

Identification of Native *Trichoderma* Species with High Abundance in the Rhizosphere of Pistachio Trees

Mohammad Moradi Ghahderijani ^{1*} Fatemeh Hassanzadeh Davarani ^{2*}

1. Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran

2. * Department of Plant Pathology, Raf.C., Islamic Azad University, Rafsanjan, Iran.

*Corresponding author: Fatemeh Hassanzadeh Davarani, E-mail address: fa.hassanzadeh3535@iau.ac.ir

Received: 2025/9/5

Accepted: 2025/9/17

Abstract

Trichoderma fungi are among the most active microorganisms in the rhizosphere of plants, playing a crucial role in the biological control of plant pathogens. In this study, native *Trichoderma* species were isolated, purified, and identified from soil and rhizosphere samples collected from 50 pistachio orchards across various regions. Initial isolation was performed using selective media (ELAD and SPDA) and serial dilution techniques, followed by single-spore purification on PDA and WA media. Morphological identification of isolates was based on vegetative reproductive structures, including colony shape and growth, pigmentation, sporulation, conidiophore architecture, phialide and conidium morphology, chlamydospore formation, and growth rate at different temperatures, using validated taxonomic keys. The results revealed that *Trichoderma harzianum* was the most frequently isolated species, likely due to its high ecological and biological adaptability to pistachio orchard soils. Other species such as *T. virens*, *T. brevicompactum*, and *T. longibrachiatum* were identified with lower frequencies. Comparative analysis of soil, rhizosphere, and fertilizer pit samples showed significantly higher *Trichoderma* abundance in the rhizosphere. Native isolates were screened through antifungal assays based on their antagonistic properties, and the most effective strains with high biocontrol potential were selected for the development of biological products against pistachio pathogens.

Keywords: Antagonistic assay, Biodiversity, Rhizosphere, Adaptability, Adaptability

Extended Abstract

Introduction

Trichoderma species are among the most active and ecologically significant fungi in the rhizosphere of plants. Their ability to suppress a wide range of soil-borne pathogens and promote plant growth has made them valuable agents in biological control strategies. These fungi exert their biocontrol effects through multiple mechanisms, including rapid root colonization, mycoparasitism, production of hydrolytic enzymes, secretion of antifungal metabolites, and induction of systemic resistance in host plants. In pistachio orchards, where soil-borne diseases pose a major threat to productivity, the identification and utilization of native Trichoderma strains adapted to local soil conditions can offer sustainable solutions. This study aimed to isolate, purify, and identify native *Trichoderma* species from the rhizosphere of pistachio trees in various regions of Iran, and to evaluate their potential for biological control.

Materials and Methods

Soil samples were collected from the rhizosphere of pistachio trees across more than 50 orchards located in Rafsanjan, Nough, Dehferaj Razavi, Sirjan, Zarand, Koshkuiyeh, and Chatrood during spring and summer seasons. Each orchard was divided into five zones (north, south, east, west, and center), and ten subsamples were randomly collected from the shaded area between tree rows at a depth of 5–30 cm. The subsamples were mixed to form a composite sample for each zone. Soil samples were sieved (2–5 mm), and 10 g of sieved soil was suspended in 100 ml of sterile distilled water containing tween 20 (1:1000). The suspension was shaken for 30 minutes at 100–200 rpm, and serial dilutions (10^{-1} to 10^{-7}) were prepared. Aliquots (50 μ l) of each dilution were plated on selective media (SPDA and ELAD) in four replicates and incubated at 25°C in darkness for one week. Colonies resembling Trichoderma were counted daily. Purification was performed using single-spore isolation on PDA and WA media. Morphological identification was based on colony characteristics, pigmentation, sporulation, conidiophore structure, phialide and conidium morphology, chlamydospore formation, and growth rate at different temperatures, using validated taxonomic keys and online databases.

Results and Discussion

Microscopic and morphological analysis revealed the presence of several *Trichoderma* species. Among the isolates, *T. harzianum* was the most abundant, consistent with previous studies. This species exhibited rapid colony growth and dense sporulation, covering the entire Petri dish surface. Colonies initially appeared yellowish-green and gradually turned dark green, with reverse coloration ranging from colorless to dark yellow. Phialides were ampulliform or lageniform, typically arranged in whorls of 3–4. Other identified species included *T. longibrachiatum*, *T. virens*, and *T. brevicompactum*, each with distinct morphological traits and lower frequencies. *T. longibrachiatum* showed jade-green conidia and solitary cylindrical phialides. *T. virens* displayed turf-like sporulation and bluish-green colony coloration, with abundant chlamydospore production. *T. brevicompactum* formed olive-green to bluish-green colonies with pyramidal conidiophores and ampulliform phialides. Quantitative analysis indicated that *Trichoderma* isolates were significantly more abundant in the rhizosphere compared to other soil zones, suggesting strong ecological adaptation and symbiotic interactions with pistachio roots. The rhizosphere, enriched by root exudates, provides a favorable microenvironment for microbial colonization and activity. The dominance of *T. harzianum* highlights its potential as a biocontrol agent in pistachio orchards.

Antifungal screening assays demonstrated that several native isolates exhibited strong antagonistic activity against key pistachio pathogens such as *Fusarium* spp., *Phytophthora capsici*, and *Rhizoctonia solani*. These findings align with global research on the biocontrol efficacy of *Trichoderma* species and underscore the importance of selecting region-specific strains for field application.

Conclusion

This study successfully identified native *Trichoderma* species from pistachio rhizosphere soils, with *T. harzianum* being the most prevalent. The high abundance and antagonistic potential of these isolates suggest their suitability for developing biological products aimed at managing soil-borne diseases in pistachio orchards. Future research should focus on greenhouse and field trials to evaluate the performance of selected strains under natural conditions. Additionally, exploring their effects on pistachio seedling growth, stress tolerance, and long-term soil health will contribute to sustainable horticultural practices and the development of eco-friendly biocontrol strategies.

شناسایی گونه های بومی *Trichoderma* با فراوانی بالا در ناحیه فرا ریشه درختان پسته

محمد مرادی قهدریجانی^۱، فاطمه حسن زاده داورانی^{۲*}

۱. پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

۲.*گروه بیماری شناسی گیاهی، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران

*نویسنده مسئول: فاطمه حسن زاده داورانی.

ایمیل: fa.hassanzadeh3535@iau.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۶

دریافت: ۱۴۰۴/۶/۱۴

چکیده

قارچ های *Trichoderma* از جمله میکروارگانیسم های فعال در ناحیه فراریشه گیاهان محسوب می شوند که نقش مهمی در کنترل زیستی عوامل بیماری زای گیاهی دارند. در این پژوهش، به منظور جداسازی، خالص سازی و شناسایی گونه های بومی *Trichoderma*، نمونه برداری از خاک و ناحیه فراریشه ۵۰ باغ پسته در مناطق مختلف انجام شد. جداسازی اولیه با استفاده از محیط های کشت انتخابی ELAD و SPDA و روش سری های رقت صورت گرفت؛ سپس خالص سازی و کشت تک اسپور روی محیط های PDA و WA انجام شد. شناسایی مورفولوژیکی جدایه ها بر اساس ویژگی های اندام های تولید مثل رویشی، شامل شکل و رشد پرگنه، رنگدانه، اسپورزایی، ساختار کنیدیوفور، فیالید، کنیدیوم و کلامیدوسپور، همچنین دما و سرعت رشد در محیط های مختلف، با استفاده از کلیدهای معتبر صورت گرفت. نتایج نشان داد که گونه *Trichoderma harzianum* بیشترین فراوانی را دارد که احتمالاً بیانگر سازگاری بالای آن با شرایط اکولوژیکی و بیولوژیکی خاک های پسته است. گونه های *T. virens*، *T. brevicompactum* و *T. longibrachiatum* نیز با فراوانی کمتر شناسایی شدند. مقایسه نمونه های خاک، فراریشه و چاله کود نشان داد که فراوانی جدایه های *Trichoderma* در ناحیه فراریشه به طور قابل توجهی بیشتر از سایر بخش هاست. غربال گری جدایه های بومی در آزمون های ضدقارچی بر اساس ویژگی های آنتاگونیستی انجام شد و جدایه های مؤثرتر با قابلیت بالای کنترل زیستی برای تولید فرآورده های بیولوژیکی علیه عوامل بیماری زای گیاهی پسته انتخاب گردیدند.

کلمات کلیدی: آزمون آنتاگونیستی، تنوع زیستی، ریزوسفر، سازگار، غربال گری

مقدمه

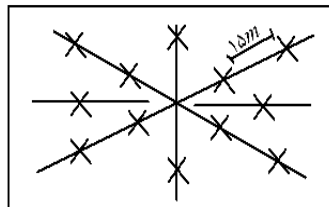
درخت پسته (*Pistacia vera*) یکی از مهم ترین محصولات باغی ایران به شمار می رود که نقش اقتصادی، صادراتی و اشتغال زایی قابل توجهی در مناطق خشک و نیمه خشک کشور دارد. استان هایی مانند کرمان، یزد، خراسان و سمنان از قطب های اصلی تولید پسته هستند که سالانه سهم قابل توجهی از تولید جهانی را به خود اختصاص می دهند. با این حال، تولید پایدار پسته با چالش های متعددی از جمله بیماری های خاک زاد مواجه است که موجب کاهش رشد نهال ها، ضعف در استقرار ریشه، افت عملکرد و خسارت های اقتصادی می شود. از جمله این بیماری ها می توان به پوسیدگی ریشه، پژمردگی فوزاریومی، و بیماری های ناشی از قارچ های *Phytophthora*، *Rhizoctonia* و *Verticillium* اشاره کرد. در سال های اخیر، استفاده از روش های مبارزه بیولوژیک به عنوان جایگزینی پایدار و ایمن برای سموم شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. در این میان، قارچ های جنس *Trichoderma* به دلیل توانایی بالا در کنترل زیستی عوامل بیماری زا، تحریک رشد گیاه، و سازگاری با شرایط محیطی، به عنوان یکی از مؤثرترین عوامل بیوکنترلی شناخته شده اند (Harman et al., 2021). این قارچ ها با کلنیزاسیون سریع ناحیه فراریشه، ترشح آنزیم های تجزیه کننده دیواره سلولی پاتوژن ها، تولید متابولیت های ضدقارچی، و القای مقاومت سیستمیک در گیاهان، نقش مهمی در سلامت خاک و گیاه ایفا می کنند (Howell, 2003; Vinale et al., 2008). با توجه به تنوع اقلیمی و خاکی باغ های پسته در ایران، شناسایی و معرفی گونه های بومی *Trichoderma* که با شرایط اکولوژیکی این مناطق سازگار باشند، می تواند گامی مؤثر در توسعه راهکارهای زیستی و پایدار برای مدیریت بیماری های خاک زاد در این محصول استراتژیک باشد (Mukherjee et al., 2023; Vinale et al., 2024). قارچ های جنس *Trichoderma* از جمله میکروارگانیسم های کلیدی در اکوسیستم های خاکی محسوب می شوند که به واسطه نقش های چندگانه خود در سلامت گیاهان، به ویژه در ناحیه فراریشه، مورد توجه گسترده قرار گرفته اند (Meincke et al., 2010). این قارچ ها به طور طبیعی در خاک، چوب های در حال تجزیه، کمپوست و سایر مواد آلی یافت می شوند و به دلیل توانایی در سرکوب طیف وسیعی از عوامل بیماری زای گیاهی مانند *Botrytis cinerea*، *Fusarium spp.*، *Phytophthora cactorum*، *Verticillium dahliae*، *Rhizoctonia solani* و *Pythium spp.*، جایگاه ویژه ای در مدیریت زیستی بیماری ها دارند (Samolski et al., 2009). مکانیسم های بیوکنترلی *Trichoderma* شامل کلنیزاسیون سریع ریشه، هیپوپارازیتسم، ترشح آنزیم های تجزیه کننده دیواره سلولی پاتوژن ها، تولید متابولیت های ثانویه، تحریک رشد ریشه و القای مقاومت سیستمیک در گیاهان است (Howell, 2003). این قارچ ها با نفوذ به بافت های سطحی ریشه و تعامل با سلول های اپیدرمی، به عنوان همزیست های فرصت طلب و غیر بیماری زا عمل کرده و موجب تغییرات متابولیکی در گیاه می شوند که منجر به افزایش توسعه ریشه، بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش باروری و مقاومت به تنش های زیستی و غیرزیستی می گردد (Vinale et al., 2008). افزودن *Trichoderma* به خاک به منظور افزایش جمعیت آن، یکی از روش های رایج در مبارزه بیولوژیکی با بیماری های خاک زاد است. با این حال، موفقیت این روش به توانایی قارچ در بقا و استقرار در شرایط متغیر خاک بستگی دارد (Harman et al., 2021). از این رو، شناسایی گونه های بومی *Trichoderma* که با شرایط اکولوژیکی خاص مناطق کشت پسته سازگار باشند، اهمیت ویژه ای دارد. درختان پسته (*Pistacia vera*) به عنوان یکی از محصولات باغی مهم در مناطق خشک و نیمه خشک ایران، به طور مداوم در معرض تهدید بیماری های خاک زاد قرار دارند. مطالعه میکروبیوم فراریشه این درختان، به ویژه شناسایی و معرفی گونه های بومی *Trichoderma* با پتانسیل بیوکنترلی، می تواند گامی مؤثر در توسعه راهکارهای زیستی و پایدار برای مدیریت بیماری ها در باغ های پسته باشد (Mukherjee et al., 2023; Vinale et al., 2024).

مواد و روش ها

نمونه برداری از خاک فراریشه

در این پژوهش، نمونه برداری از بیش از ۵۰ منطقه پسته کاری شامل رفسنجان، نوق، ده فرج رضوی، سیرجان، زرنند، کشکوه و چترود طی فصول بهار و تابستان انجام شد. نمونه ها به صورت مجزا از ناحیه فراریشه و نهال های پسته جمع آوری گردیدند. برای هر باغ، ابتدا تقسیم بندی به پنج ناحیه جغرافیایی (شمالی، جنوبی، شرقی،

غربی و مرکزی) انجام شد. از هر ناحیه، ۱۰ زیرنمونه خاک از محل سایه‌انداز در بین ردیف‌ها و از عمق ۵ تا ۳۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی برداشت شد. زیرنمونه‌ها پس از اختلاط کامل به‌عنوان یک نمونه مرکب به آزمایشگاه منتقل شدند (شکل ۱).



شکل ۱. نحوه نمونه برداری در باغ

جداسازی قارچ *Trichoderma*

نمونه‌های خاک مرکب ابتدا با استفاده از الک‌هایی با قطر منافذ ۲ تا ۵ میلی‌متر غربال شدند. سپس ۱۰ گرم از خاک الک‌شده به فلاسک‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل و توئین ۲۰ (با غلظت ۱:۱۰۰۰) اضافه گردید. فلاسک‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰ تا ۲۰۰ دور در دقیقه روی شیکر قرار گرفتند. پس از آماده‌سازی، رقت‌های سریالی از 10^{-1} تا 10^{-2} تهیه و هر رقت در چهار تکرار، هرکدام حاوی ۲۵۰ میکرولیتر، روی محیط‌های کشت SPDA و ELAD پخش شد. پتری‌دیش‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در تاریکی به مدت یک هفته انکوبه شدند. کلنی‌های *Trichoderma* به صورت روزانه بررسی و شمارش شدند (Davet, 1979).

طرز تهیه محیط کشت های انتخابی

برای جداسازی اولیه قارچ‌های *Trichoderma*، از محیط کشت SPDA (Sabouraud Potato Dextrose Agar) استفاده شد. این محیط از عصاره سیب‌زمینی (۲۰۰ گرم سیب‌زمینی جوشانده و صاف‌شده)، دکستروز (۲۰ گرم)، و آگار (۱۵-۲۰ گرم) در یک لیتر آب مقطر تهیه گردید. پس از تنظیم pH در محدوده ۵٫۶ تا ۵٫۸، محیط در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو شد. محیط آماده‌شده پس از خنک شدن در پتری‌دیش‌ها ریخته شد و برای کشت نمونه‌های خاک مورد استفاده قرار گرفت. این محیط به دلیل دارا بودن ترکیبات مغذی و pH نسبتاً اسیدی، شرایط مناسبی برای رشد قارچ‌های رشته‌ای فراهم می‌کند (Siddiquee, 2017). جهت افزایش دقت جداسازی و انتخاب اختصاصی گونه‌های *Trichoderma*، از محیط کشت انتخابی ELAD نیز استفاده شد. این محیط شامل ترکیبات معدنی مانند $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، KH_2PO_4 ، KCl ، NH_4NO_3 ، دکستروز، Rose Bengal و آگار بود. برای مهار رشد قارچ‌های رقیب و باکتری‌ها، آنتی‌بیوتیک‌هایی نظیر کلرامفنیکل، کپتان، کوینتوزن (PCNB) و متالاکسیل به‌صورت جداگانه پس از اتوکلاو به محیط پایه اضافه شدند. محیط پس از جامد شدن در پتری‌دیش‌ها ریخته شد و برای کشت رقت‌های خاک مورد استفاده قرار گرفت. این محیط به‌طور خاص برای جداسازی *Trichoderma* از خاک طراحی شده و در مطالعات میکروبی خاک عملکرد بالایی دارد (Askew and Laing, 1993).

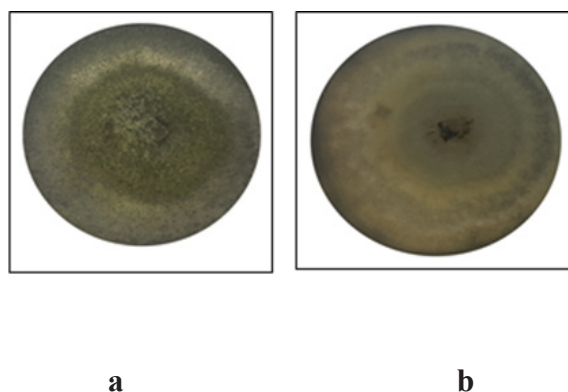
خالص سازی و شناسایی جدایه ها

برای خالص سازی جدایه های *Trichoderma*، از محیط کشت WA و روش کشت تک اسپور استفاده شد. شناسایی اولیه جدایه ها بر اساس ویژگی های مورفولوژیکی شامل شکل و رنگ پرگنه، نوع کنیدیوفور، فیالید، کنیدیوم و کلامیدوسپور انجام گرفت. هم چنین ویژگی های رشد در دماهای مختلف و نحوه اسپورزایی بررسی شد. شناسایی نهایی با استفاده از کلیدهای معتبر تاکسونومیکی و منابع اینترنتی تخصصی صورت گرفت (Samuels et al., 2002; Jaklitsch, 2009).

نتایج و بحث

شناسایی گونه ها بر اساس شکل شناسی

بر اساس بررسی های میکروسکوپی و ویژگی های مورفولوژیکی کلنی ها شامل رنگ، نوع رشد (خوابیده یا کرکی)، نحوه کنیدیومزایی و رنگ سطح زیرین، چندین گونه از جنس *Trichoderma* شناسایی شدند. در میان جدایه های به دست آمده از مناطق مختلف پسته کاری، بیشترین فراوانی متعلق به گونه *T. harzianum* بود (شکل ۲) که با نتایج مطالعات پیشین نیز مطابقت دارد (Zafari et al., 2003; Zafari et al., 2013; Mehrabi-Koushki, 2008). این گونه دارای رشد سریع کلنی و اسپورزایی گسترده است که به سرعت تمام سطح پتری دیش را پوشش می دهد. رنگ کلنی ابتدا سبز مایل به زرد بوده و به تدریج به سبز تیره تغییر می کند؛ سطح زیرین کلنی از بیرنگ تا زرد تیره متغیر است. فیالیدها از پایه کنیدیوفور منشأ گرفته و به صورت آمپولی یا تنگی شکل، اغلب به صورت فراهم با ۳ تا ۴ شاخه مشاهده شدند. در گونه *T. longibrachiatum*، کنیدیومزایی سریع و رنگ کنیدیومها سبز یشمی بود. فیالیدها عمدتاً منفرد و گاهی به صورت دسته های ۲ تا ۳ تایی پیرامونی دیده شدند. این فیالیدها استوانه ای شکل بوده و سطح زیرین کلنی بیرنگ بود. گونه *T. virens* دارای اسپورزایی پراکنده و چمنی در سطح محیط کشت بود. رنگ کلنی پس از اسپورزایی به سبز متمایل به آبی تغییر یافت و سطح زیرین کلنی بیرنگ یا زرد کم رنگ بود (شکل ۲). ریشه های هوایی به صورت کرکی مشاهده شدند و تعداد زیادی کلامیدوسپور تولید گردید. انشعابات کنیدیوفورها به ۳ تا ۶ فیالید ختم شده و فیالیدها آمپولی تا تنگی شکل بودند. در گونه *T. brevicompactum*، رشد کلنی سریع و اسپورزایی فراوان بود. رنگ کلنی سبز زیتونی تا سبز مایل به آبی و کنیدیوفورها به صورت هرمی شکل بودند. فیالیدها عمدتاً آمپولی شکل بودند. ویژگی های مورفولوژیکی این گونه ها با گزارش های پیشین مطابقت داشت (Zafari et al., 2003; Zafari et al., 2013).



شکل ۲. a: نمای پرگنه جدایه *T. harzianum*؛ b: *T. virens* روی محیط کشت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

بررسی فراوانی جدایه‌ها نشان داد که ناحیه فراریشه دارای بیشترین تراکم *Trichoderma* نسبت به سایر بخش‌های خاک بود. این موضوع احتمالاً به دلیل سازگاری اکولوژیکی و تعاملات مثبت با سایر میکروارگانیسم‌های هم زیست در محیط باغ‌های پسته می‌باشد. شناسایی سویه‌های بومی *Trichoderma* در این مناطق می‌تواند گامی مؤثر در کنترل بیماری‌های خاک‌زاد و ارتقاء سلامت نهال‌های پسته باشد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که گونه *T. harzianum* بیشترین فراوانی را در ناحیه فراریشه درختان پسته دارد، که با مطالعات جهانی نیز هم‌راستا است. این گونه به‌عنوان یکی از پرکاربردترین عوامل بیوکنترلی در کشاورزی شناخته شده و توانایی بالایی در مقابله با پاتوژن‌های خاک‌زاد دارد (Chaverri et al., 2015; Jamali et al., 2016). ویژگی‌هایی مانند رشد سریع، اسپورزایی گسترده، و تولید متابولیت‌های ضدقارچی، آن را به گزینه‌ای مناسب برای استفاده در محصولات زیستی تبدیل کرده‌اند. حضور گونه‌هایی مانند *T. longibrachiatum*، *T. virens*، *T. brevicompactum* و *chiatum* نیز نشان‌دهنده تنوع زیستی قابل توجه در خاک‌های پسته‌کاری ایران است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که این گونه‌ها نیز دارای فعالیت‌های آنتاگونیستی مؤثر علیه پاتوژن‌هایی مانند *Phytophthora cap-* *sici*، *Fusarium spp* و *Rhizoctonia solani* هستند و می‌توانند در شرایط نیمه‌خشک عملکرد مناسبی داشته باشند. فراوانی بالای جدایه‌ها در ناحیه فراریشه نسبت به سایر بخش‌های خاک، اهمیت این ناحیه را به‌عنوان زیستگاه فعال میکروبی نشان می‌دهد. ریزوسفر به‌عنوان منطقه‌ای غنی از ترشحات ریشه، شرایط مناسبی برای استقرار و فعالیت قارچ‌های هم زیست فراهم می‌کند (Vinale et al., 2008). این تعاملات می‌توانند منجر به تحریک رشد گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی، و القای مقاومت سیستمیک شوند (Harman et al., 2021). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که در مراحل بعدی، آزمون‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای برای ارزیابی عملکرد بیوکنترلی سویه‌های بومی انجام گیرد. هم‌چنین بررسی اثر این سویه‌ها بر رشد نهال‌های پسته، مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، و سازگاری با شرایط خاک‌های مختلف می‌تواند زمینه‌ساز توسعه محصولات زیستی بومی و پایدار باشد.

نتایج حاصل از بررسی‌های میکروسکوپی و ویژگی‌های مورفولوژیکی کلنی‌های قارچ‌های جنس *Trichoderma* نشان داد که تنوع قابل توجهی از گونه‌های این جنس در خاک‌های مناطق پسته‌کاری ایران وجود دارد. در میان گونه‌های شناسایی‌شده، *T. harzianum* با بیشترین فراوانی در ناحیه فراریشه درختان پسته، به‌عنوان گونه غالب شناخته شد. این یافته با مطالعات پیشین هم‌راستا بوده و تأکیدی بر سازگاری بالای این گونه با شرایط اکولوژیکی باغ‌های پسته دارد. ویژگی‌هایی نظیر رشد سریع، اسپورزایی گسترده، و تولید متابولیت‌های ضدقارچی، *T. harzianum* را به یکی از مؤثرترین عوامل بیوکنترلی در مقابله با پاتوژن‌های خاک‌زاد تبدیل کرده است. حضور این گونه در ناحیه فراریشه، که به‌عنوان زیستگاه فعال میکروبی شناخته می‌شود، نشان‌دهنده تعاملات مثبت آن با ریشه گیاه و سایر میکروارگانیسم‌های هم‌زیست است. این تعاملات می‌توانند منجر به تحریک رشد گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی، و القای مقاومت سیستمیک شوند. علاوه بر *T. harzianum*، گونه‌هایی نظیر *T. longibrachiatum*، *T. virens*، *T. brevicompactum* و نیز شناسایی شدند که هر یک دارای ویژگی‌های مورفولوژیکی و زیستی خاصی هستند. این گونه‌ها با اسپورزایی پراکنده، رنگ‌های متفاوت کلنی، و ساختارهای فیالیدی متنوع، نشان‌دهنده تنوع زیستی بالای قارچ‌های *Trichoderma* در خاک‌های نیمه‌خشک ایران هستند. مطالعات اخیر نیز فعالیت‌های آنتاگونیستی مؤثر این گونه‌ها علیه پاتوژن‌هایی مانند *Phytophthora capsici*، *Fusarium spp* و *Rhizoctonia solani* را تأیید کرده‌اند. با توجه به فراوانی بالای جدایه‌ها در ناحیه فراریشه و نقش کلیدی این منطقه در تعاملات گیاه-میکروارگانیسم، پیشنهاد می‌شود که در مراحل بعدی پژوهش، آزمون‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای برای ارزیابی عملکرد بیوکنترلی سویه‌های بومی انجام گیرد. هم‌چنین بررسی اثر این سویه‌ها بر رشد نهال‌های پسته، مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، و سازگاری با شرایط خاک‌های مختلف می‌تواند زمینه‌ساز توسعه محصولات زیستی بومی و پایدار باشد.

1. Askew, D.J. and Laing, M.D. 1993. An adapted selective medium for the quantitative isolation of *Trichoderma* species. *Plant Pathology*, 42(5): 686–690.
2. Chaverri, P., Vargas, C., Soto, J.G. and Drechsler-Santos, E.R. 2015. Systematics of the *Trichoderma harzianum* species complex. *Mycologia*, 107(3): 558–577.
3. Davet, P. 1979. Techniques for the isolation of soil fungi. INRA Publications.
4. Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. and Lorito, M. 2021. *Trichoderma* in agriculture: from lab to field. *Frontiers in Plant Science*, 12: 718605.
5. Howell, C.R. 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases. *Phytopathology*, 93(1): 34–39.
6. Jaklitsch, W.M. 2009. European species of *Hypocrea* Part I: *Trichoderma* section *Longibrachiatum*. *Studies in Mycology*, 63: 1–91.
7. Jamali, S., Zafari, D. and Moradi, M. 2016. Inhibition of *Trichoderma* species on *Phytophthora drechsleri*. *Journal of Nuts*, 7(2): 123–130. (In Persian)
8. Mehrabi-Koushki, M. 2008. Survey of *Trichoderma* diversity in pistachio rhizosphere. M.Sc. thesis, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)
9. Meincke, R., Schneider, T., Schmidt, S., Zafari, D. and Schulz, B. 2010. Diversity of *Trichoderma* species in soils of Germany. *Applied Soil Ecology*, 45(2): 284–290.
10. Mukherjee, P.K., Hormazdi, V., Chakraborty, N. and Ghosh, A. 2023. *Trichoderma* as a model fungus for biocontrol and plant growth promotion. *Microbiological Research*, 266: 127234.
11. Rodríguez-Martínez, E., González, J., Pérez, M. and Torres, L. 2025. *Trichoderma* species from semiarid regions and their antagonism. *Journal of Fungi*, 11(3): 174.
12. Samolski, I., Rincon, A.M., Villalba, M.T. and Casas, J. 2009. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* spp. *Journal of Plant Pathology*, 91(2): 385–392.
13. Samuels, G.J., Drechsler-Santos, E.R. and Bricker, M. 2002. *Trichoderma* systematics: the state of the art. *Mycological Research*, 106(7): 757–791.
14. Siddiquee, S. 2017. Practical handbook of the biology and molecular diversity of *Trichoderma* species. Springer, Singapore: pp. 1–320.
15. Vinale, F., Lombardi, N., Marra, R. and Lorito, M. 2024. Recent advances in *Trichoderma*-based biostimulants. *Journal of Applied Microbiology*, 136(1): 45–59.
16. Vinale, F., Sirigu, S., Sivasithamparam, K., Lorito, M. and Marra, R. 2008. *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology & Biochemistry*, 40(1): 1–10.
17. Zafari, D., Jamali, S. and Moradi, M. 2003. Identification of *Trichoderma* species in Iranian pistachio orchards. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 39(2): 45–52. (In Persian)