق (مبداء فندقلوی اردبیل) در سال چهارم پس از کاشت.

زنده‌مانی و صفات رویشی

نتایج نشان داد اثر مبداء بذر، تلقیح قارچ و اثر متقابل تیمارها تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد بر صفات درصد کلنیزاسیون، درصد زنده‌مانی، ارتفاع و قطریه نهال‌ها داشتند (جدول ۵).

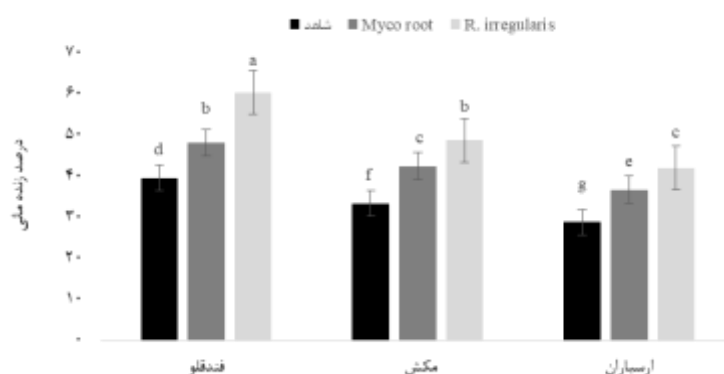
بیشترین زنده‌مانی با ۶۰/۵ درصد به نهال‌های فندق با مبداء فندقلوی اردبیل در تلقیح با قارچ *R. irregularis* و کمترین زنده‌مانی با ۲۸/۱ درصد به نهال‌های شاهد (تلقیح نشده با قارچ) با مبداء مکیدی ارسباران اختصاص دارد. نهال‌های مبداء فندقلوی اردبیل، مکش و مکیدی به ترتیب ۵۲/۷، ۴۶/۶ و ۴۵/۶ درصد افزایش زنده‌مانی در مقایسه با شاهد دارند (شکل ۳). در این راستا، استون و همکاران [۱۶] با بررسی اثر تلقیح قارچ‌های میکوریزی *Glomus mosseae* و *R. irregularis* بر نهال‌های زیتون (*Olea europaea*) در شرایط نهالستان و عرصه در شمال شرقی اسپانیا نشان دادند که هر دو قارچ باعث افزایش رشد رویشی نهال‌ها شدند. اندازه‌گیری‌ها بعد از ۲۰ ماه در عرصه مشخص کرد که بیشترین درصد افزایش رشد قطری و ارتفاعی به ترتیب با ۲۳/۸ و ۱۲/۵ درصد به نهال

های تلقیح شده با *R. irregularis* تعلق دارد. کاشت نهال‌های *Guazuma ulmifera* و *Tabebuia roseo-alba* تلقیح شده با قارچ میکوریزی بومی (*Acaulospora longula*) با هدف احیاء اراضی معدن‌کاوی شده در شمال شرقی برزیل بعد از ۱۶ ماه نشان داد که این قارچ با ریشه نهال‌های فوق به ترتیب ۶۲ و ۵۵ درصد همزیستی دارد و درصد استقرار به ترتیب ۵۴ و ۴۲ درصد و رشد رویشی ۳۵ و ۲۸ درصد نهال‌های تلقیح شده با این قارچ در مقایسه با نهال‌های تلقیح نشده (شاهد) افزایش دارد [۱۷]. قارچ‌های میکوریزی با گسترش هیف‌های خود سطح جذب را افزایش داده و قادرند آب و مواد غذایی بیشتری در اختیار نهال‌های فندق قرار دهند و باعث افزایش درصد زنده‌مانی نهال‌ها شوند. در این راستا می‌توان اظهار داشت قارچ‌های میکوریزی علاوه بر افزایش جذب مواد غذایی و معدنی در گیاه، می‌توانند با افزایش ترشح مواد تنظیم‌کننده رشد سبب افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی و افزایش مقاومت به سایر تنش‌های محیطی نیز شوند [۳۰].

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر مبداء بذر و تلقیح قارچ بر زنده‌مانی و رشد رویشی نهال‌های فندق.

منابع تغییرات		درجه آزادی	میانگین مربعات	
			زنده‌مانی (درصد)	رویش قطر یقه (میلی‌متر)
			رویش ارتفاعی (سانتی‌متر)	
بلوک	۲	۹۰۷/۰۱	۳۶/۹۷	۸۲/۳۷
مبداء بذر	۲	۸۷۶/۵۴**	۲۵/۵۱ *	۲۱۱/۰۸ *
تلقیح قارچ	۲	۱۶۰۷/۴**	۹۸/۷۹ *	۱۱۶/۳۳*
مبداء نهال × تلقیح قارچ	۴	۱۲۹۰/۰۲*	۵/۰۴ *	۳۵/۲۵*
خطای آزمایشی	۱۶	۱۲/۳۸	۱/۰۱	۰/۰۹
خطای کل	۲۶	۴۸۱۰/۹۵	۱۶۷/۳۲	۴۴۵/۰۳
ضریب تغییرات	-	۱۰/۹۱	۱۱/۰۹	۱۲/۵۲

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح خطای کمتر از ۵ و ۱ درصد است.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل مبداء نهال و تلقیح قارچ بر درصد زنده‌مانی نهال‌های فندق. میانگین‌هایی با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

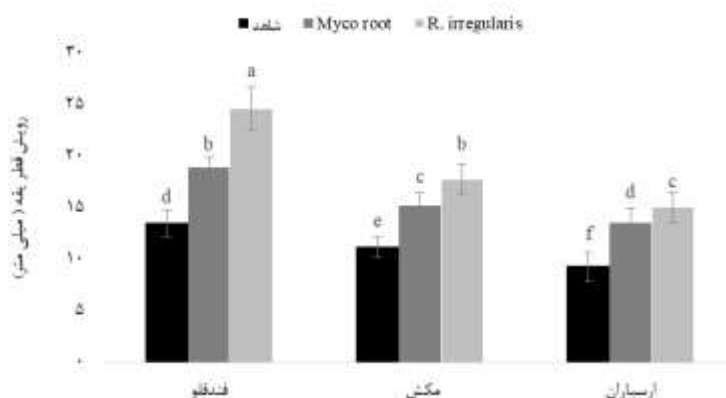
نشده (شاهد) شدند. اثربخشی تلقیح قارچ میکوریز (*R. irregularis*) در جنگل‌کاری *Olea europaea* از طریق تغییرات صفات رویشی نهال‌ها در منطقه Murcia (جنوب شرق اسپانیا) نشان داد که بعد از یکسال نهال‌های میکوریزی، رویش قطر یقه (۴۵/۸ درصد) و ارتفاع (۶۲/۴ درصد) بیشتری در مقایسه با نهال‌های شاهد داشتند [۱۴].

بیشترین مقدار رویش ارتفاعی با ۵۰/۲ سانتی‌متر به نهال‌های فندق با مبداء فندقلوی اردبیل در تلقیح با قارچ *R. irregularis* و کمترین مقدار آن با ۲۴/۲ سانتی‌متر به نهال‌های شاهد (تلقیح نشده با قارچ) با مبداء مکیدی ارسباران اختصاص داشت. نهال‌های تلقیح شده مبداء فندقلوی اردبیل، مکش و مکیدی به ترتیب ۵۸/۹، ۵۴/۹ و ۴۶/۳ درصد افزایش رویش ارتفاعی در مقایسه با شاهد نشان دادند (شکل ۵). در این ارتباط، بررسی تأثیر هم‌افزایی تلقیح

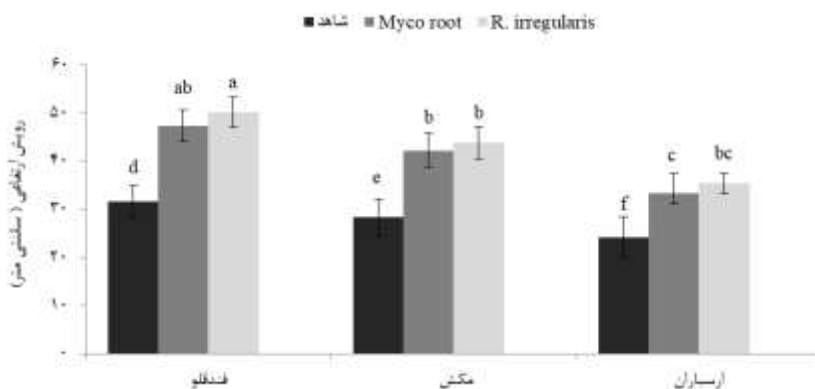
بیشترین مقدار رویش قطر یقه با ۲۴/۶ میلی‌متر به نهال‌های فندق با مبداء فندقلوی اردبیل در تلقیح با قارچ *R. irregularis* و کمترین مقدار آن با ۹/۳ میلی‌متر به نهال‌های شاهد (تلقیح نشده با قارچ) با مبداء مکیدی ارسباران اختصاص دارد. بر اساس شکل ۴ نهال‌های مبداء فندقلوی اردبیل، مکش و مکیدی به ترتیب ۸۲/۱، ۵۸/۹ و ۶۲/۴ درصد افزایش رویش قطر یقه در مقایسه با شاهد دارند (شکل ۴). در این ارتباط نتایج ریناتا و همکاران [۱۷] نشان دادند که کاشت نهال‌های *Guazuma ulmifera* و *Tabebuia roseo-alba* تلقیح شده با قارچ میکوریزی بومی (*Acaulospora longula*) در تپه‌های معدن‌کاوی شده در شمال شرقی برزیل در شرایط دیم باعث افزایش درصد استقرار به ترتیب ۵۴ و ۴۲ درصد و رشد رویشی به ترتیب ۳۵ تا ۲۸ درصد در مقایسه با نهال‌های تلقیح

با شاهد شد [۱۵]. مطالعات باشان و همکاران [۱۸] نشان داد کاشت گونه‌های *Parkinsonia*, *Prosopis articulate* و *florida* و *P. microphylla* تلقیح شده با قارچ میکوریزی از جنس *Glomus* در بیابان Sonoran چین در شرایط دیم دارای زنده‌مانی، رشد قطری و ارتفاعی بین ۶۰ تا ۹۰ درصد بیشتر از نهال‌های تلقیح نشده (شاهد) دارند.

قارچ میکوریزا آربوسکولار (*R. irregularis*) و کمپوست بر استقرار و رشد رویشی نهال‌های *Pistacia lentiscus* L. در جنگل کاری واقع در منطقه نیمه‌خشک مدیترانه‌ای جنوب-شرق اسپانیا نشان داد که تلقیح نهال‌ها با قارچ *R. irregularis* و افزودن بقایای کمپوست، بعد از یکسال باعث افزایش ۱۰۶ درصدی رویش طولی نهال‌ها در مقایسه



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل مبداء نهال و تلقیح قارچ بر رویش قطر بقیه نهال‌های فندق. میانگین‌هایی با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل مبداء نهال و تلقیح قارچ بر رویش ارتفاعی نهال‌های فندق. میانگین‌هایی با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر ندارند.

نتایج نشان داد بیشترین نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، کارایی مصرف آب و درصد کلروفیل به ترتیب با ۲۲/۴۵ میکرومول مربع برثانیه و ۰/۳۳۱ مول متر مربع برثانیه، ۱۰/۷۵ میکرومول مربع برثانیه و ۳۳/۰۹ درصد به نهال‌های فندق با مبداء فندقلو در تلقیح با قارچ *R. irregularis* تعلق داشت (جدول ۷). این تحقیق نشان داد

صفات فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل مبداء بذر و تلقیح قارچ بر درصد کلنیزاسیون، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق در سطح خطای کمتر از پنج درصد و بر محتوی کلروفیل و کارایی مصرف آب در سطح خطای کمتر از یک درصد معنی‌دار است (جدول ۶).

شبکه هیف‌های خود، تنش خشکی و با افزایش سرعت و مقدار فتوستنز، میزان تعرق گیاه را کاهش می‌دهند [۲۵]. نتایج پژوهش نشان داد کارایی مصرف آب در همه نهال‌های فندق در تلقیح با قارچ *R. irregularis* به میزان قابل توجهی (حدود سه برابر) در مقایسه با شاهد (بدون تلقیح) افزایش یافت و بیشترین مقدار بازده مصرفی آب و همچنین بیشترین درصد کلروفیل (با دستگاه اسپاد) در نهال‌های فندق با مبداء فندقلو در تلقیح با قارچ *R. irregularis* به دست آمد. در این راستا مطالعات بای و همکاران [۱۹] نشان داد نهال‌های تلقیح شده زردآلو (*Prunus sibirica* L.) با قارچ *Funneliformis* *mosseae* کارایی مصرف آب نهال‌ها را تا ۹۰/۲ درصد در مقایسه با نهال‌های تلقیح نشده (شاهد) افزایش داد.

که صفات فیزیولوژیک نهال‌های فندق به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار تلقیح قارچی قرار گرفت. به‌طوری‌که بیشترین نرخ فتوستنز، هدایت روزنه‌ای و درصد کلروفیل با تلقیح قارچ *R. irregularis* در نهال‌های فندق با مبداء فندقلوی اردبیل مشاهده شدند. در این زمینه نتایج بررسی اثر تلقیح قارچ میکوریزای آربوسکولار (*Funneliformis mosseae*) بر رشد و فتوستنز نهال‌های زردآلو (*Prunus sibirica* L.) در شمال‌غربی چین بعد از ۵ سال نشان داد نهال‌های تلقیح شده بیوماس خشک ریشه (۴۲ درصد)، نرخ فتوستنز (۸۲/۲ درصد) و هدایت روزنه‌ای (۴۹/۷ درصد) بیشتری در مقایسه با نهال‌های تلقیح نشده (شاهد) دارند [۱۹]. در واقع، قارچ‌های میکوریزا با کنترل باز و بسته شدن روزنه‌های برگ و افزایش جذب آب از طریق

جدول ۶. تجزیه واریانس اثرات تلقیح قارچ بر درصد کلنیزاسیون و صفات تبادلات گازی نهال‌های فندق

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فتوستنز	هدایت روزنه ای	تعرق	کارایی مصرف آب
بلوک	۲	۵/۰۲	۹/۶۰	۱۱/۰۱	۱۰/۴۱
مبداء بذر	۲	۳۳/۰۲*	۵۴/۹۰*	۶۵/۶۱*	۳۰/۳۹**
تلقیح قارچ	۲	۶۳/۳۵**	۴/۴۴*	۲۳/۶۵**	۱۵/۲۸*
مبداء نهال × تلقیح قارچ	۴	۳۰/۵۰*	۴۹/۰۸*	۶۱/۱۲*	۱۹/۴۵**
خطای آزمایشی	۱۶	۱۱/۶۳	۱۰/۴۱	۱۳/۲۳	۵/۶۸
خطای کل	۲۶	۱۴۳/۵۲	۱۲۸/۴۳	۱۷۴/۶۲	۸۱/۲۱
ضریب تغییرات	-	۱۲/۶۵	۱۹/۱۲	۲۳/۳۳	۱۷/۵۴

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح خطای کمتر از پنج درصد و یک درصد است.

جدول ۷. مقایسه اثر متقابل مبداء نهال و تلقیح قارچ بر صفات فیزیولوژیکی و تبادلات گازی نهال‌های فندق (میانگین ± خطای معیار).

مبداء بذر	تیمار	تلقیح قارچ	فتوستنز ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	تعرق ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	کارایی مصرف آب گیاه ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	کلروفیل (درصد)
فندقلو	<i>R. irregularis</i>	۲۲/۴۵±۱/۵۸ a	-/۳۳۳±۰/۱۱a	۲/۱۱±۰/۵۱ c	۱۰/۷۴±۰/۸۵ a	۳۳/۰۹±۵/۱۲ a	
	Myco Root	۱۲/۳۴±۱/۳۴ b	-/۲۱۱±۰/۰۳ ab	۲/۶۰±۰/۳۷ b	۴/۷۶±۰/۴۴ d	۲۶/۱۱±۳/۸۹ b	
مکش	<i>R. irregularis</i>	۲۲/۰۱±۱/۵۵ a	-/۲۲۱±۰/۰۹ ab	۲/۴۷±۰/۱۷ b	۸/۹۲±۰/۸۵ b	۳۲/۹۳±۳/۱۴ ab	
	Myco Root	۱۱/۳۴±۲/۳۸ bc	-/۱۸۱±۰/۰۱۴ bc	۳/۰۵±۰/۱۹ ab	۳/۷۴±۰/۳۱ e	۲۶/۶۵±۲/۰۸ b	
مکیدی	<i>R. irregularis</i>	۸/۰۱±۱/۰۰ d	-/۱۰۱±۰/۰۱e	۳/۳۳±۰/۳۸ ab	۲/۴۲±۰/۶۵ g	۱۳/۳۵±۲/۱۰ f	
	Myco Root	۹/۴۴±۱/۴۵ c	-/۱۹۷±۰/۰۸ b	۲/۳۳±۰/۴۹ b	۶/۰۸±۰/۷۳ c	۲۴/۸۹±۱/۸۳ c	
			-/۱۴۹±۰/۰۸ c	۲/۵۲±۰/۴۱ cd	۳/۷۵±۰/۷۹ e	۲۰/۹۰±۲/۰۵ d	

حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی‌دار آماری را بین میانگین گروه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثر تلقیح قارچ بر صفات رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های فندق از سه مبداء مختلف بذر، مطالعه و با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد نهال‌های فندق با مبداء فندقلو از لحاظ صفات رویشی در مقایسه با مبداء مکش و مکیدی برتر بودند. بنابراین می‌توان برای تولید نهال سالم و قوی فندق در نهالستان، از دو مبداء مذکور استفاده کرد. نکته حائز اهمیت در تلقیح نهال‌ها با قارچ *R. irregularis* افزایش کارایی مصرف آب نهال‌های فندق با مبداء فندقلو تا حدود سه برابر در مقایسه با نهال‌های شاهد بود. پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد، نهال میکوریزی فندق با افزایش دادن

سرعت فتوسنتز و کاهش تعرق موجب افزایش راندمان آب مصرفی شده و می‌تواند درصد زنده‌مانی، استقرار و رشد رویشی بیشتری در جنگل‌کاری رویشگاه‌های تخریب‌یافته فندق داشته باشد. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان اذعان داشت از نظر بهبود صفات رویشی و فیزیولوژیکی بین قارچ‌های مورد بررسی، قارچ *R. irregularis* مناسب‌تر برای تلقیح نهال‌های فندق بود. با توجه به همزیستی نهال فندق با قارچ *R. irregularis* در این پژوهش و اثرات مفید این همزیستی بر درصد زنده‌مانی و صفات رویشی نهال‌ها، تولید نهال میکوریزی در نهالستان و کاشت آن در عرصه‌های تخریب یافته فندقلو پیشنهاد می‌شود.

References

- [1]. Teimoorzadeh, A., Ghorbani, A., and Kavianpoor A.H. (2015). Study on the flora, life forms and chorology of the south eastern of Namin forests (Asi-Gheran, Fandoghloo, Hasani and Bobini), Ardabil province. The Journal of Plant Research, 28(2) 224-458.
- [2]. Rostamikia, Y., and Shsrifi, J. (2019). The Fandoglu Forest, the largest common hazel forest reserve in Iran. Journal of Iran Nature, 6 (3): 90-99.
- [3]. Ansari, N., and Seid Akhlagi, S.J. (2009). Comparing of the opinion of rangeland user and expert about factors influencing natural resources degradation in Iran. Rangeland, 3(3): 519-532.
- [4]. Clark, J. R, Hemery, G. E., and Savill, P.S. (2008). Early growth and form of common walnut (*Juglans regia* L.) in mixture with tree and shrub nurse species in southern England. Forestry, 81(5): 631-644.
- [5]. Bombeli, J., Zuccherelli, G., Zuccherelli, S., and Capaccio, V. (2002). An investigation of vegetation types and Plantation Structural with Hazelnut, Oak, and Beach in Caldra, Italy. The Malaysian Forester, 66 (1): 58-69.
- [6]. Shaqaqi Afzali, V., and Delfan Abazari, B. (1996). Hazel, the valuable and unknown species of Iranian Forests. Forest and Rangeland, 48: 48-51.
- [7]. Alguacil, M., Caravaca, F., Diaz-Vivancos, P., Hernandez, J. A., and Roldan, A. (2006). Effect of arbuscular mycorrhizae and induced drought stress on antioxidant enzyme and nitrate reductase activities in *Juniperus oxycedrus* L. grown in a composted sewage sludge-amended semi-arid soil. Plant and Soil, 279: 209-218.
- [8]. Bender, S. F., and Van der Heijden, G.A. (2015). Mycorrhizal effects on nutrient cycling, nutrient leaching and N₂O production in experimental grassland. Soil Biology and Biochemistry Journal, 80: 282-292.
- [9]. Binu, N.K., Ashokan, P.K., and Balasundaran, M. (2015). Influence of different arbuscular mycorrhizal fungi and shade on growth of sandal (*Santalum album*) seedlings. Journal of Tropical Forest Science, 27:158-165.
- [10]. Razouk, R., and Kajji, A. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on water relations and growth of young plum Trees under severe water stress conditions. International Journal of Plant & Soil Science, 5 (5): 300-312.
- [11]. Turjaman, M., Santoso, E., Sitepu, I. R., Tawaraya, K., Purnomo, E., Tambunan, R., and Osaki, M. (2009). Mycorrhizal fungi increased early growth of tropical tree seedlings in adverse soil. Indonesian Journal of Forestry Research, 6 (1): 17-25.
- [12]. Rostamikia, Y., Tabari Kouchaksaraei, M., Asgharzadeh, A., and Rahmani, A. (2016). Effects of *Glomus intraradices* and *Thricoderma harzianum* on colonization and the growth parameters of *Corylus avellana* L. seedlings under nursery conditions. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 6: 250-258.

- [13]. Rostamikia, Y., Tabari Kouchaksaraei, M., Asgharzadeh, A., and Rahmani, A. (2017). Biomass allocation, leaf gas exchange and nutrient uptake of hazelnut seedlings in response to *Trichoderma harzianum* and *Glomus intraradices* inoculation. *Journal of Forest Science*, 63 (5): 219-226.
- [14]. Caravaca, F., Barea, J.M., Figueroa, D., and Roldán, A. (2002). Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reafforestation with *Olea europaea* subsp. *sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. *Applied Soil Ecology*, 20: 107-118.
- [15]. Caravaca, F., Barea, J.M., and Roldán, A. (2002). Synergistic influence of an arbuscular mycorrhizal fungus and organic amendment on *Pistacia lentiscus* L. seedlings afforested in a degraded semiarid soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 34 (8): 1139-1145.
- [16]. Estaun, V., Camprub, A., and Calvet, C. (2003). Nursery and field response of olive tree inoculated with two arbuscular mycorrhiza fungi *Glomus intraradices* and *Glomus mosseae*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128 (5): 767-775.
- [17]. Renata, G., Danielle Karla, A., Silva, A., Joo Ricardo, G., Oliveiraa Bruno, T., Gotoc Fbio Sérgio, B., Silva, D., Everardo, V.S.B., and Sampaio Leonor, C. (2012). Use of mycorrhizal seedlings on recovery of mined dunes in northeastern Brazil. *Pedobiologia*, 55: 303-309.
- [18]. Bashan, Y. Salazar. B.G., Moreno, M., Lopez, B.R., Linderman, R.G. (2012). Restoration of eroded soil in the Sonoran Desert with native leguminous trees using plant growth-promoting microorganisms and limited amounts of compost and water. *Journal of Environmental Management*, 102: 26-36.
- [19]. Bi, Y., Xie, L., Wang, Z., Wang, K., and Liu, W. (2021). Arbuscular mycorrhizal symbiosis facilitates apricot seedling (*Prunus sibirica* L.) growth and photosynthesis in northwest China. *International Journal of Coal Science and Technology*, 8: 473-482.
- [20]. Rostamikia, Y., Tabari Kouchaksaraei, M., Asgharzadeh, A., and Rahmani, A. (2018). Effect of cold stratification on seed germination traits in three ecotypes of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Forest and Wood Products*, 71 (1):1-12.
- [21]. Kahneh, E., Lakzian, A., Astaraii, A., and Khavazi, K. (2021). Effects of ectomycorrhizal fungi on phosphorous uptake and growth of *Alnus glutinosa* seedlings in Guilan province. *Forest and Wood Products*, 73 (3): 295-304.
- [22]. Phillips, J. M., and Hayman, D. S. (1970). Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55: 158-161.
- [23]. Giovannetti, M., and Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytology*, 84: 489-500.
- [24]. Mc Gonigle, T., Miller, M., and Swan, J. (1990). A new method that gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal Fungi. *New phytology*, 115: 495-501.
- [25]. Zhang, X., Wu, N., and Li, C. (2005). Physiological and growth responses of *Populus davidiana* ecotypes to different soil water contents. *Arid Environment*, 60: 567-579.
- [26]. Marcelo, S. M., and Bruce, S. (2009). Photosynthetic and growth responses of *Eugenia uniflora* L. seedlings to soil flooding and light intensity. *Environmental and Experimental Botany*, 12: 24-31.
- [27]. Hilszczanska.D., Sierota, Z., and Palenzona, M. (2008). New Tuber species found in Poland. *Mycorrhiza*, 18: 223-226
- [28]. Kandeler, E., Marschner, P., Tschierko, D., Gahoonia, T. S., and Nielsen, N.E. (2002). Microbial community composition and functional diversity in the rhizosphere of maize. *Plant and Soil*, 238: 301-312.
- [29]. Porcel, R., and Ruiz-Lozano, J. M. (2004). Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany*, 55(403): 1743-1750.
- [30]. Wu, Q. S., and Xia, R. X. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163: 417-425.

The effect of Seed origin and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiological traits of hazelnut seedlings in Fandoglou area

Y. Rostamikia*; Assist., Prof., Forests and Rangelands Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, I.R. Iran

M. Matinizadeh; Assoc., Prof., Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran

A. Rahmani; Assoc., Prof., Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran

(Received: 25 October 2021, Accepted: 29 January 2022)

ABSTRACT

One of the main reasons for the failure of planting projects with hazelnut is climate change and subsequent drought stress in the early years of growth. The aim of this study was to rehabilitate and develop degraded hazelnut forest stands in rainfed conditions in Ardabil hazelnut forest. For this purpose, in early May 2016 in Ardabil hazelnut nursery, new hazelnut potted seedlings produced from three seed sources including Fandoglou (Ardabil Fandoglou forest), Makeh (Aghvalar Gilan forest) and Makidi (Arasbaran forest) were inoculated with fungi *Rhizophagus irregularis* as well as Mycoroot (containing arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*, *G. etunicatum* and *Rhizophagus irregularis*). Then, in April 2017, uniform annual hazelnut seedlings were transferred to the lands to Fandoglou forest (area 6075 m²) and were tested in factorial arrangement in a randomized complete block design with three replications of 25 in dryland conditions. The results after four years showed that mycorrhizal seedlings, produced from seeds of all three origins, had larger sizes in most of the studied traits than control seedlings. The highest root colonization of seedlings (51.9%), as well as the largest sizes of most of the measured variables belonged to seedlings of Fandoglou origin inoculated with *R. irregularis*. Survival, collar diameter growth, height growth, photosynthesis rate, stomatal conductance, water consumption efficiency, and chlorophyll content, respectively, increased by 52.7%, 82.1%, 58.9%, 102%, 152.2%, 272.9%, and 63.6% compared with the control (non-mycorrhizal seedlings of Fandoglou origin). Considering the satisfactory symbiosis of hazelnut seedlings with mycorrhizal fungi, for the production of hazelnut seedlings in Fandoglou forest nursery and its planting in degraded areas of this region, seedlings produced from the origin of Fandoglou seeds coexisted with the *R. irregularis* is preferred to seedlings with the origin of Makeh and Makidi inoculated with Myco root.

Keywords: Hazelnut, height growth, photosynthesis rate, *Rhizophagus irregularis*, viability.

*Corresponding Author, Email: younesrostamikia@gmail.com, Tel: +989141533776