Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

The effect of *Trichoderma harzianum* on survival, growth, and nutrition of hazelnut seedlings under field conditions of Fandoglou forest

Younes Rostamikia[*1], Mohammad Matinizadeh[2], Ahmad Rahmani[3]

1. Corresponding Author, Assistant 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. E-mail: y.rostamikia@areeo.ac.ir
2. Associate Prof., Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran. E-mail: matini@rifr-ac.ir
3. Associate Prof., Forest Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran. E-mail: arahmani@rifr-ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 01.21.2024
Revised: 04.04.2024
Accepted: 05.19.2024

Keywords:
Afforestation performance,
Fungal inoculation,
Seedling nutrition,
Seedling quality,
Seed origin

ABSTRACT

Background and Objectives: *Corylus avellana* L. (hazelnut) from the Corylaceae family is a pioneer species in early-stage hazel forests. It plays a crucial role in restoring degraded forests. However, land-use changes, livestock grazing, fires, and tree cutting have significantly damaged these valuable ecosystems. Low survival and early-year growth rates of hazelnut seedlings increase nursery production costs and delay afforestation programs. This study investigated the effects of *Trichoderma harzianum* (*T. harzianum*) on the establishment, growth, and nutrient content of hazelnut seedlings under field conditions.

Materials and Methods: In May 2016, new, potted hazelnut seedlings from three seed sources Fandoglou (Ardabil Fandoglou forest), Makeh (Aghvalar Guilan forest), and Makidi (Arasbaran forest) were inoculated with *T. harzianum* at the Ardabil hazelnut nursery. In April 2017, uniform, one-year-old seedlings were transferred to a 4050 m² plot in the Fandoglou forest. Seedlings were planted in a randomized complete block design with three replications of 25 in a factorial arrangement under dryland conditions. Growth traits were measured over four years (2017-2020).

Results: After four years, all measured characteristics were significantly affected by fungal inoculation. Inoculated seedlings from all three origins displayed higher values for all investigated traits compared to controls. Seedlings of Fandoglou origin inoculated with *T. harzianum* exhibited the greatest growth. These seedlings had the highest survival rate (65.8%), collar diameter growth (52.2%), and height growth (54.6%). Additionally, the dry biomass of roots, stems, and leaves increased by 48.60%, 46.5%, and 37.40%, respectively. Leaf nutrient concentrations of nitrogen (27.81%), phosphorus (23.23%), and potassium (34.7%) were also higher compared to uninoculated Fandoglou seedlings.

Conclusion: This study demonstrates that *T. harzianum* inoculation enhances survival, vegetative growth, and nutrient uptake in seedlings from all three origins. However, the greatest positive effects were observed in

Fandoglou hazelnut seedlings. We recommend using inoculated Fandoglou seedlings to improve afforestation success in vulnerable areas and establish hazelnut orchards in the drylands of this region.

Cite this article: Rostamikia, Younes, Matinizadeh, Mohammad, Rahmani, Ahmad. 2024. The effect of *Trichoderma harzianum* on survival, growth, and nutrition of hazelnut seedlings under field conditions of Fandoglou forest. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31 (1), 43-61.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2024.22116.2055
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

تأثیر قارچ *Trichoderma harzianum* Rifai بر زنده‌مانی، رشد و تغذیه نهال‌های فندق جنگلی در شرایط عرصه جنگل فندقلو

یونس رستمی‌کیا*[۱]، محمد متینی‌زاده[۲]، احمد رحمانی[۳]

۱. نویسنده مسئول، 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. رایانامه: y.rostamikia@areeo.ac.ir

۲. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: matini@rifr-ac.ir

۳. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: arahmani@rifr-ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۳۰

واژه‌های کلیدی:
تغذیه نهال،
تلقیح قارچی،
عملکرد جنگل‌کاری،
کیفیت نهال،
مبدأ بذر

چکیده

سابقه و هدف: فندق جنگلی (*Corylus avellana* L.) از خانواده Corylacesae جزء گونه‌های پیشگام در مراحل اولیه توالی جنگل فندقلو است و نقش بسیار مهمی در احیای جنگل‌های مخروبه دارد. متأسفانه در سال‌های اخیر تغییر کاربری، چرای دام، آتش‌سوزی و قطع درختان از عوامل مؤثر در تخریب این جنگل با ارزش بوده است. درصد زنده‌مانی و رشد رویشی اندک در سال‌های اولیه نهال فندق افزایش هزینه‌های تولید نهال‌های دانه‌رست در نهالستان و هم تأخیر در برنامه‌های جنگل‌کاری را سبب می‌شود. این پژوهش با هدف تأثیر *Trichoderma harzianum* بر استقرار و بهبود مشخصه‌های رویشی و تغذیه‌ای برگ نهال‌های فندق در شرایط عرصه انجام شد.

مواد و روش‌ها: در اوایل اردیبهشت ۱۳۹۵ در نهالستان فندقلوی اردبیل، نونهال‌های گلدانی فندق تولیدشده از سه مبدأ بذری شامل فندقلو (جنگل فندقلوی اردبیل)، مکش (جنگل آق‌اولر گیلان) و مکیدی (جنگل ارسباران)، با قارچ *T. harzianum* تلقیح شدند. سپس در فروردین ۱۳۹۶ نهال‌های یکنواخت یک‌ساله فندق به اراضی زراعی حاشیه جنگل فندقلو (مساحت ۴۰۵۰ مترمربع) منتقل و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ۲۵ تایی در شرایط دیم کشت شدند و صفات رویشی نهال‌ها طی چهار سال (۱۳۹۹-۱۳۹۶) اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج بعد از چهار سال نشان داد همه مشخصه‌های مورد بررسی تحت‌تأثیر تیمار تلقیح قارچ قرار گرفتند. طوری‌که نهال‌های تلقیح شده هر سه مبدأ، از لحاظ همه صفات مورد بررسی

بیش‌ترین مقادیر را در مقایسه با نهال‌های شاهد داشتند. هم‌چنین نتایج نشان داد نهال‌های مبدأ فندقلو در تلقیح با قارچ *T. harzianum* از نظر تمامی صفات مورد بررسی نسبت به نهال‌های مبدأ مکش و مکیدی برتری داشتند. طوری‌که در این نهال‌ها زنده‌مانی ٦٥/٨ درصد، رویش قطر یقه ٥٢/٢ درصد، رویش ارتفاع ٥٤/٦ درصد، زی‌توده‌های خشک‌ریشه، ساقه و برگ به‌ترتیب ٤٨/٦٠، ٤٦/٥ و ٣٧/٤٠ درصد و غلظت عناصر غذایی برگ شامل نیتروژن ٢٧/٨١، فسفر ٢٣/٢٣ و پتاسیم ٣٤/٧ درصد نسبت به نهال‌های مایه‌زنی نشده مبدأ فندقلو افزایش داشت.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد کاربرد *T. harzanium* سبب افزایش زنده‌مانی، رشد رویشی و بهبود جذب عناصر غذایی نهال‌های هر سه مبدأ شد. ولی بیش‌ترین مقدار صفات رویشی در نهال‌های فندق با مبدأ فندقلو مشاهده شد؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود به‌منظور تولید مطلوب نهال فندق در نهالستان فندقلو و افزایش درصد موفقیت جنگل‌کاری در اراضی مستعد و نیز توسعه باغ‌های فندق در اراضی دیم این منطقه، از نهال‌های تلقیح شده فندق با مبدأ فندقلو استفاده شود.

استناد: رستمی‌کیا، یونس، متینی‌زاده، محمد، رحمانی، احمد (١۴٠٣). تأثیر قارچ *Trichoderma harzianum* Rifai بر زنده‌مانی، رشد و تغذیه نهال‌های فندق جنگلی در شرایط عرصه جنگل فندقلو. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ٣١ (١)، ٦١-۴٣.

DOI: 10.22069/JWFST.2024.22116.2055

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

فندق جنگلی (*Corylus avellana* L.) از مهم‌ترین گونه‌های پیشگام در مراحل اولیه توالی جنگل محسوب می‌شود و می‌تواند به‌عنوان گونه پرستار در استقرار، زنده‌مانی و رشد رویشی سایر نهال‌های جنگلی نقش زیادی در بازسازی جنگل‌های تخریب‌شده داشته باشد (۱). از سوی دیگر تجزیه سریع لاشبرگ آن سبب اصلاح صفات فیزیکی و شیمیایی خاک جنگلی می‌شود (۲).

جنگل فندقلوی اردبیل، مهم‌ترین ذخیره‌گاه ژنتیکی گونه فندق در کشور محسوب می‌شود. متأسفانه در سال‌های اخیر تغییر کاربری، حضور دام در جنگل، آتش‌سوزی و قطع بی‌رویه درختان (تهیه زغال) از عوامل اثرگذار در تخریب این جنگل ارزشمند بوده است (۳). با توجه به اهمیت بوم‌شناختی و اقتصادی گونه فندق، جنگل‌کاری و احیاء رویشگاه‌های این‌گونه از طریق نهال‌کاری از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به چندمنظوره بودن گونه فندق (کارکردهای اکولوژیکی و اقتصادی)، نهال‌کاری این‌گونه در اراضی زراعی دیم به‌خصوص اراضی شیب‌دار حاشیه جنگل فندقلو، ضمن حفظ تنوع ژنتیکی این‌گونه، می‌تواند در توسعه باغ‌های فندق در منطقه و رونق اقتصادی و افزایش درآمد خانوارهای روستایی مؤثر واقع شود. از سوی دیگر موفقیت نهال‌کاری به زنده‌مانی و رشد نهال‌های کاشته شده بستگی دارد که در بسیاری از موارد جهت بهبود کیفیت نهال‌ها از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود. ازآن‌جایی‌که کاربرد این کودها معمولاً بدون توجه به شرایط آب و هوایی و وضعیت تغذیه‌ای خاک صورت می‌گیرد، این امر بر اکوسیستم خاک اثر گذاشته و علاوه بر از بین بردن میکرو فلور و میکرو فون مفید خاک، می‌تواند باعث بروز خسارات جبران‌ناپذیر محیط‌زیستی، بهداشتی و اقتصادی شود (٤)؛ بنابراین لزوم استفاده از کودهای زیستی مانند قارچ‌های محرک رشد برای تولید نهال‌های باکیفیت که موفقیت برنامه‌های نهال‌کاری را تضمین می‌کند بیش‌ازپیش احساس می‌شود (٤، ٥ و ٦). یکی از فناوری‌های سبز در سال‌های اخیر، رویکرد استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد است که در بهبود جوانه‌زنی و صفات رویشی نهال‌های جنگلی نقش بارزی ایفا می‌نماید (۷ و ۸). در حقیقت، تولید نهال‌های سالم و قوی با استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد و کاشت آن‌ها در عرصه، می‌تواند نقش مهمی در تسهیل مراحل احیاء و بازسازی توده‌های جنگلی تخریب‌شده داشته باشد (۹). استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد مانند قارچ‌های افزاینده رشد گیاه که رابطه همزیستی با گیاهان دارند، راهکار مناسبی جهت افزایش پویایی عناصر غذایی و بهبود رشد رویشی آن‌ها در شرایط عرصه است (۹). این میکروارگانیسم‌ها قادرند با تولید محرک‌های رشد گیاه (۱۰)، از بین بردن عوامل بیمارگر گیاهی (۱۱)، کاهش تنش‌های زیستی و غیرزیستی و ایجاد مقاومت سیستمیک تأثیر زیادی بر رشد گیاهان داشته باشند (۱۲). گونه‌های *Trichoderma* از مهم‌ترین قارچ‌های اطراف ریشه هستند (۷) که به‌دلیل نرخ تولیدمثلی بالا، توانایی زیادی در استفاده از منابع غذایی مختلف، قدرت تهاجم بالا علیه عوامل بیماری‌زا، بهره‌گیری از مکانیسم‌های مختلف شامل رقابت، پارازیتیسم و آنتی‌بیوز، توانایی ایجاد تغییر در پیرامون ریشه، تحریک رشد و افزایش مقاومت در گیاهان را دارند (۱۲). *T. harzianum* با افزایش حجم خاک قابل‌استفاده از طریق ریسه‌های قارچ، افزایش رشد ریشه و ایجاد مسیرهایی برای عبور آب به سمت ریشه، باعث تسهیل در جذب آب و عناصر غذایی شده و درنهایت سبب افزایش رشد گیاه شوند (۷). قارچ‌های تریکودرما به‌ویژه گونه *T. harzianum* با

تولید و ترشح اسیدهای آلی مانند هارزیانیک اسید[1] محیط پیرامون خود را اسیدی می‌کنند و از این طریق توانایی محلول کردن فسفات و جذب عناصر غذایی مانند آهن، منگنز و منیزیم افزایش می‌دهند (۱۳). این قارچ‌ها افزایش زی‌توده نهال را به‌وسیله افزایش جذب آب، مواد معدنی و تولید هورمون‌های رشد انجام می‌دهند (۱٤). تولید هورمون‌های رشد اکسین و جیبرلین توسط این قارچ‌ها در مطالعات صورت گرفته بر روی نهال‌های کاج جنگلی (*Pinus sylvestris*) و شاه‌پسند (*Lantana camara*) اثبات‌شده است (۱۵ و ۱٦). همچنین افزایش نرخ رشد نهال که به‌دلیل افزایش سطح ریشه و در نتیجه افزایش توانایی جستجوی مواد غذایی توسط آن و درنهایت دسترسی بیش‌تر به عناصر مغذی، به‌خصوص در خاک‌های فقیر، اتفاق می‌افتد، بوده است (۱٤). در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در مورد استفاده از قارچ‌های محرک رشد روی گونه‌های چوبی گزارش شده است. از جمله در پژوهشی تأثیر *T. harzianum* در استقرار و میزان رشد نهال‌های بید (*Salix fragilis* L.) روی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بعد از ۱۲ هفته نشان داد، درصد استقرار و میزان رشد ریشه در نهال‌های تلقیح‌شده با این قارچ به ترتیب ۳۹ و ۱٦ درصد بیش‌تر از نهال‌های شاهد است (۱۷). در پژوهشی دیگر تأثیر مایه‌زنی قارچ‌های *T. harzianum* و *T. viride* روی نهال‌های *Pinus sylvestris* var. *mongolica* بعد از یک سال در ایالت لیائو چین نشان داد رشد ارتفاعی (۲۷/٦۳ و ۱۸/۸۹ درصد)، رشد قطری یقه (٦۸/۵۱ و ۲۷/۵۰ درصد) و زی‌توده خشک (٤٤/٤٤ و ۲۸/۵۱ درصد) نهال‌های تلقیح‌شده در مقایسه با نهال‌های شاهد افزایش دارند (۱۸). در پژوهشی دیگر که توسط تالبی و همکاران (۲۰۱٦) در کشور مراکش انجام شد، با بررسی اثر تلقیح *T. harzianum* روی نهال‌های خرنوب (*Ceratonia siliqua*) نشان داده شد که رشد قطری و ارتفاعی نهال‌های خرنوب با استفاده از تلقیح تریکودرما به‌ترتیب ۷۵ و ۵٦ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داشتند (۱۹). در داخل کشور نیز پژوهش‌های معدودی در زمینه تأثیر *T. harzianum* بر رشد و بهبود صفات رویشی گونه‌های جنگلی در شرایط عرصه طبیعی گزارش شده است. تأثیر *T. harzianum* و *T. viride* در جهت بهبود رشد و تغذیه درختان پسته (*Pistacia vera* L.) در شرایط نسبتاً شور و خشک در باغ‌های پسته اطراف رفسنجان بعد از دو سال نشان داد طول شاخه به‌ترتیب ۵۵/۸ و ٤۲ درصد، تعداد جوانه رویشی ۳۷/٤ و ٤۵/٦ درصد، سطح برگ ۷/۱ و ۱۲/٦ درصد، نیتروژن ۱۰/۲ و ۱۳ درصد، فسفر ۱۲/۲ و ۱٤/۱ درصد و پتاسیم ۲۱/۱ و ۱۷/۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دارند (٤). تأثیر تلقیح *T. harzianum* بر خصوصیات رشدی پایه‌های پیوندی هلو (*Prunus persica*) در باغ تحقیقاتی دانشگاه شاهد تهران بعد از سه سال نشان داد استفاده از تلقیح قارچی به‌ترتیب ۲۳، ۱۹/۲ و ۳۸/٦ درصد سبب افزایش وزن تر، ماده خشک و محتوی نسبی آب برگ نسبت به نهال‌های شاهد شد (۲۰).

با توجه به اهمیت اکولوژیکی و اقتصادی فندق، شناسایی روش‌های افزایش زنده‌مانی، استقرار و رشد رویشی مطلوب این‌گونه برای احیاء اراضی تخریب‌شده و هم‌چنین اثر مثبت قارچ‌های تریکودرما در کاهش تنش‌های محیطی، افزایش رشد و تغذیه گیاهان، پژوهش حاضر، با هدف بررسی توانایی این قارچ بر استقرار و بهبود صفات رویشی و عناصر غذایی برگ نهال‌های فندق در شرایط عرصه (طبیعت) جهت افزایش موفقیت پروژه‌های نهال‌کاری اراضی بایر حاشیه جنگل فندقلوی اردبیل انجام شد.

1- Harzianic acid

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در اراضی زراعی دیم روستای خانقاه سفلی در حاشیه جنگل فندقلو با مختصات ″۱′۲٤°۳۸ عرض شمالی و ″۲۷′۳۲°٤۸ طول شرقی و ارتفاع ۱٤۵۰ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس داده‌های ۱۰ ساله (۱۳۹۱ تا ۱٤۰۰) ایستگاه کلیماتولوژی شهرستان نمین (نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه)، حداکثر درجه حرارت ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد در مردادماه، حداقل درجه حرارت ۲۱/۱- درجه سانتی‌گراد در بهمن‌ماه و متوسط دمای سالانه ۸/۹ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش سالانه ۳۷۰/۹ میلی‌متر است و بر اساس فرمول آمبرژه (Q_2=۳۸/۳۵) و مقدار m= -۷ (معدل حداقل دما در سردترین ماه سال)، اقلیم منطقه نیمه مرطوب با زمستان‌های سرد است (۳).

تهیه بذر، تولید نهال و آلوده‌سازی ریشه نهال: اوایل مهرماه ۱۳۹٤ از روی تاج ۱۵ پایه مادری سالم با ویژگی‌های یکسان (قطر یقه ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳/۵ متر) میوه‌های فندق (حدود سه کیلوگرم) از سه رویشگاه جنگلی مکش، فندقلو و مکیدی جمع‌آوری شدند (جدول ۱) و برای تعیین ویژگی‌های کمی و کیفی بذرها به آزمایشگاه انتقال داده شدند (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات رویشگاهی مناطق جمع‌آوری بذرهای فندق.

Table 1. Habitat characteristics of hazelnut seeds collection areas.

رویشگاه Habitat	ارتفاع از سطح دریا (متر) Above sea level (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	جهت جغرافیایی Geographical direction
فندقلو Fandoglou	1430-1470	38° 19′ 16″	48° 36′ 28″	Southern
مکش Makesh	1550-1620	37° 43′ 02″	47° 53′ 10″	Southern and Southwest
مکیدی Makidi	1470-1620	38° 51′ 15″	48° 39′ 17″	Southwest

جهت تعیین صفات کمی و کیفی بذور و میوه، از هر مبدأ ۱۰۰ عدد میوه فندق در چهار تکرار ۲۵ تایی انتخاب شد. سپس وزن و مغز فندقه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم و ابعاد فندقه (طول و عرض) به‌وسیله کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (جدول ۲). برای تعیین قوه نامیه بذرها، براساس دستورالعمل ISTA (۲۰۰۸) از محلول تترازولیوم یک درصد استفاده گردید (۲۱). برای این کار، بذرها پس از خیساندن به‌مدت ۲٤ ساعت در آب، برش طولی داده شد؛ سپس در محلول تترازولیوم قرار داده شد و با توجه به الگوی رنگ‌پذیری جنین بذر، قوه نامیه تعیین شد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین خصوصیات کمی و کیفی میوه‌های جمع‌آوری‌شده از سه رویشگاه جنگلی.

Table 2. Mean of quantitative and qualitative characteristics of fruits collected from three forest habitats.

مبدأ Origin	طول فندقه (سانتی‌متر) Nut length (cm)	عرض فندقه (سانتی‌متر) Nut width (cm)	وزن فندقه (گرم) Nut weight (g)	وزن مغز (گرم) Kernel weight (g)	قوه نامیه بذر (درصد) Seed viability%
فندقلو Fandoglou	1.61 ±0.09	1.55 ±0.14	1.71 ±0.21	0.57 ±0.21	86.90 ±10.08
مکش Makesh	1.88 ±0.11	1.45 ±0.12	2.42 ±0.29	0.66 ±0.09	90.10 ±8.90
مکیدی Makidi	1.48 ±0.15	1.42 ±0.23	1.42 ±0.41	0.38 ±0.19	72.12 ±8.61

در ادامه بذرها با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام با غلظت ۲ در ۱۰۰۰ گرم ضدعفونی شده و سپس با آب مقطر شسته شدند. جهت اعمال چینه‌سرمایی، به‌مدت چهارماه در ماسه مرطوب در دمای ۱ ± ٤ درجه سانتی‌گراد (یخچال) نگهداری شدند (۸) و بعد از اعمال تیمار چینه سرمایی در (اوایل فروردین‌ماه ۱۳۹۵) در گلدان‌های پلاستیکی (به ابعاد ۱۵×۱۰×۱۰ سانتی‌متر) حاوی خاک استریل در نهالستان فندقلوی اردبیل کاشته شدند (جدول ۳).

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده گلدان‌ها.

Table 3. Physical and chemical characteristics of Soil used for pots.

هدایت الکتریکی Ec (ds/m)	اسیدیته pH	رس Clay%	سیلت Silt %	شن Sand%	بافت خاک Soil texture	کربن آلی Oc%	ازت کل N%	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K(mg/kg)
0.386	6.55	36	39	25	Loam - clay	1.44	0.13	9.44	172

قارچ *T. harzianum* به‌صورت مایه تلقیح پودری با جمعیت ۱۰۰ پروپاگول در هر گرم از شرکت فناوری زیستی پیشتاز، تحت نظارت بخش بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور با مشخصه‌های رویشی تهیه شد (جدول ۲). میزان اکسین تولیدشده ۲۱/۸۰ میلی‌گرم در لیتر، توانایی حل‌کنندگی فسفات معدنی ٥٦/۳ میلی‌گرم در لیتر و توان تولید آنزیم ACC–[1] دی آمیناز و استفاده از ACC برای تأمین نیتروژن را داشت (جدول ٤). یک ماه پس از کاشت بذرها در نهالستان جنگلی فندقلوی اردبیل (اوایل اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵) براساس دستورالعمل مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور در بستر کشت هر گلدان (اطراف ریشه نونهال‌ها) ۵۰ گرم پروپاگول *T. harzianum* و در عمق ۵ سانتی‌متری خاک گلدان‌ها، قرار داده شد.

1- Acetyl-CoA carboxylase

جدول ٤- مشخصه‌های رویشی قارچ *T. harzianum* T1 مایه‌زنی شده به نهال‌های فندق.

Table 4. Growth characteristics of *T. harzianum* T1 inoculated on hazelnut seedlings.

تولید اکسین (میلی‌گرم بر لیتر)	حل‌کنندگی فسفات معدنی (میلی‌گرم بر لیتر)	حل‌کنندگی کربنات روی (میلی‌گرم بر لیتر)	توان تولید آنزیم ACC – دی آمیناز
21.80	66.3	10.6	+

انتقال نهال‌ها به عرصه: در فروردین ١٣٩٦، نهال‌های گلدانی همگن به عرصه مجاور نهالستان، واقع در اراضی بایر حاشیه جنگل به مساحت ٤٠٥٠ مترمربع منتقل شدند. سپس به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (با دو فاکتور شامل مبدأ بذر در دو سطح و مایه‌زنی *T. harzianum* در دو سطح با و بدون مایه‌زنی) در سه تکرار کاشته شدند. تعداد نهال در هر تکرار ٢٥ اصله در نظر گرفته شد. طوری‌که درمجموع ٤٥٠ اصله نهال که با فاصله ٣ × ٣ متر، کاشته شده در چاله‌هایی به ابعاد ٥٠×٥٠×٥٠ سانتی‌متر کاشته شدند و به‌مدت چهار سال در شرایط دیم مورد بررسی قرار گرفتند و عملیات مراقبتی نهال‌ها شامل حذف علف‌های هرز و سله‌شکنی خاک پای نهال‌ها، در صورت لزوم، به‌صورت یکنواخت انجام شد. قبل از کاشت نهال‌ها، از عمق‌های ٠ تا ٢٠ و ٢٠ تا ٤٠ سانتی‌متری نمونه‌های خاک از نقاط مختلف عرصه تهیه گردید و پس از مخلوط کردن، نمونه‌های یک کیلویی جهت تعیین مشخصه‌های فیزیکی و شیمایی خاک به آزمایشگاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل انتقال یافت (جدول ٥).

جدول ٥- مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک عرصه کاشت مورد مطالعه.

Table 5. Physical and chemical characteristics of the soil of study area.

عمق خاک Soil depth (cm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (ds/m)	رس Clay%	سیلت Silt%	شن Sand%	بافت خاک soil texture	مواد آلی O%	نیتروژن N%	فسفر P mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)
0-20	6.15	0.422	36	31	33	clay-loamy	0. 95	0.11	11.23	123
20-40	6.32	0.219	17	39	44	Sandy-loamy	0.80	0.14	12.82	147

اندازه‌گیری صفات رویشی: درصد زنده‌مانی نهال‌ها، از طریق شمارش تعداد نهال‌های باقی‌مانده تا زمان اندازه‌گیری نسبت به تعداد نهال‌های کاشته شده تعیین شد (جدول ٦). اندازه‌گیری اولیه قطر یقه و ارتفاع نهال‌ها (فروردین‌ماه ١٣٩٦) و اندازه‌گیری ثانویه آن‌ها به‌ترتیب با استفاده از شاخص مدرج (با دقت سانتی‌متر) و نوار قطرسنج (با دقت میلی‌متر) در انتهای دوره رویش (مهرماه ١٣٩٩) انجام شد. با تفاضل دو اندازه‌گیری اول و دوم، رویش قطری یقه و رویش ارتفاعی نهال تعیین شد. هم‌چنین از هر تکرار یک نهال برای تعیین اثر قارچ روی زی‌توده از هر تکرار یک نهال از خاک (بعد از آبیاری کامل و اشباع کردن

خاک پای نهال) به‌طور کامل خارج شد. ابتدا وزن تر ریشه، ساقه و برگ با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم تعیین شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن خشک اندام‌ها اندازه‌گیری شد.

جدول ٦- درصد زنده‌مانی و رشد رویشی نهال‌های سه مبدأ فندق طی سال‌های ۱۳۹٦ تا ۱۳۹۹.

Table 6. Percentage of survival and vegetative growth of seedlings of three origins of hazelnut during the years 2016 to 2019.

ارتفاع Height (cm)	قطر یقه Collar diameter (mm)	زنده‌مانی Survival%	سال Year	تیمار Treatment	مبدأ Origin
15.22±1.90	5.15±0.66	100	2017	Control	فندقلو Fandoglou
18.09±2.22	6.65±0.93	100	2017	*T. harzanium*	
23.22±4.56	10.25±1.45	64.4±5.44	2018	Control	
25.20±3.78	12.06±1.54	81.1±10.90	2018	*T. harzanium*	
30.60±4.11	18.32±3.70	49.51±5.55	2019	Control	
42.10±5.89	23.35±3.87	72.3±8.80	2019	*T. harzanium*	
43.81±5.70	25.40±3.90	45.5±3.87	2020	Control	
62.70±8.80	43.22±5.09	65.82±7.70	2020	*T. harzanium*	
15.10±1.82	4.85±0.95	100	2017	Control	مکش makesh
21.35±2.89	6.04±0.90	100	2017	*T. harzanium*	
22.37±3.302	9.45±1.56	57.4±4.56	2018	Control	
28.90±3.85	10.05±2.01	64.52±7.32	2018	*T. harzanium*	
26.92±3.30	16.15±2.25	45.40±5.51	2019	Control	
36.30±4.21	19.11±3.45	52.5±6.09	2019	*T. harzanium*	
38.81±4.55	26.24±4.20	40.82±4.21	2020	Control	
51.50±6.60	33.10±3.78	51.60±7.34	2020	*T. harzanium*	
14.78±1.80	4.08±0.59	100	2017	Control	مکیدی Makidi
18.39±2.67	6.25±0.78	100	2017	*T. harzanium*	
21.32±3.33	9.03±1.01	46.50±5.55	2018	Control	
27.38±4.20	11.15±1.90	63.66±7.89	2018	*T. harzanium*	
28.24±3.90	14.33±2.09	40.41±3.90	2019	Control	
30.56±4.89	19.62±2.67	57.21±6.56	2019	*T. harzanium*	
35.98±4.11	19.88±3.11	37.45±3.32	2020	Control	
43.81±5.54	25.08±3.32	47.23±5.65	2020	*T. harzanium*	

تعیین غلظت عناصر غذایی برگ: در سال آخر اجرای پروژه (سال ۱۳۹۹)، جهت تعیین غلظت عناصر غذایی، نمونه‌برداری برگ در مردادماه (اوج رشد برگ) انجام شد. از هر تکرار سه نهال انتخاب و از برگ‌های یک‌سوم بالایی نهال سه برگ، برداشت شد (۲۲). نمونه‌ها در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد حداقل به‌مدت ٤٨ ساعت خشک سپس با دستگاه آسیاب پودر شد و غلظت عناصر غذایی ماکرو (ازت، فسفر، پتاسیم) اندازه‌گیری شدند. ازت بعد از هضم یک گرم از نمونه در اسیدسولفوریک غلیظ به روش کجلدال (۲۳)، فسفر به روش وانادات- مولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (۲۳) و پتاسیم به روش تهیه خاکستر و عصاره‌گیری با اسیدنیتریک غلیظ و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتری اندازه‌گیری شد (٢٤).

تجزیه‌وتحلیل آماری: تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو - ویلک و همگنی واریانس داده‌ها از طریق آزمون لون (Levene) تعیین شد. بعد از اندازه‌گیری و ثبت ویژگی‌های رویشی و غلظت عناصر غذایی برگ در هر تکرار، تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه‌وتحلیل شدند و مقایسه میانگین داده‌ها نیز، از طریق آزمون توکی (Tukey)، در سطوح آماری پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد همه مشخصه‌های مورد بررسی تحت‌تأثیر تیمار تلقیح قارچ قرار گرفتند. اثر اصلی مبدأ نهال و قارچ بر همه صفات مورد بررسی در سطوح پنج و یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل مبدأ بذر × تلقیح قارچ بر درصد زنده‌مانی، زی‌توده ریشه در سطح یک درصد و برای رویش قطری یقه و ارتفاعی و زی‌توده ساقه و برگ نهال‌های فندق در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۷).

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مبدأ بذر و تلقیح قارچ بر صفات مورد مطالعه نهال‌های فندق.

Table 7. Variance analysis (Mean of squares) of the effect of seed origin and Fungi inoculation on the studied traits of hazelnut seedlings.

منبع تغییرات Variation Source	درجه آزادی df	زنده‌مانی Survival	رویش قطر یقه Collar diameter increment	رویش ارتفاعی Height increment	زی‌توده ریشه Root mass	زی‌توده ساقه Stem mass	زی‌توده برگ Leaf mass
تکرار Replication	2	122.11 ns	60.70 ns	98.55 ns	70.05 ns	11.09 ns	49.12 ns
مبدأ نهال Seedling origin	2	442.09*	69.11**	168.09*	402.32*	65.71*	123.39*
قارچ Fungi	1	168.12*	102.57*	65.24**	296.12*	79.73*	93.02*
مبدأ نهال × قارچ Seedling origin × Fungi	2	542.11**	66.14*	100.68*	566.30**	19.37*	69.52*
خطای آزمایشی Error	12	9.30	2.22	6.16	5.34	9.90	4.11
ضریب تغییرات (درصد) CV%	-	14.45	10.56	13.80	9.83	12.04	9.69

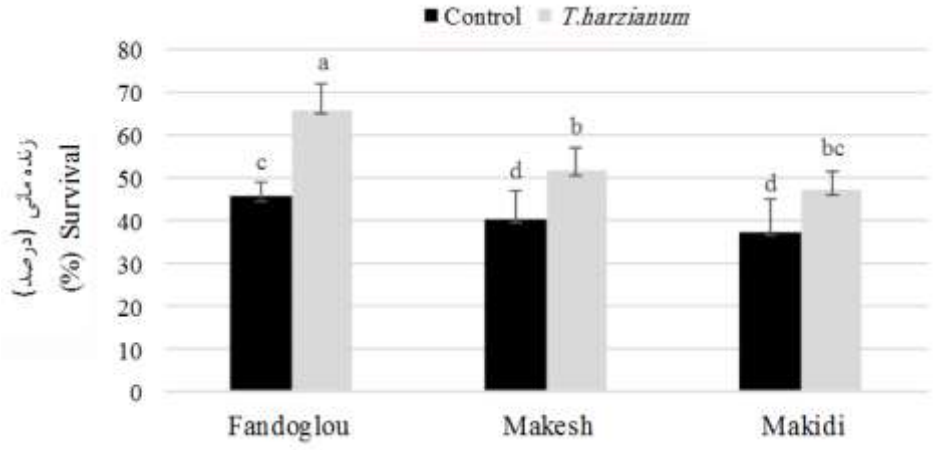
*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح خطای کم‌تر از ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری است

*, ** significant at 5 and 1% respectively, ns non-significant

نتایج نشان داد بیش‌ترین زنده‌مانی با ٦٥/٨ درصد به نهال‌های فندق (مبدأ فندقلو) در تلقیح با قارچ *T. harzanium* و کم‌ترین زنده‌مانی با ۳۷/۱ درصد به نهال‌های شاهد (تلقیح‌نشده با قارچ) با مبدأ مکیدی تعلق دارد (شکل ۱). بر اساس شکل ۲ نهال‌های مبدأ فندقلو، مکش و مکیدی به‌ترتیب ٤٤/٦، ۲۷/۷ و ۲٦/۲ درصد افزایش زنده‌مانی در مقایسه با شاهد دارند (شکل ۲). در این زمینه، کاشت نهال‌های بید (*S. fragilis*) در خاک آلوده به فلزات سنگین که با قارچ *T. harzianum* مایه‌زنی شده بودند بعد از ۱۲ هفته نشان داد، درصد استقرار و زنده‌مانی نهال‌های تلقیح‌شده ۳۹ درصد در مقایسه با نهال‌های شاهد افزایش دارند (۱۷). *T. harzianum* با افزایش حجم خاک قابل استفاده از طریق ریسه‌های قارچ، افزایش رشد ریشه گیاه و ایجاد مسیرهایی با مقاومت کم برای عبور آب به سمت ریشه باعث تسهیل در جذب آب و عناصر غذایی می‌شوند و مواد معدنی را به مواد قابل استفاده تبدیل می‌کنند و درنهایت رشد گیاه را باعث می‌شوند (١٤).

شکل ۱- نهال شاهد (سمت چپ) و نهال مایه‌زنی شده با قارچ *T. harzianum* (سمت راست).

Figure 1. Control seedling (left side) and seedling inoculated with *T. harzianum* (right side).



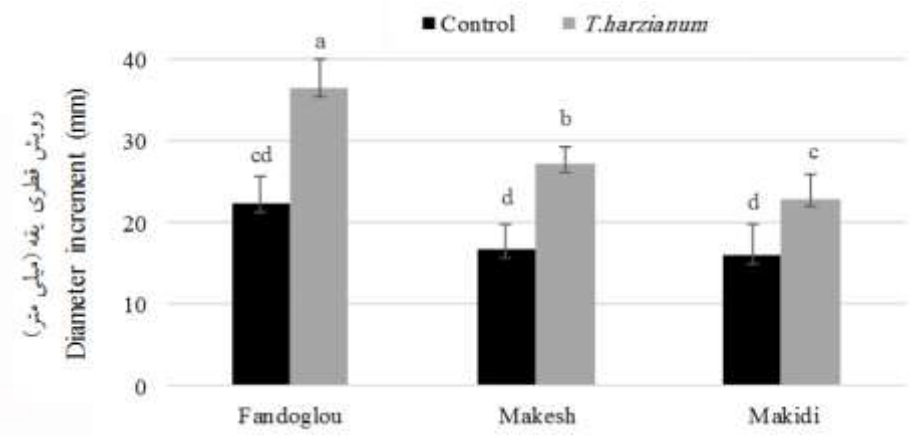
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال و تلقیح قارچ بر درصد زنده‌مانی نهال‌های فندق.

میانگین‌هایی با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 2. Comparison of the mean of the interaction effect of seedling origin × fungi on survival (%) of hazelnut seedlings. Means that the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% error level.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین رویش قطر یقه با ۳۱/٤ میلی‌متر به نهال‌های فندق (مبدأ فندقلو) در تلقیح با قارچ *T. harzanium* و کم‌ترین مقدار آن با ۱۵/۸ میلی‌متر به نهال‌های شاهد (تلقیح‌نشده با قارچ) با مبدأ مکیدی اختصاص دارد. نهال‌های مبدأ فندقلو، مکش و مکیدی به‌ترتیب ۵۵/۲، ۵۱/٤ و ۳۸/۲ درصد افزایش رویش قطر یقه در مقایسه با شاهد دارند (شکل ۳). بیش‌ترین رویش ارتفاعی با ٥٤/٦ سانتی‌متر به نهال‌های فندق (مبدأ فندقلو) در تلقیح با قارچ *T. harzanium* و کم‌ترین مقدار آن با ۲۱/۵ میلی‌متر به نهال‌های شاهد (تلقیح‌نشده با قارچ) با مبدأ مکیدی اختصاص دارد. براساس شکل ٤ نهال‌های مبدأ فندقلو، مکش و مکیدی به ترتیب ۵۵/۹، ۲۷/۲ و ۱۸/۳ درصد افزایش رویش ارتفاعی در مقایسه با شاهد دارند (شکل ٤).

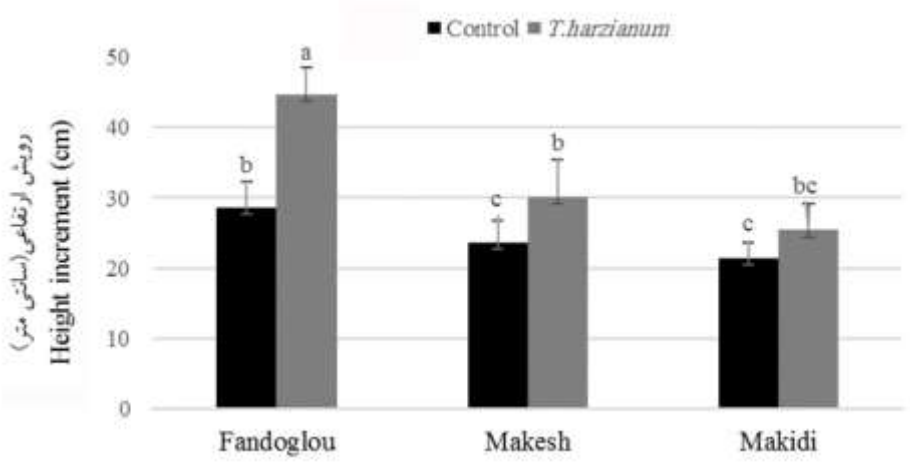
بهبود صفات رویشی در بسیاری از گونه‌ها را در پی مایه‌زنی *T. harzianum* در مقایسه با نهال‌های تلقیح‌نشده در پژوهش، پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش شده است که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. برای مثال مطالعات طالبی و همکاران (۲۰۱٦) نشان داد تلقیح *T. harzianum* نهال‌های خرنوب (*C. siliqua*) رشد قطری و ارتفاعی نهال‌ها را به‌ترتیب ۷۵ و ٥٦ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (۱۹). حسین زینعلی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند پارامترهای رویشی درختان پسته معمولی (*P. vera*) شامل طول شاخه و تعداد جوانه رویشی به‌ترتیب ۵۵/۸ و ۳۷/٤ درصد در مقایسه با درختان شاهد افزایش دارد (٤). تأثیر مایه‌زنی *T. harzianum* روی نهال‌های *P. sylvestris var. mongolica* سبب افزایش رشد ارتفاعی (۲۷/٦۳ درصد) و رشد قطری یقه (٦۸/۵۱ درصد) نهال‌های تلقیح‌شده در مقایسه با نهال‌های شاهد شد (۱۸). نظری و همکاران (۲۰۲۳) نیز بیان نمودند تلقیح *T. harzianum*، سبب افزایش معنی‌دار وزن تر، ماده خشک و محتوی نسبی آب برگ نهال‌های تلقیح شده هلو (*P. persica*) در مقایسه با نهال‌های شاهد شد (۲۰). احتمال دارد قارچ *T. harzianum* با بهبود سیستم ریشه‌ای و افزایش سطح ریشه نهال‌ها، جذب آب و عناصر غذایی را توسط گیاه را تسهیل کرده و سبب افزایش رشد رویشی نهال‌های فندق می‌شود. قارچ *T. harzianum* با کنترل زیستی پاتوژن‌های خاک‌زی، تولید و ترشح هورمون‌های رشد، قابل‌حل کردن عناصر نامحلول، افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی در ریشه گیاهان و ایجاد مقاومت القایی در برابر تنش‌های محیطی، سبب افزایش رشد و نمو می‌شود (۱٦).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال و تلقیح قارچ بر رویش قطر یقه نهال‌های فندق.

میانگین‌هایی با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 3. Comparison of the mean of the interaction effect of seedling origin × fungi on the growth of the collar diameter increment of hazelnut seedlings. Means that the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% error level.



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال و تلقیح قارچ بر رویش ارتفاع نهال‌های فندق.

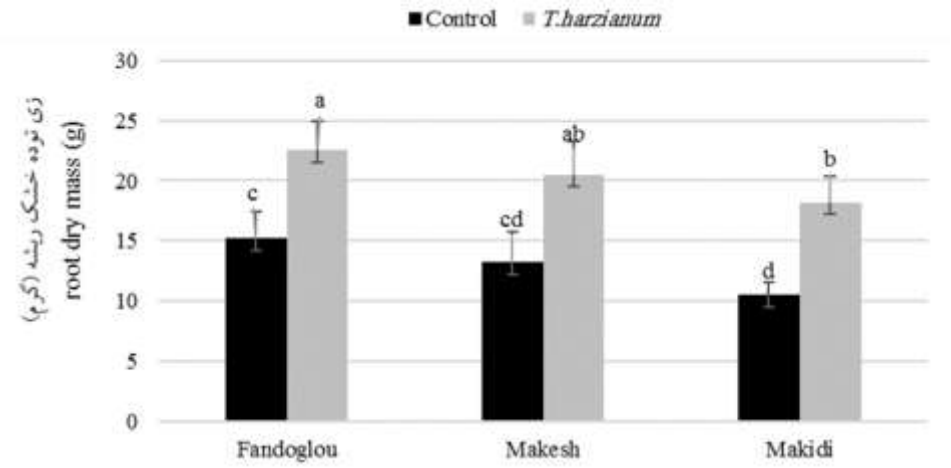
میانگین‌هایی با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 4. Comparison of the mean of the interaction effect of seedling origin × fungi on height increment of hazelnut seedlings. Means that the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% error level.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین مقدار زی‌توده ریشه، ساقه و برگ به‌ترتیب با ۲۲/۵۱، ۲۰/۵۰ و ۵/۳۲ گرم در نهال‌های فندق با مبدأ فندقلو در تیمار مایه‌زنی با *T. harzianum* مشاهده شد که به‌ترتیب ٤٨/٠٣، ٤٦/٥ و ٣٧/٤٠ درصد در مقایسه با شاهد (نهال‌های مایه‌زنی نشده مبدأ فندقلو) افزایش داشتند (شکل‌های ۵ تا ۷) که با یافته‌های هافیلو و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر افزایش ٤٤/٤٤ درصدی زی‌توده خشک نهال‌های *P. sylvestris* var. *mongolica* تلقیح‌شده با *T. harzianum* در مقایسه با نهال‌های شاهد مطابقت دارد (۱۸). یافته‌های ناظری و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد کاربرد *T. harzianum* در نهال‌های هلو (*P. persica*) باعث افزایش وزن تر، ماده خشک و محتوی نسبی آب برگ به ترتیب ۲۳، ۱۹/۲ و ۳۸/٦ درصد نسبت به شاهد شد (۲۰). در این خصوص می‌توان بیان نمود تریکودرما با استقرار و اسپورزایی در محیط خاک به‌ویژه پیرامون ریشه گیاهان نه‌تنها باعث کاهش عوامل بیماری‌زا در خاک می‌شود بلکه با مکانیسم‌هایی مانند تولید هورمون‌های اکسین به‌ویژه ایندول تری استیک اسید در بسیاری از فرآیندهای رشد ریشه و اندام هوایی نقش دارد. این هورمون در غلظت‌های پایین باعث افزایش طول ریشه می‌شود و در غلظت‌های بالا سبب تشکیل ریشه‌های جانبی و فرعی می‌شود (۷).

نتایج نشان داد زنده‌مانی، رشد قطری ارتفاعی نهال‌ها در مبدأ رویشگاهی مختلف با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند به‌طوری‌که نهال‌های مبدأ فندقلو دارای بیش‌ترین مقدار صفات رویشی و در رتبه اول و نهال‌های مبدأ مکش و مکیدی به ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند. دلایل رشد رویشی بیش‌تر نهال‌های مبدأ فندقلو را می‌توان به منطبق بودن فاکتورهای محیطی و رویشگاهی به‌خصوص یکسان بودن ارتفاع از سطح دریا محل جمع‌آوری بذر به تولید نهال و کاشت آن‌ها در عرصه (جنگل فندقلو) ارتباط داد. گینوال و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند مبدأ بذر بر جوانه‌زنی، زنده‌مانی و رشد رویشی نهال‌های *Jatropha curcas* تأثیر معنی‌داری دارد (۲۵). علت رشد رویشی اندک نهال‌های فندق مبدأ مکیدی در مقایسه با دو مبدأ دیگر را می‌توان به بالا بودن ارتفاع از سطح دریا محل جمع‌آوری بذرهای آن مرتبط دانست.

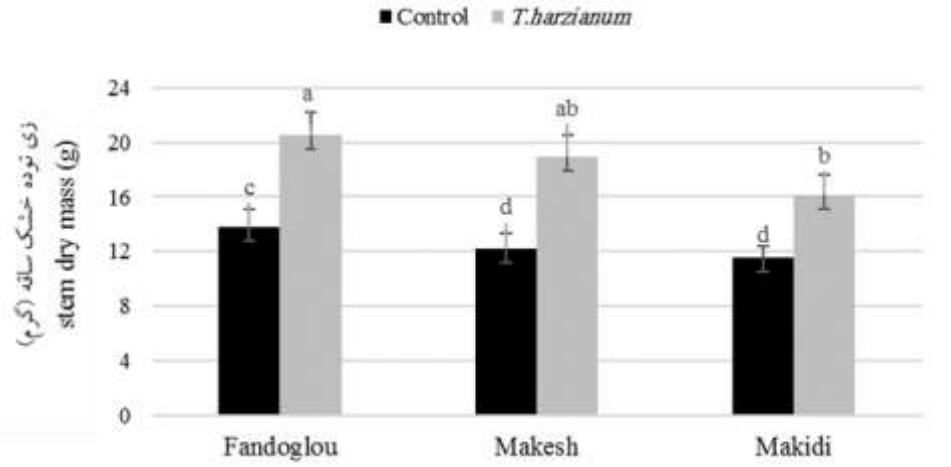
ارتفاع مبدأ جمع‌آوری بذر از سطح دریا یکی از عوامل تأثیرگذار در جوانه‌زنی و رشد رویشی گیاه است (۲۶). در این راستا می‌توان به نتایج پژوهش متاجی و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد که نشان داد بذرهای جمع‌آوری‌شده بلوط (*Quercus brantii* Lindl.) مناطق ارتفاعات در مقایسه با مناطق کم ارتفاع رشد کم‌تری دارد (۲۷).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال و تلقیح قارچ بر زی‌توده خشک‌ریشه نهال‌های فندق.

میانگین‌هایی با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

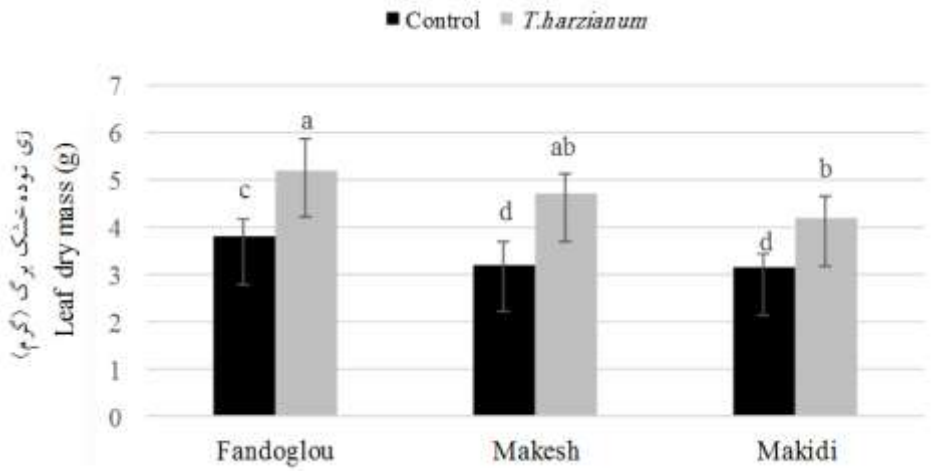
Figure 5. Comparison of the mean ± standard error of the interaction effect of seedling origin × fungi on root, stem, and root dry mass of hazelnut seedlings.
Means that the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% error level.



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال و تلقیح قارچ بر زی‌توده خشک ساقه نهال‌های فندق.

میانگین‌هایی با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 6. Comparison of the mean ± standard error of the interaction effect of seedling origin × fungi on root, stem, and stem dry mass of hazelnut seedlings.
Means that the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% error level.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل مبدأ نهال و تلقیح قارچ بر زی‌توده خشک برگ نهال‌های فندق.

میانگین‌هایی با حروف یکسان اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Figure 7. Comparison of the mean ± standard error of the interaction effect of seedling origin × fungi on root, stem, and leaf dry mass of hazelnut seedlings.
Means that the same letters do not have a statistically significant difference at the 5% error level.

عناصر مغذی برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مبدأ نهال بر غلظت همه عناصر غذایی برگ در سطوح خطای یک درصد و پنج درصد و اثر اصلی تلقیح قارچ نیز برای همه عناصر غذایی برگ به‌جز غلظت فسفر در سطح خطای یک درصد معنی‌دار است و اثر متقابل مبدأ نهال × تلقیح قارچ بر غلظت عناصر ازت و پتاسیم در سطح پنج درصد و بر غلظت فسفر در سطح خطای کم‌تر از یک درصد معنی‌دار است (جدول ۸). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تلقیح *T. harzianum* غلظت نیتروژن در نهال‌های فندق مبدأ فندقلو، مکش و مکیدی به‌ترتیب ۲۷/۸۱، ۲۲/۸۵ و ۱۹/۹۱ درصد در مقایسه با نهال‌های شاهد افزایش دارند (جدول ٦). نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان فسفر و پتاسیم به‌ترتیب با ۱/۷۵ و ۸/٥٦ میلی‌گرم در لیتر به نهال‌های مبدأ فندقلو اختصاص دارد. در این راستا حسین زینعلی و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در درختان تلقیح‌شده با *T. harzianum* در مقایسه با نهال‌های غیرتلقیح‌شده درختان پسته معمولی (*P. vera*) به‌ترتیب ۱۰/۲، ۱۲/۲ ۲۱/۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت که با یافته‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش در رابطه با افزایش فسفر و پتاسیم برگ نهال‌های فندق مطابقت دارد (٤). تریکودرما به‌دلیل تولید و ترشح هورمون اکسین و افزایش زی‌توده ریشه و برگ باعث افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود و در نتیجه بهبود صفات رویشی را سبب شده است (١٤). تلقیح قارچ در این مطالعه، نه‌تنها بر پاسخ مورفولوژیکی نهال‌ها اثرگذار بود، بلکه وضعیت تغذیه‌ای برگ نهال‌ها را تحت‌تأثیر قرار داد. عنصر نیتروژن در رشد، توسعه برگ و ساختار کلروفیل نقش داشته و به‌خاطر نقش آن در فعالیت آنزیم روبیسکو، در فعالیت فتوسنتزی گیاه دخالت دارد (۲۸). با توجه به این‌که نیتروژن و پتاسیم جزو عناصر متحرک در گیاه هستند و به‌راحتی از ریشه به ساقه و برگ و از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان انتقال می‌یابند (۲۸)؛ بنابراین می‌توان بیان نمود تلقیح قارچ نقش مؤثری در جذب این عناصر توسط برگ داشته است.

جدول ۸- مقایسه میانگین ± خطای معیار اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر عناصر تغذیه‌ای نهال‌های فندق.

Table 8. Comparison of the mean ± standard error of the interaction effect of seedling origin × fungi on nutritional elements of hazelnut seedlings.

منبع تغییرات variation Source	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares		
		ازت (N)	فسفر (P)	پتاسیم (K)
تکرار Replication	2	45.12 ns	37.12 ns	96.12 ns
مبدأ نهال Seedling origin	2	33.12*	41.06*	29.24*
تلقیح قارچ Fungi	1	25.52*	19.23*	11.14*
مبدأ نهال × تلقیح قارچ Seedling origin× Fungi	2	34.92*	153.24**	121.57*
خطای آزمایشی Error	12	9.30	2.22	6.16
ضریب تغییرات (درصد) CV%	-	10.40	7.95	11.56

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح خطای کم‌تر از ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری است

*, ** significant at 5 and 1% respectively, ns non-significant

جدول ۹- میانگین ± خطای معیار اثر متقابل مبدأ نهال × قارچ بر عناصر تغذیه‌ای نهال‌های فندق.

Table 9. Comparison of the mean ± standard error of the interaction effect of seedling origin × fungi on nutritional elements of hazelnut seedlings.

مبدأ نهال Seedling origin	تیمار Treatment	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) P (mg/kg)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) K (mg/kg)
فندقلو Fandoglou	Control	3.02±0.120 b	1.42±0.010 bc	4.32±0.033 bc
	T. harzanium	3.86±0.165 a	1.75±0.036 a	5.82±0.079 a
مکش Makesh	Control	2.80±0.078 c	1.32±0.009 c	4.06±0.043 c
	T. harzanium	3.44±0.108 ab	1.54±0.033 b	5.10±0.049 ab
مکیدی Makidi	Control	2.21±0.055 d	0.89±0.015 d	3.81±0.023 d
	T. harzanium	2.65±0.225 cd	1.04±0.068 cd	4.47±0.078 b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال خطای ۵ درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند

In each column, the averages that have common letters do not have a statistically significant difference at the five percent error probability level

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر اثر تلقیح قارچ *T. harzanium* بر صفات رویشی و غلظت عناصر غذایی نهال‌های فندق از سه مبدأ مختلف مطالعه و باهم مقایسه شدند. یافته‌های این پژوهش کاربرد این قارچ را در افزایش صفات رویشی شامل درصد زنده‌مانی، رشد رویشی و بهبود جذب عناصر غذایی نهال‌های هر سه مبدأ مورد مطالعه اثبات کرد. ولی پاسخ نهال‌های فندق به دلیل تأثیر مبدأ جمع‌آوری بذر از نظر صفات رویشی متفاوت بود به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار صفات رویشی در نهال‌های فندق با مبدأ فندقلو مشاهده شد؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود به‌منظور تولید مطلوب نهال فندق در نهالستان فندقلو و جنگل‌کاری در اراضی مستعد و نیز توسعه باغ‌های فندق در اراضی دیم این منطقه از بذرهای مبدأ فندقلو استفاده شود. با توجه به یافته‌های این پژوهش، می‌توان از *T. harzanium* به‌عنوان کود زیستی برای افزایش زنده‌مانی، بهبود صفات رویشی و تغذیه‌ای نهال‌های فندق استفاده نمود.

منابع

1. Clark, J., Hemery, G., & Savill, P. (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.
2. Bombeli, J., Zuccherelli, G., Zuccherelli, S., & 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.
3. Rostami Kia, Y., & Sharifi, J. (2019). The Fandoglu Forest is the largest common hazel forest reserve in Iran. *Iran Nature*. 3 (6), 90-99.
4. Hosseinzeynali, A., Abbaszadeh Dahaji, P., Alaei, H., Hosseinifard, J., & Akhgar, A. (2020). Effect of Trichoderma on growth and nutrition of pistachio trees under common garden conditions. *J. of Sol Biology*. 8 (2), 115-128.
5. Espahbodi, K. (2020). The a need to pay attention to seed production areas in the forest development program. *Iran Nature*. 5 (2), 17-21.
6. Razavi Nattaj, G. A., Asghar Fallah, A., & Mohammad Hojjati, S. M. (2020). The Incremental Assessment, Mixture Effect, Soil of *Eucalyptus Camaldolensis* (Dehn) and *Prosopis Juliflora* (Sw.) D.C. Plantations in Laleh Forest Park of Dezful. *Ecology of Iranian Forests*. 8 (15), 53-61.
7. Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszuk-Ściseł, J. (2022). Trichoderma: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. *International J. of Molecular Sciences*. 23 (4), 2329.
8. Rostamikia, Y., Tabari Kouchaksaraei, M., Asgharzadeh, A., & 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.
9. Teimouri, M., Khoshnevis, M., Sadegzadeh Hallaj, M. H., Alizadeh, T., Matinizadeh, M., & Pourhasehemi, M. (2018). Studying the application of growth-promoting rhizobacteria in the rehabilitation of oak forests (Case study: Garan research station, Marivan). *Iranian J. of Forest*. 10 (3), 361-371.
10. Gajera, H., Domadiya, R., Patel, S., Kapopara, M., & Golakiya, B. (2013). Molecular mechanism of *Trichoderma* as bio-control agents against phytopathogen system–a review. *Current Research in Microbiology and Biotechnology*. 1 (4), 133-142.
11. Fani, S. R., Ghahderijani, M., Moghaddam, M., Sherafati, A., Moghaddam, M., Sedaghati, E., & Khodaygan, P. (2013). Efficacy of native strains of Trichoderma harzianum

in biocontrol of pistachio gummosis. *Iranian J. of Plant Protection Science*. 44 (2), 243-252.
12. Niu, B., Wang, W., Yuan, Z., Sederoff, R. R., Sederoff, H., Chiang, V. L., & Borriss, R. (2020). Microbial interactions within multiple-strain biological control agents impact soil-borne plant disease. *Frontiers in Microbiology*. 11, 585404.
13. Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Woo, S. L., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N., Pascale, A., Ruocco, M., & Lanzuise, S. (2014). Trichoderma secondary metabolites are active on plants and fungal pathogens. *The Open Mycology J*. 8 (1), 127-139.
14. Nieto-Jacobo, M. F., Steyaert, J. M., Salazar-Badillo, F. B., Nguyen, D. V., Rostás, M., Braithwaite, M., De Souza, J. T., Jimenez-Bremont, J. F., Ohkura, M., & Stewart, A. (2017). Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. *Frontiers in plant science*. 8, 102.
15. Jaroszuk-Ściseł, J., Kurek, E., & Trytek, M. (2014). Efficiency of indoleacetic acid, gibberellic acid, and ethylene synthesized in vitro by Fusarium culmorum strains with different effects on cereal growth. *Biologia*. 69, 281-292.
16. Fu, S. F., Wei, J. Y., Chen, H. W., Liu, Y. Y., Lu, H. Y., & Chou, J. Y. (2015). Indole-3-acetic acid: A widespread physiological code in interactions of fungi with other organisms. *Plant signaling & behavior*. 10 (8), e1048052.
17. Adams, P., De-Leij, F. A., & Lynch, J. (2007). *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22 mediates growth promotion of crack willow (*Salix fragilis*) saplings in both clean and metal-contaminated soil. *Microbial ecology*. 54, 306-313.
18. Halifu, S., Deng, X., Song, X., & Song, R. (2019). Effects of two Trichoderma strains on plant growth, rhizosphere soil nutrients, and fungal community of Pinus sylvestris var. mongolica annual seedlings. *Forests*. 10 (9), 758.
19. Talbi, Z., Chliyeh, M., Mouria, B., El Asri, A., Ait Aguil, F., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R., & Douira, A. (2016). Effect of double inoculation with endomycorrhizae and *Trichoderma harzianum* on the growth of carob plants. *IJAPBC*. 5 (1), 44-58.
20. Nazeri, M., Tabatabaie, S., & Sharafi, Y. (2023). Evaluation of yield and quality of peach fruit (*Prunus persica* var Red Top) cultivated under a split roots system, inoculated with fungi, and irrigated with different levels. *J. of Horticultural Science*. 37 (1), 105-119.
21. International Seed Testing Association (ISTA). (2008). International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*. 13, 300-520.
22. Arias, D., Calvo-Alvarado, J., & Dohrenbusch, A. (2007). Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. *Forest Ecology Management*. 247, 185-193.
23. Jackson, M. (1958). Soil chemical analysis prentice Hall. *Inc., Englewood Cliffs, NJ*. 498, 183-204.
24. Issac, R., & Johnson, W. (1975). Collaborative study of wet and dry techniques for the elemental analysis of plant tissue by Atomic Absorption Spectrophotometer. *J AOAC*. 58, 436.
25. Ginwal, H. S., Phartyal, S. S., Rawat, P. S., & Srivastava, R. L. (2005). Seed source variation in morphology, germination, and seedling growth of J*atropha curcas* Linn. in central India, *Silvae Genetica*. 54 (2), 76-80.
26. Norcini, J. G., Aldrich, J. H., & Martin, F. G. (2001). Seed source effects on growth and flowering of Coreopsis lanceolata and Salvia lyrata. *J. of Environmental Horticulture*. 19 (4), 212-215.
27. Mataji, A., Abdi, F., Etemad, V., & Kiadaliri, H. (2016). Effects of seed origin on survival morphology and growth of Iranian oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Iranian J. of Forest*. 8 (1), 11-22.
28. Shahzad, Z., & Amtmann, A. (2017). Food for thought: how nutrients regulate root system architecture. *Current Opinion in Plant Biology*. 39, 80-87.