Effect of RTS-Trichoderma Biofertilizer on the Improvement of Morphological Traits of Bell Pepper in Greenhouse Cultivation

Mohammad Javad Avesta[1], Siamak Peyda[2], AliAkbar Asadi[3] and Kasra Esfahani[4*]

1- Faculty of Biological sciences, Department of Microbiology, Islamic Azad University, Qods Branch, Tehran, Iran
2- Department of Agroecology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
3- Department of Plant Molecular Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran
4- Department of Plant Bioproducts, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran
* Corresponding author, Email: kasra13@nigeb.ac.ir

نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)

Abstract

Background and Objective: Trichoderma has always been considered one of the important biological agents in agriculture. In this study, one of the commercial products produced based on this fungus was investigated in order to evaluate its actual effect under commercial greenhouse cultivation conditions of bell pepper. Due to its high nutritional value, bell pepper is favored by consumers and consequently by farmers in Iran and worldwide.

Methods: This study was conducted in 2024 and 2025 to investigate the effect of the RTS-Trichoderma biofertilizer, a product of Royan Tisan Sabz Knowledge-Based Company containing Trichoderma harzianum RTS1, on the morphological traits and yield of bell pepper in a commercial greenhouse in Varamin County. The experiment consisted of two treatments, a control and the biofertilizer, and was carried out in a single greenhouse. The biofertilizer was applied three times through irrigation water according to the manufacturer's instructions. Plants were randomly selected, and fruit length, diameter, weight, and flesh thickness, length-to-diameter ratio, number of lobes, and plant height were measured. After assessing the normality of the data and homogeneity of variances, treatment means were compared using an independent-samples t-test, and relationships among traits were examined using Pearson's correlation coefficient. Statistical analyses were performed with SPSS version 26, and graphs were generated using Excel 2019.

Results: The independent-samples t-test results revealed that the RTS-Trichoderma biofertilizer treatment significantly increased fruit length from 92.67 mm in the control to 104 mm (12.3% increase; $p < 0.05$) and fruit weight from 169.67 g in the control to 194.75 g in the biofertilizer treatment (14.8% increase; $p < 0.05$). Fruit flesh thickness was also significantly greater in the RTS-Trichoderma treatment than in the control ($p < 0.05$). In addition, plant height in the biofertilizer treatment, with a mean of 261 cm, showed a significant 7.4% increase compared with the control, with a mean of 243 cm ($p < 0.05$). This pattern indicates that the RTS-Trichoderma biofertilizer mainly stimulated longitudinal fruit growth, increased fruit weight, and thickened the fruit flesh. The positive and significant correlation between fruit length and fruit weight ($r = 0.759$) also confirms that the increase in fruit weight occurred more through an increase in fruit length.

Conclusion: The results of this study indicate that the application of RTS-Trichoderma biofertilizer can improve fruit length, weight, and flesh thickness, as well as increase plant height in bell pepper.

Keywords: Bell pepper, Biofertilizer, Morphological Traits, Royan Tisan Sabz, RTS-Trichoderma, *Trichoderma harzianum*.

اثر کود زیستی RTS-تریکودرما بر بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک فلفل دلمه‌ای در کشت گلخانه‌ای

محمد جواد اوستا[۱]، سیامک پیدا[۲]، علی اکبر اسدی[۳] و کسری اصفهانی[۴*]

۱- گروه میکروبیولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران
۲- گروه آگرو اکولوژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- گروه زیست فناوری مولکولی گیاهی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران
۴- گروه زیست فرآورده‌های گیاهی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران
* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: kasra13@nigeb.ac.ir

نسخه پیش از انتشار

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: قارچ تریکودرما به عنوان یکی از نهاده‌های زیستی مهم همواره در کشاورزی مورد توجه بوده است. در این پژوهش یکی از محصولات تجاری تولیدی بر اساس این قارچ با هدف بررسی تاثیر واقعی آن در شرایط کشت تجاری گلخانه‌ای گیاه فلفل دلمه‌ای بررسی شده است که به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالا در ایران و جهان همواره مورد استقبال مصرف کنندگان و کشاورزان بوده است.

روش‌ها: این پژوهش در سال‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ با هدف بررسی تأثیر کود زیستی RTS-تریکودرما محصول شرکت دانش بنیان رویان تیسان سبز، حاوی قارچ *Trichoderma harzianum* RTS1 بر صفات مورفولوژیک و عملکرد فلفل دلمه‌ای در یک گلخانه تجاری در شهرستان ورامین انجام شد. آزمایش شامل دو تیمار شاهد و کود زیستی بود که در یک گلخانه اجرا شدند. کود زیستی در سه نوبت، مطابق دستورالعمل شرکت تولیدکننده، از طریق آب آبیاری اعمال شد. بوته‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب و صفات طول، قطر، وزن و ضخامت گوشت میوه، نسبت طول به قطر، تعداد لوب و ارتفاع بوته اندازه‌گیری شدند. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها، مقایسه میانگین تیمارها با آزمون t مستقل و بررسی روابط بین صفات با ضریب همبستگی پیرسون انجام گرفت. تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel 2019 انجام شد.

نتایج: نتایج آزمون t مستقل نشان داد که تیمار کود زیستی RTS-تریکودرما به‌طور معنی‌دار باعث افزایش طول میوه از ۹۲/۶۷ میلی‌متر در شاهد به ۱۰۴ میلی‌متر (۱۲/۳ درصد افزایش؛ $p<0/05$) و افزایش وزن میوه از ۱۶۹/۶۷ گرم در شاهد به ۱۹۴/۷۵ گرم در تیمار کود زیستی (۱۴/۸ درصد افزایش؛ $p<0/05$) بوده است. ضخامت گوشت میوه نیز در تیمار RTS-تریکودرما به‌طور معنی‌دار بیشتر از شاهد بود ($p<0/05$). علاوه بر این، ارتفاع بوته در تیمار کود زیستی با میانگین ۲۶۱ سانتی‌متر در مقایسه با شاهد با میانگین ۲۴۳ سانتی‌متر، افزایش معنی‌دار ۷/۴ درصدی نشان داد ($p<0/05$). همبستگی مثبت و معنی‌دار طول میوه با وزن میوه ($r=0/759$) نیز مؤید آن است که افزایش وزن میوه عمدتاً متاثر از افزایش طول میوه بوده است.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از کود زیستی RTS-تریکودرما می‌تواند باعث بهبود صفات طول، وزن و ضخامت گوشت میوه و همچنین افزایش ارتفاع بوته در گیاه فلفل دلمه‌ای شود.

واژه‌های کلیدی: *تریکودرما هارزیانوم*، رویان تیسان سبز، صفات مورفولوژیک، فلفل دلمه‌ای، کود زیستی، RTS-تریکودرما.

مقدمه

فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی با ارزش غذایی و اقتصادی بالا در جهان است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشت می‌شود (Tsegay *et al.*, 2013). در سال‌های اخیر، به‌دلیل رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای تازه‌خوری و محصولات فرآوری‌شده حاصل از آن، مصرف فلفل دلمه‌ای به طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. این محصول در بیش از ۱۲۶ کشور جهان کشت می‌شود که چین بزرگ‌ترین تولیدکننده و پس از آن مکزیک در رتبه دوم قرار دارد (Tiamiyu *et al.*, 2023). فلفل دلمه‌ای علاوه بر طعم مطبوع و قابلیت مصرف در صنایع غذایی مختلف، منبع غنی از ترکیبات زیست‌فعال مانند ویتامین C، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها و کپسایسین است. مصرف منظم آن در پیشگیری از بیماری‌های قلبی–عروقی، آترواسکلروز، برخی سرطان‌ها، کاهش کلسترول خون و کند کردن روند پیری مؤثر گزارش شده است (Marín *et al.*, 2004; Tirado-Malaver and Tirado-Lara, 2025).

فلفل دلمه‌ای مانند بسیاری از محصولات کشاورزی دیگر با چالش‌هایی نظیر انواع آفات و بیماری‌ها، کیفیت پایین خاک‌های زراعی و تنش‌های غیرزیستی روبه‌رو است. این عوامل منجر به کاهش رشد رویشی، عملکرد و کیفیت میوه می‌شوند و در کشت گلخانه‌ای، استفاده از روش‌های کنترل آفات و بیماری‌ها و تغذیه پایدار الزامی است. در سال‌های اخیر، استفاده از کودهای زیستی و ریزجانداران مفید، به‌ویژه گونه های قارچ جنس *Trichoderma*، به عنوان جایگزینی سالم و مؤثر برای نهاده‌های شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. قارچ *Trichoderma harzianum* به عنوان یکی از گونه‌های پرکاربرد و شناخته‌شده در ریزوسفر گیاهان، توانایی بالایی در رقابت با قارچ‌های بیماری‌زا و تولید متابولیت‌ها و آنزیم‌های متنوع داشته و علاوه بر کنترل عوامل بیماری‌زا، موجب بهبود ساختار خاک، افزایش جذب مواد غذایی و تقویت رشد گیاه می‌شود. این قارچ با گسترش سیستم ریشه‌ای و تحریک رشد ریشه‌چه‌ها، جذب آب و عناصر مغذی را افزایش داده و در نتیجه مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها را ارتقا می‌دهد. همچنین، کاربرد آن منجر به تحریک مقاومت القایی در گیاه، بهبود کارایی مصرف کود و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی از جمله NPK می‌شود (Martinez *et al.*, 2023).

نشان داده شده است که کاربرد قارچ *تریکودرما هارزیانوم*، چه به‌صورت تیمار بذری و چه به‌صورت مصرف خاکی یا در ترکیب با ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک، موجب بهبود شاخص‌های رشد مانند ارتفاع بوته، وزن و تعداد میوه، عملکرد کلی و حتی افزایش تحمل گیاه فلفل دلمه‌ای نسبت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود (Tirado-Malaver and Tirado-Lara, 2025). در یک پژوهش، تأثیر جدایه‌های مختلف قارچ تریکودرما بر کشت گلدانی با نسبت مساوی خاک مزرعه و ماسه، در گیاه خیار و در شرایط گلخانه‌ای بررسی شده و نتایج آن نشان داد که جدایه ۱۷ تریکودرما مورد استفاده در این بررسی، می‌تواند باعث افزایش طول ساقه شود (Taghinasab Darzi, 2012).

در ایران نیز پژوهش‌هایی اثر مثبت کودهای آلی و سویه‌های مختلف قارچ تریکودرما و سایر ریزجانداران مفید بر رشد، صفات زراعی و عملکرد گیاهان مختلف از جمله فلفل دلمه‌ای را تأیید کرده‌اند. در بررسی تأثیر کود آلی، قارچ میکوریزا و باکتری های *Bacillus subtilis* و *B. amyloliquefaciens* بر صفات رشدی فلفل دلمه‌ای مشخص شد که که کاربرد کود آلی و قارچ میکوریزا وزن خشک شاخساره و عملکرد میوه را نسبت به شاهد افزایش دادند و ترکیب این دو برای کشت فلفل دلمه‌ای گلخانه‌ای مناسب بوده است (Nejati Sini et al., 2022). در مطالعه دیگری، گزارش شده است که عصاره ازولا به‌عنوان کود آلی بر عملکرد میوه، غلظت آهن، روی و پروتئین در میوه، شاخصاره و ریشه فلفل دلمه‌ای تاثیر مثبت داشته است (Fatahi Vanani and Khalili, 2023). در بررسی تاثیر دو گونه قارچ تریکودرما *T. harzianum* و *T. viride* به طور جداگانه و توام بر تغذیه و رشد درختان پسته، نتایج نشان داد که هر سه تیمار قارچ تریکودرما توانستند صفات رویشی شامل طول شاخه (تا ۶۰٪)،

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

تعداد جوانه رویشی (تا ۳۰٪)، سطح برگ (تا ۵۰٪) و شاخص کلروفیل (تا ۱۷۱٪) را در درختان پسته به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد بدون تلقیح بهبود دهند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش و پس از انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای بیشتر می‌توان انتظار داشت که بتوان از این قارچ‌ها به‌عنوان کود زیستی (به تنهایی و یا به صورت کاربرد توام) در جهت کاهش بخشی از مصرف کودهای شیمیایی استفاده کرد (Hosseinzeynali et al., 2020). همچنین در پژوهش Vakili-Ghartavol و همکاران (2023) گزارش شده است که کاربرد تلفیقی کود زیستی ارغوان و کود شیمیایی NPK موجب افزایش معنی دار ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه و نیز عملکرد میوه فلفل دلمه‌ای در مقایسه با تیمار استفاده از مقادیر بیشتر کود شیمیایی شده است.

با توجه به گسترش رویکرد کشاورزی پایدار، نیاز به تولید محصولات سالم و ضرورت کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در کشور، توسعه و کاربرد کودهای زیستی بر پایه ریزجانداران مؤثر خاک‌زی از جمله قارچ تریکودرما، مورد توجه قرار گرفته است. استفاده توام از باکتری های محرک رشد، قارچ تریکودرما و هیومیک اسید منجر به افزایش عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص برداشت در مقایسه با کاربرد منفرد آنها و همچنین شاهد بوده است (Toughani et al., 2024). در مطالعه دیگری تحت شرایط کشت بدون خاک در گلخانه، جدایه BI قارچ *T. harzianum*به همراه ورمی کمپوست باعث افزایش وزن خشک و قطر ساقه و تعداد برگ گیاه کرفس نسبت به تیمار شاهد شده است (Ahooi et al., 2020).

در پژوهش حاضر اثر کاربرد کود زیستی بهبوددهنده رشد گیاه حاوی قارچ *T. harzianum* RTS1 محصول شرکت دانش‌بنیان رویان تیسان سبز با نام تجاری RTS–تریکودرما بر برخی صفات مورفولوژیک و شاخص‌های بازارپسندی میوه فلفل دلمه‌ای در شرایط کشت گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف این پژوهش، بررسی اثر این کود زیستی بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه فلفل دلمه‌ای، شامل طول، قطر، وزن، تعداد لوب، ضخامت گوشت و شاخص میوه و همچنین ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد (بدون مصرف کود زیستی) بوده است.

مواد و روش‌ها

روش اجرای آزمایش

این پژوهش در سال های ۱۴۰۳ تا ۱۴۰۴ با هدف بررسی اثر کود زیستی RTS–تریکودرما حاوی قارچ *Trichoderma harzianum* RTS1 محصول شرکت دانش بنیان رویان تیسان سبز (با شماره ثبت ۰۷۱۶۳) بر صفات مورفولوژیک و عملکرد فلفل دلمه‌ای در شرایط کشت گلخانه‌ای انجام شد. آزمایش در یک گلخانه تجاری زیر کشت فلفل دلمه‌ای در شهرستان ورامین (استان تهران) اجرا شد که دارای پوشش پلاستیکی، سیستم تهویه و آبیاری قطره‌ای بوده و بستر کشت از خاک زراعی، کود دامی پوسیده و ماسه با نسبت حجمی ۲:۱:۱ تشکیل شده بود. نشاء های ۴۵ روزه رقم هیبرید نیروین رکسوان با تراکم نهایی ۲۸ هزار بوته در هکتار با فاصله ۴۲ تا ۴۵ سانتیمتر بین هر دو بوته، در اواخر شهریور ماه در گلخانه کشت شده و اولین برداشت اواسط آذر ماه سال ۱۴۰۳ انجام شد. زمان نمونه برداری فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۴ بوده است. رطوبت گلخانه بین ۵۰ تا ۶۵ درصد و دما در روز بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس و دمای شب بین ۱۷ تا ۲۰ درجه سلسیوس بود. pH آب آبیاری با توجه به شرایط منطقه ۷/۲ تا ۷/۵ و EC آب ۲/۸ تا ۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر اندازه گیری شد. بوته میری در زمان انتقال نشاء و لکه برگی و فوزاریوم در طول مدت زمان رشد و برداشت به مقدار ناچیزی مشاهده شده و زمان نمونه‌برداری بین ساعات نه تا ۱۰ صبح بوده است.

تیمارها و طراحی آزمایش

با توجه به ساختار داخلی گلخانه، فضای داخلی آن به سه قطعه و هر قطعه به دو واحد (جمعاً شش واحد) تقسیم شد که در هر واحد ۳۵ بوته فلفل دلمه‌ای قرار داشت. به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌های واقع در ۵ متر ابتدایی و انتهایی هر قطعه از نمونه‌برداری کنار گذاشته شدند و نمونه‌برداری از قسمت میانی

نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)

هر بخش انجام گرفت. در واحدهای مربوط به تیمار شاهد هیچ نوع کود زیستی استفاده نشد و در واحدهای مربوط به تیمار کود زیستی، ۳۵ بوته با کود زیستی RTS-تریکودرما (*تریکودرما هارزیانوم* 10^7 در هر میلی لیتر، pH: ۶-۷) محصول شرکت دانش‌بنیان رویان تیسان سبز تیمار شدند. اعمال کود زیستی در سه مرحله با افزودن دو لیتر کود زیستی مذکور در آب آبیاری در هر ۱۰۰۰ مترمربع، ابتدای دوره رشد، ۴۸ ساعت بعد و ده روز بعد در سه مرتبه (طبق دستورالعمل شرکت تولیدکننده) انجام شد. سایر عملیات زراعی مانند آبیاری، تهویه، دما و رطوبت در هر دو تیمار یکسان بود.

اندازه‌گیری صفات

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک میوه‌ها، ۴ بوته به طور تصادفی در هر یک از بخش ها برای هر یک از تیمارها انتخاب شد و در مجموع ۱۲ نمونه تصادفی برای تیمار شاهد و ۱۲ نمونه تصادفی برای تیمار کود زیستی برداشت شد. صفات مورد بررسی شامل طول میوه (میلی‌متر)، قطر میوه (میلی‌متر)، شاخص L/D میوه (نسبت طول به قطر میوه)، وزن میوه (گرم) و ضخامت گوشت میوه (میلی‌متر) اندازه‌گیری شدند. ضخامت گوشت میوه پس از برش عرضی میوه، به‌وسیله کولیس اندازه‌گیری شد و برای اندازه‌گیری وزن میوه از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. تعداد لوب میوه های برداشت شده از هر بوته نیز شمارش و میانگین آن ها محاسبه شد. همچنین به منظور بررسی رشد گیاه تحت تاثیر تیمار کود زیستی، ارتفاع بوته (سانتی‌متر) اندازه گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

با توجه به این که در پژوهش حاضر دو تیمار شاهد و کود زیستی وجود داشت، برای مقایسه میانگین صفات از آزمون t مستقل (Independent Samples t-test) در سطح احتمال ۵ درصد ($p \leq 0.05$) استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها به وسیله نمودار Q-Q plot بررسی شد و سه نمونه از تیمار شاهد با توجه به نتایج نمودار حذف شد. به همین دلیل مقایسه میانگین بین تیمار شاهد با نه نمونه و کود زیستی با ۱۲ نمونه مستقل با هدف بررسی تأثیر تیمار کود زیستی بر ویژگی های میوه فلفل دلمه‌ای، شامل طول میوه، قطر میوه، شاخص میوه (نسبت طول به قطر)، وزن میوه و ضخامت گوشت میوه انجام شد. همچنین یکنواختی واریانس‌ها با آزمون Levene بررسی و همگنی واریانس‌های درون تیماری در برخی صفات تایید شد. در صفات طول میوه، شاخص میوه، ضخامت گوشت میوه و ارتفاع بوته واریانس های درون تیماری همگن نبوده و به همین دلیل فرمول آزمون t مستقل و درجه آزادی آن بر همین اساس تصحیح شد و مقدار t با در نظر گرفتن این موضوع محاسبه شد.

برای بررسی ارتباط بین صفات میوه، از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson correlation coefficient) استفاده شد و سطح معنی‌داری در ۱٪ و ۵٪ گزارش شد. تمامی محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Version 26.0) انجام گرفت. نمودارهای ستونی میانگین‌ها و مقادیر خطای استاندارد نیز به منظور نمایش گرافیکی داده‌ها در نرم‌افزار Microsoft Excel 2019 ترسیم شدند.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی اثر کود زیستی RTS-تریکودرما بر ویژگی‌های مورفولوژیک میوه فلفل دلمه‌ای، آزمون t مستقل روی داده‌های حاصل از تیمار شاهد و تیمار کود زیستی انجام شد. نتایج نشان داد که در صفات ضخامت گوشت، طول و وزن میوه و همچنین ارتفاع بوته اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشته است (جدول ۱).

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد کود زیستی حاوی RTS-تریکودرما به‌طور قابل‌توجهی بر ویژگی های مهم بازارپسندی میوه (طول، وزن، ضخامت گوشت) تأثیر داشته است و توانسته است ویژگی های مطلوبی مانند طول، وزن و ضخامت گوشت میوه و همچنین ارتفاع بوته را در فلفل دلمه‌ای افزایش دهد. در پژوهشی که توسط Bonini و همکاران (2020) انجام

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

جدول ۱. نتایج آزمون t مستقل در بررسی اثر کود زیستی RTS–تریکودرما بر ویژگی‌های مورفولوژیک میوه فلفل دلمه‌ای و ارتفاع بوته

Table 1. Results of independent t-test in the effect of RTS-Trichoderma biofertilizer on morphological traits of bell pepper fruit and plant height

صفات Traits	آزمون t مستقل Independent samples t-test	
	t	SE
طول میوه Fruit lenght	2.294*	4.93
قطر میوه Fruit diameter	1.610ns	2.07
شاخص L/D میوه Fruit index	1.026ns	0.075
وزن میوه Fruit weight	4.133*	6.06
ضخامت گوشت میوه Fruit flesh thickness	2.854*	0.35
ارتفاع بوته Plant height	3.803*	4.74

ns عدم معنی‌داری؛ * معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

ns not significant; * significant at the 5% probability level

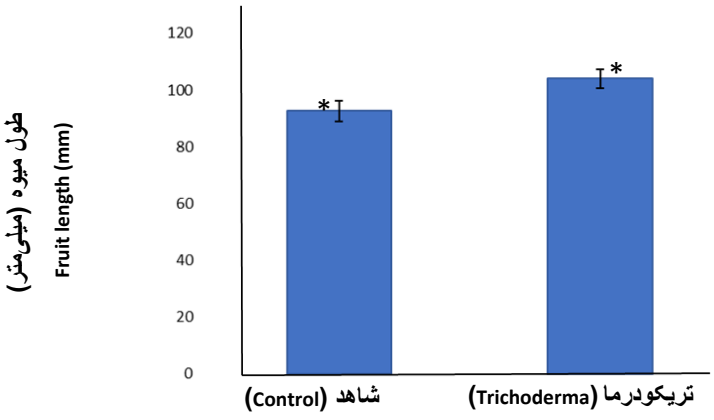
شد، کاربرد انواع قارچ‌های اندوفیت بررسی و مشخص شده بود که این قارچ ها می توانند تا ۲۳/۷ درصد عملکرد میوه فلفل را بهبود دهند. نتایج آزمون، تاثیر مثبت این کود زیستی بر ارتفاع گیاه را نیز نشان داده بود.

مقایسه میانگین طول و قطر میوه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد، میانگین طول میوه که در تیمار کود زیستی RTS–تریکودرما برابر با ۱۰۴ میلی‌متر بود در مقایسه با تیمار شاهد (۹۲/۶۷ میلی‌متر) افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارد (شکل ۱). این افزایش می تواند به دلیل اثر قارچ تریکودرما در بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش رشد باشد که زمینه توسعه طولی میوه را فراهم می نماید. بر اساس پژوهش انجام شده کنتراس–کورنجو و همکاران (۲۰۰۹)، این افزایش طولی را می‌توان به تولید ترکیباتی توسط قارچ تریکودرما نسبت داد که با تحریک تقسیم سلولی در ناحیه مریستم انتهایی میوه، زمینه رشد طولی را فراهم می‌کنند. همچنین، افزایش جذب فسفر و پتاسیم در اثر فعالیت فسفات‌حل‌کنندگی تریکودرما، می تواند به بهبود استحکام دیواره سلولی و در نتیجه رشد طولی پایدار کمک کند (Contreras-Cornejo *et al.*, 2009).

از سوی دیگر گرچه نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اختلاف معنی‌داری در قطر میوه بین دو تیمار مورد بررسی وجود ندارد ولی تیمار RTS–تریکودرما با میانگین قطر میوه ۸۷ میلی‌متر تفاوت قابل ملاحظه ای با تیمار شاهد با میانگین ۸۳/۶۷ داشت. با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت که عدم اختلاف معنی‌دار در این صفت نشان می‌دهد که پاسخ گیاه به کود زیستی RTS–تریکودرما بیشتر منجر به رشد طولی میوه شده و تاثیر معنی داری بر رشد عرضی میوه نداشته است. همچنین شاخص میوه نیز که از نسبت طول به قطر میوه محاسبه شد، تفاوت آماری معنی‌داری بین دو تیمار (RTS–تریکودرما ۱/۱۹۷۵ در مقایسه با شاهد ۱/۱۲۰۰) نشان نداد. در پژوهشی که توسط Vakili-Ghartavol و همکاران (2023) انجام شد، تاثیر کود زیستی حاوی باکتری های مفید، قارچ ها و جلبک های سبز آبی به همراه کود NPK نیز بر افزایش طول میوه فلفل دلمه‌ای نسبت به گیاهان شاهد گزارش شده است.

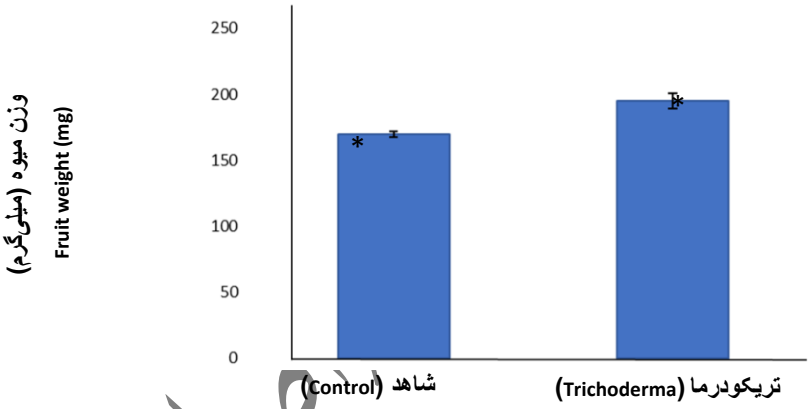
نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده



شکل ۱. مقایسه میانگین طول میوه در مقایسه تیمار کود زیستی RTS–تریکودرما با شاهد

(* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Fig. 1. Mean comparison of fruit length in RTS-Trichoderma biofertilizer treatment with control
* Significant at the 5% probability level



شکل ۲. مقایسه میانگین وزن میوه در مقایسه تیمار کود زیستی RTS–تریکودرما با شاهد

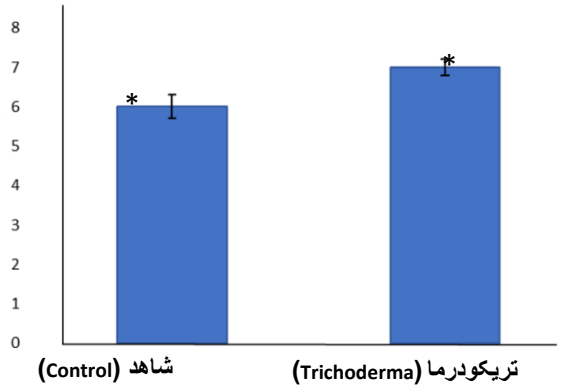
(* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Fig. 2. Mean comparison of fruit weight in RTS-Trichoderma biofertilizer treatment with control
* Significant at the 5% probability level

مقایسه میانگین وزن میوه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد، وزن میوه در تیمار RTS–تریکودرما با میانگین ۱۹۴/۷۵ گرم به طور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، بالاتر از تیمار شاهد با میانگین ۱۶۹/۶۷ گرم قرار گرفت (شکل ۲). بر اساس نتایج مطالعه لوپز–بوچیو و همکاران (۲۰۱۵) افزایش وزن میوه در حضور قارچ تریکودرما را می‌توان ناشی از ترکیب اثر افزایش طول میوه، ضخامت گوشت میوه و افزایش کارایی فیزیولوژیکی در پر شدن میوه دانست. با توجه به نتایج پژوهش مذکور، وزن بیشتر میوه در تیمار کود زیستی می‌تواند تحت تاثیر سه عامل باشد: نخست، افزایش کارایی فتوسنتزی و انتقال مواد پرورده به میوه؛ دوم، بهبود جذب عناصر ریزمغذی مانند روی و منگنز که در آنزیم‌های مسیر ساخت کربوهیدرات‌ها نقش دارند و سوم، تعدیل هورمون‌های رشد به نفع افزایش اندازه و پرشدگی حجره‌های میوه. پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده‌اند که قارچ تریکودرما با کلونیزاسیون ریشه، مقاومت روزنه‌ای را کاهش و جذب

نسخه پیش اصلاح نشده



شکل ۳. مقایسه میانگین ضخامت گوشت میوه در مقایسه تیمار کود زیستی RTS–تریکودرما با شاهد

(* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Fig. 3. Mean comparison of fruit flesh thickness in RTS-Trichoderma biofertilizer treatment with control

* Significant at the 5% probability level

دی‌اکسید کربن را افزایش می‌دهد که در نهایت به افزایش وزن میوه منجر می‌شود (López-Bucio et al., 2015). این موضوع از نظر بازارپسندی و عملکرد تجاری فلفل دلمه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا وزن میوه یکی از شاخص‌های اصلی تعیین کیفیت و ارزش اقتصادی محصول است. در پژوهشی که توسط Bonini و همکاران (2020) انجام شد نیز گزارش شده است که فلفل‌های تیمارشده با کودهای حاوی تریکودرما و سایر باکتری‌های زیستی، وزن میوه بیشتری نسبت به گیاهان تیمارنشده و شاهد داشتند.

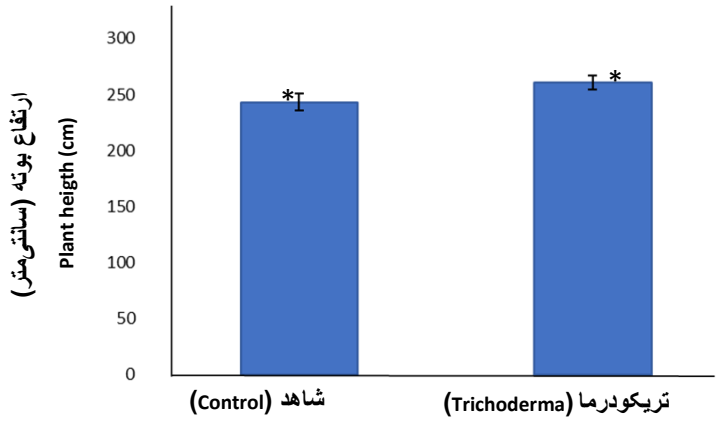
مقایسه میانگین ضخامت گوشت و تعداد لب میوه

نتایج مقایسه میانگین ضخامت گوشت میوه در تیمار RTS–تریکودرما نشان داد که تیمار این کود زیستی (۷ میلی‌متر) باعث افزایش معنی‌دار ضخامت گوشت میوه نسبت به شاهد (۶ میلی‌متر) می شود (شکل ۳). ضخامت گوشت میوه یکی از شاخص‌های مهم کیفی میوه فلفل دلمه‌ای محسوب می‌شود؛ چراکه ضخامت بیشتر گوشت علاوه بر افزایش ماندگاری پس از برداشت و مقاومت در برابر تنش‌های مکانیکی، از نظر مصرف تازه‌خوری نیز مورد توجه مصرف‌کنندگان است.

بر اساس نتایج مطالعه آلتومار و همکاران (۱۹۹۹) افزایش معنی‌دار ضخامت گوشت میوه در تیمار قارچ تریکودرما را می‌توان به بهبود جذب پتاسیم توسط گیاه به واسطه حضور این قارچ نسبت داد. قارچ‌های تریکودرما با سازوکارهایی مانند اسیدی‌کردن محیط ریزوسفر، تولید متابولیت‌های کلات‌کننده و فعالیت اکسایشی–کاهشی، پتاسیم نامحلول خاک را به شکل قابل‌جذب برای گیاه تبدیل می‌کنند (Altomare *et al.*, 1999). پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که تلقیح با تریکودرما می‌تواند جذب پتاسیم را تا بیش از ۳۷ درصد افزایش دهد (Yedidia *et al.*, 2001). پتاسیم جذب‌شده با تقویت دیواره سلولی از طریق افزایش سنتز سلولز و همی‌سلولز، حفظ تورژسانس سلول‌ها و بهبود انتقال مواد فتوسنتزی به میوه، زمینه‌ساز افزایش اندازه سلول‌ها و در نتیجه ضخیم‌تر شدن گوشت میوه می‌شود (Marschner, 2011). نتایج مطالعه حاضر همچنین با نتایج لیو و همکاران همخوانی دارد که گزارش کردند کاربرد کود آلی زیستی بر پایه *T. guizhouense* باعث افزایش معنی‌دار ضخامت میوه فلفل دلمه‌ای می شود.

با توجه به این که داده های تعداد لب میوه توزیع نرمال نداشتند، مقایسه میانگین آن با روش‌های غیرپارامتری Mann-Whitney انجام شد و اختلاف معنی داری مشاهده نشد. بنابراین تفاوت تیمار کود زیستی RTS–تریکودرما با میانگین ۳/۵ لب در

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده



شکل ۴. مقایسه میانگین ارتفاع بوته در مقایسه تیمار کود زیستی RTS–تریکودرما با شاهد (* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Fig. 4. Mean comparison of plant height in RTS-Trichoderma biofertilizer treatment with control
* Significant at the 5% probability level

میوه و تیمار شاهد با میانگین ۳/۳ لب در میوه از نظر آماری معنی‌دار نمی باشد.

مقایسه میانگین ارتفاع بوته گیاه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد، ارتفاع بوته در تیمار RTS–تریکودرما با میانگین ۲۶۱ سانتی‌متر به طور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، بالاتر از تیمار شاهد با میانگین ۲۴۳ سانتی‌متر است (شکل ۴). با توجه به نتایج به دست آمده می توان بیان نمود که تیمار RTS–تریکودرما علاوه بر بهبود ویژگی های مورفولوژیک میوه می تواند باعث رشد بیشتر بوته و افزایش ارتفاع آن شود. در پژوهش Vakili-Ghartavol و همکاران (2023) نیز گزارش شده است که کاربرد تلفیقی کود زیستی ارغوان و کود شیمیایی NPK به طور معنی‌داری مقادیر بالاتر میانگین صفات رشد رویشی مانند ارتفاع بوته را نشان می دهد.

همبستگی صفات مورد پژوهش میوه

به منظور شناسایی روابط خطی بین ویژگی های میوه فلفل دلمه‌ای، ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها محاسبه شد (جدول ۲). بررسی جدول همبستگی نشان می دهد که بیشترین همبستگی معنی دار بین دو صفت طول میوه و شاخص میوه (۰/۹۴۵) و به دنبال آن بین طول میوه و وزن میوه (۰/۷۵۹) مشاهده شد. همچنین ضعیف ترین همبستگی بین دو صفت قطر میوه و وزن میوه (۰/۰۳۶) وجود دارد. یکی از نتایج این پژوهش، وجود همبستگی مثبت (r = ۰/۷۵۹) معنی دار در سطح یک درصد میان صفات طول و وزن میوه می باشد که با توجه به این نتیجه بدیهی است افزایش طول میوه منجر به افزایش وزن کلی میوه می‌شود. همچنین قطر میوه با تعداد لب و ضخامت گوشت میوه همبستگی مثبت معنی دار و با شاخص میوه همبستگی منفی معنی داری در سطح احتمال یک درصد دارد بنابراین افزایش قطر میوه با افزایش تعداد حجره‌ها و ضخیم‌تر شدن گوشت میوه همراه است. از سوی دیگر صفت شاخص میوه با وزن میوه و صفت تعداد لب با ضخامت گوشت میوه همبستگی مثبت معنی داری را در سطح یک درصد دارند. نتایج بررسی همبستگی نیز تایید می نماید که افزایش وزن میوه بیشتر از طریق رشد طولی آن اتفاق می‌افتد و تاثیر افزایش قطر یا ضخامت گوشت بر وزن میوه ناچیز است.

بر اساس نتایج این بخش، وزن میوه به طور عمده تحت تأثیر طول میوه قرار دارد در حالی‌که ضخامت گوشت میوه بیشتر با قطر و تعداد لب‌ها مرتبط است. این روابط می‌تواند برای به‌نژادگران و محققان کاربردی باشد به طوری که انتخاب

نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)

جدول ۲. بررسی همبستگی صفات در ارتباط با تاثیر کود RTS–تریکودرما بر فلفل دلمه‌ای (n = ۲۱)

Table 2. Correlation study of traits in relation to the effect of RTS-Trichoderma biofertilizer on bell pepper (n = 21)

	طول میوه Fruit lenght	قطر میوه Fruit diameter	شاخص میوه Fruit index	تعداد لب Number of lips	وزن میوه Fruit weight	ضخامت گوشت میوه Fruit flesh thickness
طول میوه Fruit lenght	1					
قطر میوه Fruit diameter	-0.403	1				
شاخص L/D میوه Fruit index	0.945**	-0.679**	1			
تعداد لب Number of lips	-0.274	0.547*	-0.419	1		
وزن میوه Fruit weight	0.759*	0.036	0.599*	-0.284	1	
ضخامت گوشت میوه Fruit flesh thickness	-0.165	0.713**	-0.385	0.730**	-0.065	1

* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد؛ ** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns not significant; * significant at the 5% probability level; ** significant at the 1% probability level

ژنوتیپ‌هایی با طول بیشتر میوه می‌تواند به افزایش وزن محصول کمک کند در حالی‌که برای بهبود ضخامت گوشت و کیفیت مصرف تازه‌خوری باید به قطر و تعداد لب‌های میوه توجه ویژه شود.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد کود زیستی RTS–تریکودرما محصول شرکت دانش‌بنیان رویان تیسان سبز اثر مثبت و معنی‌داری بر برخی صفات مهم و بازارپسندی میوه فلفل دلمه‌ای از جمله طول، وزن و ضخامت گوشت میوه و همچنین ارتفاع بوته آن دارد. افزایش معنی‌دار طول، وزن و ضخامت گوشت میوه در تیمار کود زیستی تریکودرما را می‌توان با چند مکانیسم شناخته‌شده مرتبط دانست: (۱) افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی خاک (به‌ویژه فسفر و پتاسیم) که جذب و انتقال مواد غذایی به اندام‌های گیاه را بهبود می‌بخشد؛ (۲) تحریک رشد و توسعه ریشه و افزایش جذب آب و مواد غذایی؛ (۳) نقش هورمون‌های رشد گیاهی (نظیر اکسین و جیبرلین) و آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم کربوهیدرات که منجر به بهبود پرشدگی میوه می‌شود؛ و در نهایت (۴) افزایش کارایی فتوسنتزی و تولید متابولیت‌های جانبی که به رشد میوه کمک می‌کنند (Yedidia et al., 2001; Bonini et al., 2020; Contreras-Cornejo et al., 2009). در مطالعات مختلف بر روی فلفل و سایر گیاهان نیز گزارش شده است که گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما نقشی کلیدی در افزایش رشد و افزایش دسترسی به مواد غذایی با فعالیت آنزیم های مختلف این قارچ دارند (Liu *et al.*, 2020). یافته‌های پژوهش حاضر نیز نقش قارچ تریکودرما در بهبود برخی صفات مورفولوژیک فلفل دلمه‌ای و ارتقای کیفیت آن را نشان می دهد. گرچه اثرات بلندمدت این فرآورده، تعامل آن با میکروبیوم ریزوسفر و نیز نقش نوع خاک یا بستر در پاسخ مشاهده‌شده در این پژوهش بررسی نشده است اما با توجه به نتایج این بررسی و این‌که افزایش طول، وزن و ضخامت گوشت میوه به طور مستقیم بر بازارپسندی و ارزش اقتصادی محصول تأثیر می‌گذارد، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کود زیستی RTS–تریکودرما به عنوان یک نهاده زیستی می‌تواند در بهبود کیفیت میوه فلفل دلمه‌ای و افزایش طول بوته آن موثر باشد. به دلیل محدودیت‌های استفاده از کودهای شیمیایی در شرایط

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

فعلی کشور، کاربرد کودهای زیستی مانند RTS–تریکودرما می‌تواند راه حلی برای بهبود کمی و کیفی محصول فلفل دلمه ای در کشت گلخانه‌ای و جایگزینی آنها با بخشی از مصرف کودهای شیمیایی باشد. کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزینی آنها با کودهای زیستی، که در کشور ایران ارزانتر می باشند، ضمن داشتن منافع اقتصادی برای کشاورزان، به پایداری محیط زیست نیز کمک شایانی می‌نماید.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان از آقایان اردستانی برای در اختیار قرار دادن گلخانه تجاری فلفل دلمه برای انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌نمایند. از آقای مهندس وحید رسولی جوکار برای همکاری در اجرای این پژوهش سپاسگزاری می شود. همچنین از شرکت رویان تیسان سبز برای تامین کود زیستی و همکاری میدانی در انجام پژوهش سپاسگزاری می شود.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شـخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

منابع مورد استفاده

References

1. Ahooi, S., Ajdanian, L., Nemati, S.H., Arouiee, H., Babaei, M., 2020. Evaluation of growth changes of celery (*Apium graveolens*) under treated, vermicompost and *Trichoderma harzianum* BI. J. Hortic. Sci. 34(3), 389–403.
2. Altomare, C., Norvell, W.A., Björkman, T., Harman, G.E., 1999. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai. Appl. Environ. Microbiol. 65(7), 2926–2933. https://doi.org/10.1128/AEM.65.7.2926-2933.1999
3. Bonini, P., Rouphael, Y., Miras-Moreno, B., Lee, B., Cardarelli, M., Erice, G., Cirino, V., Lucini, L., Colla, G., 2020. A microbial-based biostimulant enhances sweet pepper performance by metabolic reprogramming of phytohormone profile and secondary metabolism. Front. Plant Sci. 11, 567388. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.567388
4. Contreras-Cornejo, H.A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos, C., López-Bucio, J., 2009. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. Plant Physiol. 149(3), 1579–1592. https://doi.org/10.1104/pp.108.130369
5. Fatahi Vanani, M., Khalili, B., 2023. Effect of *Azolla* culture medium on biomass, nutrient and protein concentrations of Azolla and its application as a nutrient supply for bell pepper. J. Soil Plant Interact. 14(3), 53–71. (In Persian)
6. 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 condition. J. Soil Biol. 8(2), 115–128. https://doi.org/10.22092/sbj.2020.122813 (In Persian)
7. Liu, Q., Meng, X., Li, T., Raza, W., Liu, D., Shen, Q., 2020. The growth promotion of peppers (*Capsicum annuum* L.) by *Trichoderma guizhouense* NJAU4742-based biological organic fertilizer: Possible role of increasing nutrient availabilities. Microorganisms 8(9), 1296. https://doi.org/10.3390/microorganisms8091296
8. López-Bucio, J., Pelagio-Flores, R., Herrera-Estrella, A., 2015. *Trichoderma* as biostimulant: Exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. Sci. Hortic. 196, 109–123. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.043
9. Marín, A., Ferreres, F., Tomás-Barberán, F.A., Gil, M.I., 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Agric. Food Chem. 52(12), 3861–3869. https://doi.org/10.1021/jf0497915
10. Marschner, H. (Ed.), 2011. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd ed. Academic Press, London.
11. Martinez, Y., Ribera, J., Schwarze, F.W., De France, K., 2023. Biotechnological development of *Trichoderma*-based formulations for biological control. Appl. Microbiol. Biotechnol. 107(18), 5595–5612. https://doi.org/10.1007/s00253-023-12668-0
12. Nejati Sini, H., Barzegar, R., Soodaee Mashaee, S., Ghasemi Ghahsare, M., 2022. Mycorrhizal fungi and *Bacillus* sp. along with organic fertilizer on the growth and nutrient uptake of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Soil Plant Interact. 13(4), 89–104. (In Persian)
13. Taghinasab Darzi, M., 2012. Effect of some isolates of *Trichoderma* spp. on growth increase of cucumber seedlings in greenhouse conditions. J. Soil Plant Interact. 3(3), 85–92. (In Persian)

14. Tiamiyu, Q.O., Adebayo, S.E., Ibrahim, N., 2023. Recent advances on postharvest technologies of bell pepper: A review. Heliyon 9(4), e15302. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15302
15. Tirado-Malaver, R.H., Tirado-Lara, R., 2025. Combined use of humic acids and *Trichoderma harzianum* as sustainable alternatives to alleviate salt stress in bell pepper. Braz. J. Biol. 85, e289492. https://doi.org/10.1590/1519-6984.289492
16. Toughani, S., Jafarzadeh Kenarsary, M., Dehghanzadeh, H., 2024. Effect of growth-promoting bacteria, *Trichoderma* fungus and humic acid on yield and yield components of wheat var. Ofogh. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 34(2), 121–135. (In Persian)
17. Tsegay, D., Tesfaye, B., Mohammed, A., Yirga, H., Bayleyegn, A., 2013. Effects of harvesting stage and storage duration on postharvest quality and shelf life of sweet bell pepper (Capsicum annuum L.) varieties under passive refrigeration system. Int. J. Biotechnol. Mol. Biol. Res. 4(7), 98–104.
18. Vakili-Ghartavol, M., Babaei, K., Karimi, M.A., 2023. The effect of Arghavan biofertilizer on physiological, biochemical and yield parameters of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Iran. J. Plant Biotechnol. 18(31), 41–51. (In Persian)
19. Yedidia, I., Srivastva, A.K., Kapulnik, Y., Chet, I., 2001. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. Plant Soil 235(2), 235–242. https://doi.org/10.1023/A:1011990013955

نسخه پیش از انتشار (اصلاح نشده)