مقاله علمی پژوهشی
مجله دوفصل نامه
مهندسی ژنتیک و ایمنی زیستی
ISSN 2588-5073 چاپی
ISSN 2588-5081 الکترونیکی online
دوره ۱٤، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱٤۰٤
صفحه ۱۹۸-۱۹۲

Research Article
Genetic Engineering and Biosafety Journal 2026
Volume 14, Number 2, Pages: 192-198

http://gebsj.ir/

https://ecc.isc.ac/showJournal/23064

10.61882/gebsj.14.2.1

بهبود رشد ریشه‌های موئین در گیاه دارویی *پریلا* از طریق بهینه‌سازی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2)

Improving the growth of hairy roots in the medicinal plant *Perilla* through optimization of Titanium Dioxide (TiO_2) nanoparticles

مهدی محمودی[۱]، سید احمد سادات نوری[۲*]
Mahdi Mahmoudi[1], Seyed Ahmad Sadat Noori[2*]

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد ژنتیک و بهنژادی گیاهی، ۲- استاد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

1. Graduated with a Master's degree in Genetics and Plant Breeding,
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Aburihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Pakdasht, Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: noori@ut.ac.ir
*Corresponding Author, Email: noori@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۸/۸ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۱ - تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۲۹)
Received: 2025/10/30 | Accepted: 2026/01/11 | Published: 2026/01/19

چکیده

رفرانس دهی این مقاله Citation

Mahmoudi M, Sadat Noori A. (2026). Improving the growth of hairy roots in the medicinal plant Perilla through optimization of titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles. Genetic Engineering and Biosafety Journal, 14 (2): 192-198. Doi: 10.61882/gebsj.14.2.1
URL: http://gebsj.ir/article-1-531-en.html

Abstract

The medicinal plant *Perilla frutescens* is of great importance due to its valuable secondary metabolites. However, the production of these compounds in nature is often limited. Hairy root cultivation is known as an efficient technology in plant biotechnology for the mass production of secondary metabolites. The aim of this study was to improve the growth and biomass of Perilla hairy roots using titanium dioxide (TiO_2) nanoparticle elicitor. In this regard, hairy roots were induced from leaf explants using *Agrobacterium rhizogenes* strain ATCC15834. Root transformation was confirmed by PCR amplification of the *rolC* gene. The transgenic roots were then treated with different concentrations of TiO_2 nanoparticles (0, 5, 15, and 25 mg/L) for two different times (24 and 48 hours). The results showed that the interaction effect of concentration and treatment time on the fresh weight of hairy roots was significant. The best treatment was a concentration of 15 mg/L TiO_2 nanoparticles with an immersion time of 48 hours, which produced the highest amount of biomass. Lower (5 mg/L) and higher (25 mg/L) concentrations did not have a significant stimulating effect. This study clearly shows that the optimal use of TiO_2 nanoparticles as an elicitor is an effective and promising strategy for scaling up the production of hairy roots of the medicinal plant Perilla in a tissue culture system.

Keywords: *Agrobacterium rhizogenes*, Hairy root, *Perilla*, Titanium dioxide nanoparticles

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.2.1]

Genetic Engineering and Biosafety Journal
Volume 14, Number 2, 2026

خلاصه

گیاه دارویی *پریلا* (*Perilla ferutescens*) به دلیل دارا بودن متابولیت‌های ثانویه با ارزش از اهمیت بالایی برخوردار است. با این حال، تولید این ترکیبات در طبیعت اغلب محدود است .کشت ریشه‌های موئین به عنوان یک فناوری کارآمد در زیست‌فناوری گیاهی برای تولید انبوه متابولیت‌های ثانویه شناخته می‌شود. هدف از این پژوهش، بهبود رشد و بیومس ریشه‌های موئین گیاه پریلا با استفاده از الیسیتور نانوذره تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2) بود. در این راستا، ریشه‌های موئین از ریزنمونه‌های برگ با استفاده از سویه ATCC15834 *اگروباکتریوم رایزوژنز* القا شدند. تراریختی ریشه‌ها با تکثیر ژن *rolC* به روش PCR تأیید گردید. ریشه‌های تراریخته شده سپس با غلظت‌های مختلف نانوذره TiO_2 (۰، ۵، ۱۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر) و در دو زمان مختلف (۲٤ و ٤۸ ساعت) تیمار شدند. نتایج نشان داد که اثر متقابل غلظت و زمان تیمار بر وزن تر ریشه‌های موئین معنی‌دار است. بهترین تیمار، غلظت ۱۵ میلی‌گرم در لیتر نانوذره TiO_2 با زمان غوطه‌وری ٤۸ ساعت بود که بیشترین میزان بیومس را تولید کرد. غلظت‌های پایین‌تر (۵ میلی‌گرم در لیتر) و بالاتر (۲۵ میلی‌گرم در لیتر) اثر محرک قابل‌توجهی نداشتند. این پژوهش به وضوح نشان می‌دهد که استفاده بهینه از نانوذره TiO_2 به عنوان یک الیسیتور، راهبردی مؤثر و امیدبخش برای افزایش مقیاس تولید ریشه‌های موئین گیاه دارویی پریلا در سیستم کشت بافت است.

کلمات کلیدی: *اگروباکتریوم رایزوژنز*، *پریلا*، ریشه موئین، نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید

Introduction

مقدمه

گیاه دارویی *پریلا* با نام علمی *Perilla frutescens* گیاهی یک‌ساله، ادویه‌ای، دارویی و همچنین گیاهی زینتی از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است. پریلا به طور کلی در چین، هند، کره جنوبی، ژاپن، تایلند، تایوان و آسیای جنوب شرقی کشت می‌شود (Gaihre *et al*., 2021). این گیاه عموماً با نام‌های مختلف از جمله: نعناع *پریلا*، ریحان چینی، پریلا کره‌ای، نعناع بنفش، زیسو در چین، شیسو در ژاپن و تیاتو در ویتنام شناخته می‌شود و یکی از گیاهان مهم اقتصادی است که بیش از ۲۰۰۰ سال کشت شده است (Asif *et al*., 2011). در چین، برگ‌های *P. ferutescens* به دلیل طعم معطرشان، به طور گسترده به عنوان ادویه و طعم‌دهنده‌ی غذا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برگ‌های تازه آن معمولاً برای تهیه‌ی ترشی یا به عنوان طعم‌دهنده‌ای برای غذاهای ماهی خام در ژاپن استفاده می‌شوند (Li *et al*., 2017). برای پریلا فوائدی از جمله: ضد سرطان، ضد فعالیت HIV1، ضد تومور، ضد عفونت‌های ویروسی، باکتریایی و قارچی، ضد آسم، ضد اسپاسم، ضد تصلب شرایین و تب‌بر ذکر شده است (Yu *et al*., 2017).

با در نظر گرفتن روند آهسته تولید متابولیت‌های ثانویه در طبیعت و سرعت پایین تولید این مواد مؤثره با ارزش گیاهی و کم بودن مقدار آن‌ها در طبیعت، لزوم استفاده بهینه از تکنیک‌های کشت بافت گیاهی جهت تولید سریع، گسترده و مقرون به صرفه آن‌ها اهمیت می‌یابد (Park et al, 2011). یکی از روش‌های افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در سیستم کشت بافت، استفاده از کشت ریشه‌های موئین می‌باشد (Nigutova *et al*., 2019). در این تحقیقات از یک باکتری خاکزی گرم منفی به نام *اگروباکتریوم رایزوژنز* به عنوان ناقل طبیعی برای انتقال ژن استفاده می‌گردد (Lee *et al*., 2008). محصول انتقال ژن توسط این باکتری گرم منفی ریشه‌های تراریخته موئین می‌باشند. هنگامی که این باکتری گیاه را آلوده می‌کند، T-DNA باکتری بین مناطق TR و TL پلاسمید Ri در باکتری انتقال یافته و با ژنوم هستهٔ گیاه میزبان یکپارچه شده و این انتقال باعث تولید محصول جانبی ارزشمندی به اسم ریشه موئین می‌گردد که در محل آلودگی یا نزدیک به آن ایجاد می‌گردد (Biswas *et al*., 2023). ریشه‌های موئین توانایی رشد زیاد و سریع و ثبات ژنتیکی بالایی را دارا بوده و مقادیر بیشتری متابولیت‌های ثانویه نسبت به گیاهان

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.14.2.1]

طبیعی برخوردار می‌باشند. کشت ریشه‌های تراریخته موئین در گیاهان می‌تواند باعث افزایش تولید و ذخیره متابولیت‌های ثانویه دارویی ارزشمند را در مدت زمان کوتاه‌تر گردد (Alcalde et al., 2022).

الیسیتورها ترکیباتی زیستی و یا غیر زیستی هستند که در سنتز متابولیت‌های ثانویه نقش دارند. استفاده از محرک‌های رشد روشی کارآمد برای تولید ترکیبات فعال دارویی در گیاهان محسوب می‌شود. تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2) یکی از الیسیتورهای موثر فلزی (نانو ذرات) می‌باشد که به‌دلیل خواص منحصر به‌فردی مانند پایداری نوری، فعالیت فتوکاتالیستی بالا، سهولت دسترسی و قیمت پایین، کاربردهای فراوانی دارند (Kushwah *et al*., 2020). در واقع نانوذرات به عنوان توده‌های اتمی یا مولکولی در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر تعریف می‌شوند که دارای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی منحصر به فردی هستند (Monica and cremonini, 2009). نانوذرات به‌عنوان نسل جدیدی از الیسیتورهای مؤثر، به‌طور گسترده‌ای در زمینه زیست‌فناوری و به‌منظور تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه با ارزش از طریق القاء پاسخ‌های دفاعی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Marslin *et al*., 2017). تیتانیوم دی اکسید یکی از پرمصرف‌ترین الیسیتورها در جهان محسوب می‌شوند که سالانه تا ۲ میلیون تن از آن‌ها در جهان تولید می‌شود (Larue *et al*., 2011). از جمله کاربردهای آن در لوازم آرایشی (به عنوان ضد آفتاب)، در پزشکی و داروسازی (تشخیص و درمان سرطان)، در الکترونیک (در باتری‌ها، در دیودهای ساطع نور (LED) و نیز در نمایشگرهای کریستال مایع (LCD)، در کشاورزی (به عنوان نانو کود و نانو آفت‌کش)، در صنایع غذایی (تولید، نگهداری و بسته‌بندی مواد غذایی) می‌توان نام برد(Joudeh and Linke, 2022). یکی از اثرهای مثبت TiO_2 افزایش رشد محصول از طریق افزایش فعالیت فتوسنتزی و افزایش جذب مواد مغذی است (Ko and Hwang, 2019). افزایش عملکرد کاه و دانه، محتویات کلروفیل، ارتفاع بوته و کاهش تنش اکسیداتیو تحت تنش کادمیوم با به کار بردن TiO_2 در گیاه گندم مشاهده شد (Irshad *et al*., 2021). TiO_2 اثر مطلوبی بر تولید ماده خشک و برخی خواص آنتی اکسیدانی و بیوشیمیایی گیاه *Vitex agnus* داشت (Farahi *et al*., 2023). با توجه به بررسی صورت گرفته تاکنون تاثیر نانوذرات تیتانیوم دی اکسید بر روی بیومس ریشه‌های موئین در گیاه پریلا انجام نشده است. لذا در این پژوهش هدف ما بررسی اثر نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید بر روی افزایش رشد ریشه‌های موئین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

Materials and Methods

ضد عفونی بذرها و تهیه ریزنمونه: بذرهای گیاه پریلا (واریته کریسپا) از شرکت پوپونیک تهران تهیه گردید. جهت استحصال گیاهچه‌های استریل، ابتدا بذرها برای ضدعفونی در مدت زمان ۵ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۲ درصد قرار داده شدند و سپس سه مرتبه عمل آبشویی بذور با آب مقطر اتوکلاو شده انجام شد و پس از آن به مدت ۳۰ ثانیه با الکل ۷۰ درصد ضدعفونی شده و مجدداً سه مرتبه بذرها با آب مقطر استریل شستشو داده شدند. برای خشک کردن بذرها آن‌ها را بر روی کاغذ صافی قرار داده شد و پس از آن در محیط کشت MS با pH= ۵/۸ کشت شدند و در اتاق کشت تحت شدت نوری LUX ۳۰۰۰ در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد با دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی به منظور تولید گیاهچه‌های سترون با بنیه مناسب قرار گرفتند. بعد از گذشت ۲۱ روز از گیاهچه‌های به دست آمده، ریزنمونه برگ برای القا ریشه موئین مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه سوسپانسیون باکتری: در این تحقیق، از سویه‌ی باکتری *اگروباکتریوم رایزوژنز* ATCC-15834 مورد بررسی قرار گرفت. کشت باکتری در محیط‌های LB مایع حاوی ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر ریفامپیسین انجام و در دمای ۲۸ درجه و دور ۱۸۰ در دقیقه داخل شیکر انکوباتور قرار گرفتند. OD_{600} محلول باکتری به وسیله‌ی دستگاه اسپکتوفتومتری اندازه‌گیری و این پارامتر در محدوده ۰/۶ تنظیم و برای تلقیح ریزنمونه‌های برگ گیاه پریلا تلقیح شدند.

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.14.2.1]

القای ریشه موئین: ابتدا ریزنمونه‌های برگ با اسکالپل زخمی گردیده و سپس در سوسپانسیون باکتری به مدت ۱۰ دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از تلقیح، ریزنمونه‌ها بر روی کاغذ صافی قرار داده شدند و سپس به محیط کشت MS جامد انتقال یافتند. سپس ریزنمونه‌های تلقیح یافته به مدت زمان ٤٨ ساعت، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و تحت شرایط تاریکی قرار گرفتند و پس از گذشت ٤٨ ساعت و اطمینان از آلودگی با باکتری به محیط MS/2 حاوی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر آنتی‌بیوتیک سفوتاکسیم برای از بین رفتن باکتری‌ها منتقل شدند. در مرحله‌ی بعد، برای حذف کامل باکتری‌ها، در واکشت‌های بعدی به تدریج میزان آنتی‌بیوتیک کاهش یافت. پس از سپری شدن حدود ۷ روز از تلقیح ریزنمونه‌ها با تک سویه‌ی باکتری، ریشه‌های موئین ظاهر شدند. پس از اینکه اندازه ریشه‌های موئین به طول حدود ۵ سانتی‌متر رسید، این ریشه‌ها به داخل ارلن حاوی محیط کشت MS/2 با غلظت آنتی‌بیوتیک سفوتاکسیم ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برای جلوگیری از آلودگی منتقل شدند.

اثبات مولکولی ریشه‌های موئین با PCR: جهت تایید تراریختی آزمون PCR با آغازگرهای اختصاصی ژن *rolC* صورت پذیرفت چرخه‌ی PCR برای تکثیر ژن‌های مورد نظر شامل واسرشت سازی اولیه در ۹٤ درجه سانتی‌گراد (یک چرخه و مدت ۵ دقیقه)، واسرشت سازی در ۹٤ درجه سانتی‌گراد (۳۵ چرخه به مدت ۱ دقیقه)، اتصال در ٥٦ درجه سانتی‌گراد (به مدت ۱ دقیقه)، گسترش در ۷۲ درجه سانتی‌گراد (به مدت ۱ دقیقه) و تکثیر نهایی در ۷۲ درجه سانتی گراد (به مدت ۷ دقیقه) بود. جهت مشاهده محصولات PCR ژل آگارز یک و نیم درصد مورد استفاده و ژل حاصل با استفاده از نور UV در دستگاه ژل داک مورد بررسی قرار گرفت. آغازگرهای اختصاصی ژن *rolC*عبارت بودند از:
Forward: 5'-CCTCCTGACATCAAACTCGTC-3' و Reverse: 5'-TGCTTCGAGTTATGGGTACA-3'

آماده سازی و اعمال الیسیتور در کشت ریشه‌های موبین: نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. درصد خلوص این نانوذره ۹۹ درصد بود. غلظت‌های مختلف البسیتور تیتانیوم دی‌اکسید ۰ (شاهد)، ۵، ۱۵ و ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر جهت تیمار ریشه‌های موئین لحاظ گردید. نیم گرم از ریشه‌های موئین پربلا به داخل ارلن‌های ۵۰ میلی لیتری حاوی ۱۵ میلی لیتر محیط کشت MS/۲ مایع در ۳ تکرار منتقل و داخل شیکر انکوباتور با ۹۰ دور در دقیقه دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در تاریکی نگهداری شدند. پس از ۲۱ روز محیط کشت MS/۲ مایع حاوی غلظت‌های مختلف تیتانیوم دی‌اکسید به ارلن‌ها اضافه شد. پس از گذشت ۲٤ و ٤٨ ساعت از زمان تیمار ریشه‌های مولین از محیط کشت MS حاوی سطوح مختلف نانوذرات خارج و به محیط کشت MS/۲ مایع فاقد محرک انتقال یافتند. پس از گذشت یک هفته عمل برداشت ریشه‌های موئین انجام شد و پس از شستشو با آب مقطر و حذف رطوبت اضافی ریشه‌ها توسط کاغذ صافی وزن تر و وزن خشک ریشه های موئین اندازه گیری شد.

نتایج و بحث Results and Discussion

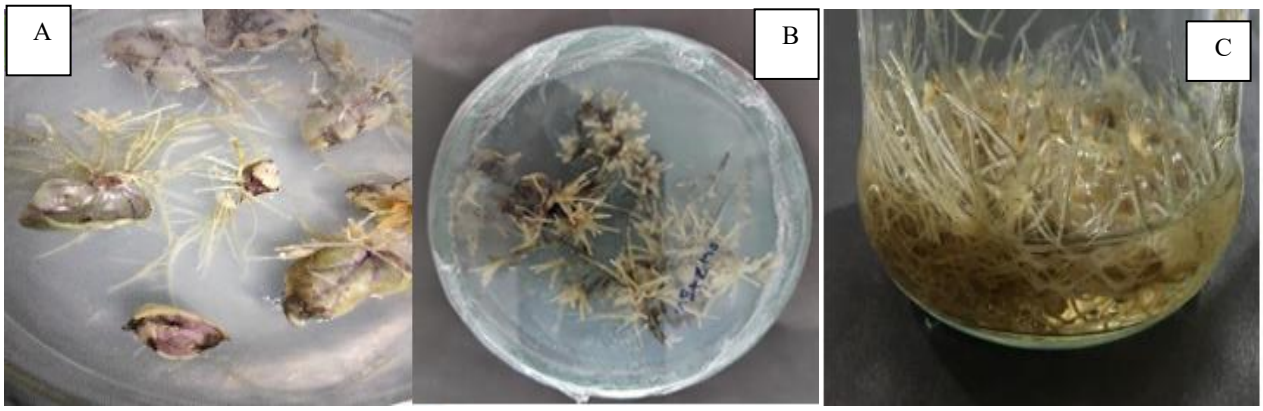
هفت روز پس از تلقیح با *آگروباکتریوم* ریشه‌های موبین ظاهر شدند (شکل ۱) بعد از گذشت یک هفته جهت افزایش رشد ریشه‌های موئین در محیط جامد هر یک از ریز نمونه‌های ریشه‌دار به صورت تکی و لاین‌های مجزا به محیط کشت MS/۲ مایع عاری از هورمون و حاوی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سفوتاکسیم منتقل شدند و بر رشدترین لاین انتخاب و برای مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت. ماهیت تراریختگی ریشه‌های موئین با استفاده از ردیابی قسمتی از ژن *rolC* با به کارگیری واکنش PCR تایید شد (شکل ۲)

بیومس ریشه‌های موبین پس از تیمار با تیتانیوم دی‌اکسید

نتایج پژوهش‌ها به وضوح نشان می‌دهند که پاسخ ریشه‌های موئین به TiO_2 به شدت وابسته به غلظت و زمان اعمال تیمار است. معمولاً یک منحنی پاسخ به دوز مشاهده می‌شود، به این معنی که غلظت‌های پایین تا متوسط می‌توانند تحریک‌کننده باشند، در حالی که غلظت‌های بسیار بالا می‌توانند باعث ایجاد سمیت و کاهش رشد شوند. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای بر روی گیاه بلوت، غلظت ۵۰ میلی‌گرم در

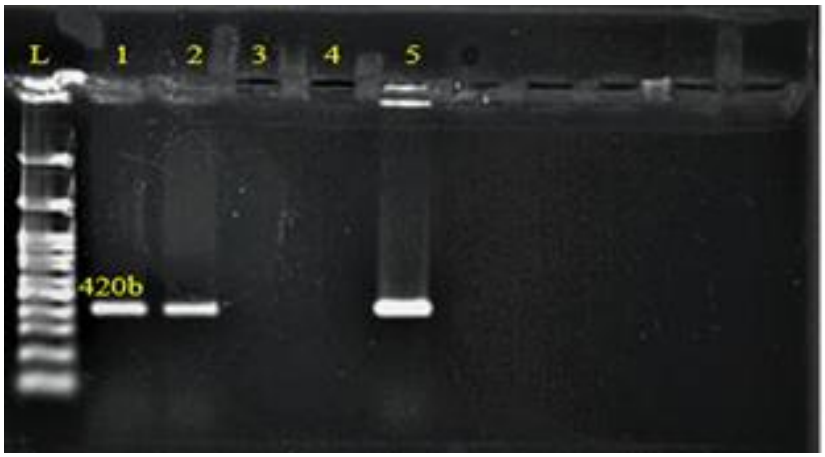
[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]
[DOI: 10.61882/gebsj.14.2.1]

لیتر نانوذره تیتانیوم دی‌اکسید به عنوان موثرترین تیمار برای بهبود شاخص‌های ریشه در شرایط تنش خشکی شناسایی شد (Heshmati *et al*., 2020).



شکل ۱– A) ظهور ریشه‌های موئین پس از تلقیح با باکتری. B) رشد ریشه‌های موئین در محیط MS جامد. C) رشد تک‌لاین ریشه موئین در محیط ارلن

Figure 1. A) Appearance of hairy roots after inoculation with bacteria. B) Growth of hairy roots in solid MS medium. C) Growth of a single hairy root line in the environment



شکل ۲– تجزیه و تحلیل PCR قطعه ۴۲۰bp ژن *rolC* . نوارهای ۱ و ۲ مربوط به دو لاین از ریشه‌های موئین القا شده، نوارهای ۳ و ٤ به ترتیب مربوط به آب و ریشه معمولی (کنترل منفی)، نوار ۵ مربوط به پلاسمید باکتری (کنترل مثبت)، نوار L مربوط به لدر ۱۰۰bp.

Figure 2- PCR analysis of the bp420 fragment of the *rolC* gene. Bands 1 and 2 correspond to two lines of induced hairy roots, bands 3 and 4 correspond to water and normal roots (negative control), respectively, band 5 corresponds to the bacterial plasmid (positive control), band L corresponds to the 100 bp leader.

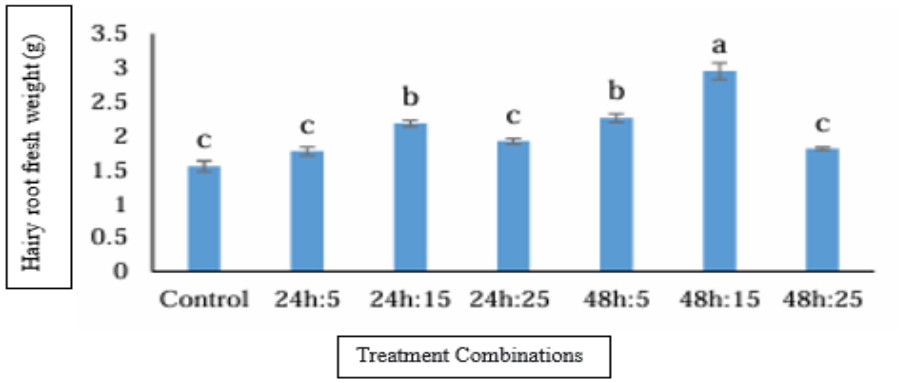
مطالعات پروتئومیک روی گیاه گندم نشان داده که TiO_2 می‌تواند بیان پروتئین‌های مرتبط با متابولیسم اولیه و مسیرهای دفاعی را تغییر دهند. این تغییرات می‌تواند به طور غیرمستقیم بر رشد و تولید بیوماس تاثیر بگذارد (Satti *et al*., 2022). استفاده از محرک نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در غلظت‌های بالا (۵۰ گرم بر لیتر) سبب کاهش در میزان رشد ریشه و گیاهچه *Nicotiana tabacum* گردید (Frazier *et al*., 2014).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل غلظت الیستور و مدت زمان القای آن بر روی وزن تر ریشه موئین معنی‌دار بوده است. مقایسه میانگین ترکیبات مختلف تیماری مورد مطالعه از نظر وزن تر ریشه موبین نشان داد که بیشترین میزان بیومس ریشه موئین در ترکیب تیماری مدت زمان ٤٨ ساعت و غلظت ۱۵ میلی گرم بر لیتر تیتانیوم دی‌اکسید مشاهده شده است (نمودار ۱) همچنین نتایج نشان داد که غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر در زمان ٢٤ ساعت و غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر در زمان ٢٤ ساعت غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر در مدت زمان ٤٨

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.14.2.1]

ساعت تفاوت معنی داری با شاهد نداشته است. از آنجایی که بیشترین میزان بیوماس ریشه موئین در غلظت ۱۵ میلی گرم در لیتر و مدت ٤٨ ساعت حاصل شد میتوان گفت که نانوذرات اثر تقویتی بر روی آن داشته و می‌توان از آن جهت افزایش تولید ریشه موئین در گیاه دارویی پریلا استفاده نمود.



نمودار ۱- مقایسه میانگین بیوماس ریشه موئین در بین ترکیبات تیماری مورد مطالعه حداقل یک حرف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی دار با آزمون LSD در سطح ۵ درصد می باشد

Chart 1 - Comparison of mean root biomass of mucin among the studied treatment combinations. At least one common letter in each column indicates no significant difference with the LSD test at the 5% level

نتایج این پژوهش برای نخستین بار نشان داد که نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به عنوان یک الیسیتور غیرزیستی، در غلظت و زمان تماس بهینه (۱۵ میلی‌گرم در لیتر و ٤٨ ساعت)، منجر به افزایش معنی‌دار بیومس ریشه‌های موئین تراریخته *Perilla frutescens* می‌شود. این افزایش رشد احتمالاً ناشی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در تسهیل نفوذپذیری غشای سلولی و بهبود جذب آب و عناصر غذایی است که همسو با یافته‌های Ko و Hwang (۲۰۱۹) می‌باشد. همچنین، نانوذرات در دوزهای پایین می‌توانند با تحریک فعالیت‌های آنزیمی و مسیرهای سیگنالینگ دفاعی، بدون ایجاد سمیت، متابولیسم رشد را تقویت کنند.

با این حال، عدم افزایش رشد در غلظت‌های بالاتر (۲۵ میلی‌گرم در لیتر) بیانگر پیروی از الگوی هرمسیس (Hormesis) است، جایی که غلظت‌های فراتر از آستانه تحمل گیاه، با القای تنش اکسیداتیو و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، موجب سمیت سلولی و محدودیت رشد می‌شوند. این یافته با نتایج Frazier و همکاران (۲۰۱٤) که اثرات بازدارنده غلظت‌های بالا را در توتون گزارش کردند، مطابقت دارد و تفاوت آن با آستانه تحمل بالاتر گزارش‌شده در گونه‌های درختی (مانند مطالعه Heshmati و همکاران، ۲۰۲۰)، نشان‌دهنده حساسیت ویژه ریشه‌های موئین پریلا نسبت به نانوذرات فلزی است. در مجموع، کاربرد کنترل‌شده نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید راهکاری نوین و کارآمد برای بهبود تولید در سیستم‌های کشت بافت این گیاه دارویی محسوب می‌شود.

منابع

References

Alcalde, M. A., Perez-Matas, E., Escrich, A., Cusido, R. M., Palazon, J., & Bonfill, M. (2022). Biotic elicitors in adventitious and hairy root cultures: *A review from 2010 to 2022. Molecules*, 27(16), 5253.DOI: https://doi.org/10.3390/molecules27165253

Asif, M. (2011). Health effects of omega-3, 6, 9 fatty acids: Perilla frutescens is a good example of plant oils. *Oriental Pharmacy & Experimental Medicine*, 11(1), 51-59.PMCID: PMC3167467 PMID: 21909287

Biswas, D., Chakraborty, A., Mukherjee, S., & Ghosh, B. (2023). Hairy root culture: A potent method for improved secondary metabolite production of Solanaceous plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1197555. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1197555

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.14.2.1]

Farahi, S. M. M., Yazdi, M. E. T., Einafshar, E., Akhondi, M., Ebadi, M., Azimipour, S., ... & Iranbakhsh, A. (2023). The effects of titanium dioxide (TiO2) nanoparticles on physiological, biochemical, and antioxidant properties of Vitex plant (Vitex agnus-Castus L). Heliyon, 9(11). doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22144

Frazier TP, Burklew CE, Zhang B (2014) Titanium dioxide nanoparticles affect the growth and microRNA expression of tobacco (Nicotiana tabacum). *Functional and Integrative Genomics*. 14 (1): 75-83. DOI: 10.1007/s10142-013-0341-4

Gaihre, Y. R., Tsuge, K., Hamajima, H., Nagata, Y., & Yanagita, T. (2021). The contents of polyphenols in Perilla frutescens (L.) Britton var. frutescens (Egoma) leaves are determined by vegetative stage, spatial leaf position, and timing of harvesting during the day. *Journal of Oleo Science*, 70(6), 855-859. DOI: 10.5650/jos.ess20291

Irshad, M. A., ur Rehman, M. Z., Anwar-ul-Haq, M., Rizwan, M., Nawaz, R., Shakoor, M. B., ... & Ali, S. (2021). Effect of green and chemically synthesized titanium dioxide nanoparticles on cadmium accumulation in wheat grains and potential dietary health risk: *A field investigation. Journal of Hazardous Materials*, 415, 125585. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125585

Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 1-29. https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8

Ko, J. A., & Hwang, Y. S. (2019). Effects of nanoTiO2 on tomato plants under different irradiances. *Environmental pollution,* 255, 113141. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113141

Kushwah, K. S., & Patel, S. (2020). Effect of titanium dioxide nanoparticles (TiO2 NPs) on Faba bean (Vicia faba L.) and induced asynaptic mutation: a meiotic study. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 1107-1118. https://doi.org/10.1007/s00344-019-10046-7

Larue, C., Khodja, H., Herlin-Boime, N., Brisset, F., Flank, A. M., Fayard, B., ... & Carrière, M. (2011, July). Investigation of titanium dioxide nanoparticles toxicity and uptake by plants. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 304, No. 1, p. 012057). IOP Publishing. doi: 10.1088/1742-6596/304/1/012057

Li, H., Zhang, Z., Li, M., Li, X., & Sun, Z. (2017). Yield, size, nutritional value, and antioxidant activity of oyster mushrooms grown on perilla stalks. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(2), 347-354. DOI: 10.1016/j.sjbs.2015.10.001

Marslin G, Sheeba CJ, Franklin G (2017) Nanoparticles Alter Secondary Metabolism in Plants via ROS Burst. Front Plant Sci. 19 (8): 832. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00832

Monica, R. C., and Cremonini, R., (2009). *Nanoparticles and higher plants. Caryologia*, 62(2), 161-165. https://doi.org/10.1080/00087114.2004.10589681

Park, S. U. (2011). Phenolic compound production by different morphological phenotypes in hairy root cultures of Fagopyrum tataricum Gaertn. *Archives of Biological Sciences*, 63(1), 193–198. https://doi.org/10.2298/ABS1101193P

Yu, H., Qiu, J. F., Ma, L. J., Hu, Y. J., Li, P., & Wan, J. B. (2017). Phytochemical and phytopharmacological review of *Perilla frutescens* L.(Labiatae), a traditional edible-medicinal herb in China. *Food and Chemical Toxicology*, 108, 375-391. DOI: 10.1016/j.fct.2016.11.023

[Downloaded from gebsj.ir on 2026-11-29]

[DOI: 10.61882/gebsj.14.2.1]