**Iranian Plant Protection Research**
https://jpp.um.ac.ir

**Research Article**
**Vol. 40, No. 3, 2026, p. 677-688**

# The Effect of Several Commercial Biological and Chemical Compounds on Root-Knot Nematode (*Meloidogyne incognita*) and Growth Indices of Kiwifruit Trees (*Actinidia deliciosa* (A.Chev.) C.F.Liang & A.R.Ferguson)

**Reza Ahmadpanah[1], Salar Jamali[1*], Seyae Mohsen Nassaj Hosseini[2*], Seyede Negin Mirghasemi[1]**
1- Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
2- Department of Natural Environment, Environmental Research Institute, Academic Center for Education, Culture and Research, Rasht, Iran
(*- Corresponding author's Email: jamali@guilan.ac.ir; nassaj@acecr.ac.ir)

Received: 07-09-2025
Revised: 10-06-2026
Accepted: 16-06-2026
Available Online: 22-06-2026

**How to cite this article:**
Ahmadpanah, R., Jamali, S., Nassaj Hosseini, S. M., & Mirghasemi, S. N. (2026). The effect of several commercial biological and chemical compounds on root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and growth indices of kiwifruit trees (*Actinidia deliciosa* (A.Chev.) C.F.Liang & A.R.Ferguson). *Iranian Plant Protection Research*, *40*(3), 677-688. (In Persian).
https://doi.org/10.22067/JPP.2026.95303.1251

## Introduction

Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are among the most widespread and economically important plant-parasitic nematodes. They have a broad host range and are sedentary endoparasites that cause severe damage to crops.. These nematodes induce root galls, impairing the absorption of water and nutrients and consequently reducing kiwifruit (*Actinidia deliciosa* (A.Chev.) C.F.Liang & A.R.Ferguson) yield and qualityAlthough chemical nematicides are effective in controlling root-knot nematodes, their use is limited due to negative environmental consequences, the emergence of resistance, and adverse effects on human health. Therefore, in recent years, the use of biological compounds such as antagonistic bacteria, nematode-pathogenic fungi, and plant compounds has been considered as a sustainable and environmentally friendly solution. This study aimed to compare the effectiveness of biological and chemical compounds in controlling this nematode and to investigate their effects on kiwifruit trees under orchard conditions.

## Materials and Methods

Soil and root samples were collected from kiwifruit orchards exhibiting symptoms of nematode infection, including leaf yellowing and wilting and the presence of root galls.The numbers of eggs, root galls, and egg masses were determined in the root systems, and the population density of second-stage juveniles (J2) was determined in soil samples.. Morphometric diagnosis was performed by preparing microscopic slides of second-stage juveniles and cutting the cuticular network at the end of the body of female nematodes. Identification of the nematode species was performed. After determining the population, the orchard with the highest contamination level and the most similar conditions (tree age, row spacing, soil type, and land slope) was selected for the experiment. This study was conducted in a randomized complete block design with 10 treatments and 3

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.22067/Jpp.2025.65326.1252

replications in a kiwifruit orchard located in Siahkal Rudkhani village, Rudsar city, Gilan province. The experimental treatments included control, two different levels of each of the biofertilizers and organic compounds, including Nemacob, Nemacob Plus at two levels (150 and 300 mL $m^{-2}$), Bactoland as a biofertilizer containing rhizosphere growth-promoting bacteria and humic acid at 100 and 200 mL $m^{-2}$, Biolap as a biological pesticide at 15 and 25 mL $m^{-2}$ and Cadosphos (Rugby) 10%WG as a chemical treatment. All treatments were applied in the tree canopy zone throughout the entire growing cycle. The evaluated indices included the number of galls, eggs and larvae, egg sacs in the root, second-stage juveniles (J2) in soil, nematode reproductive factor, and fruit traits including weight, length, and diameter.

**Results and Discussion**

Based on the morphological and morphometric characteristics of the second-stage juveniles and perineal pattern of the female nematodes, the studied species was identified as *Meloidogyne incognita*. Results showed that all treatments significantly (at the 1% level) reduced nematode pathogenicity indices but had no significant effect on fruit weight and length. All compounds led to a significant reduction in the population of second-stage juveniles in the soil (up to 89.4%), number of root galls (18.8-61.1%), number of egg sacs (37.2-77.7%), and reproduction factor (2.5 in the control to 0.4-0.5 in the treatments). Bactoland at 200 mL $m^{-2}$ achieved the greatest reduction in nematode indices, while Biolap at 15 mL $m^{-2}$ was the least effective. The treatments had no significant effect on fruit weight and length ($P>0.05$). Regarding the increase in fruit width, Nemacob 300 mL $m^{-2}$ (2.5 cm) and Rugby (1.5 cm) had the greatest effect and showed a significant increase compared to the control (9.4 cm).

**Conclusion**

The results demonstrated that both biological and chemical treatments significantly reduced nematode population and pathogenicity indices under orchard conditions.. Although these compounds did not have much effect on fruit growth traits, especially fruit weight and length, the time frame of the study is also important in increasing the yield of perennial fruit trees. The use of biological compounds such as Bactoland was very effective in reducing nematode density. The superiority of Bactoland can be attributed to the presence of plant growth-promoting bacteria (PGPR) such as *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas* spp., which play a role in suppressing nematode populations through mechanisms such as production of secondary metabolites, nematode cell wall-lyzing enzymes (such as chitinase and protease), secretion of siderophores, and induction of systemic resistance. The present findings indicated that increasing the concentration of treatments improved the effectiveness in reducing pathogenicity indices, although this increase did not have a significant effect on fruit growth, especially in terms of weight and length. Biological compounds are preferable due to their desirable effectiveness and lower ecological impacts.

**Keywords:** Actinidia deliciosa, Biological control, Root-knot nematode, Sustainable management

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۴۰ شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص. ۶۸۸-۶۷۷

# اثر چند ترکیب زیستی و شیمیایی تجاری بر نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne incognita*) و شاخص‌های رشدی درختان کیوی (*Actinidia deliciosa* (A.Chev.) C.F.Liang & A.R.Ferguson)

رضا احمدپناه[۱]- سالار جمالی[۱*]- سید محسن نساج حسینی[۲*]- سیده نگین میرقاسمی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۶

## چکیده

نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne incognita*) یکی از مهم‌ترین عوامل بیماری‌زای گیاهی در باغ‌های کیوی (*Actinidia deliciosa* (A.Chev.) C.F.Liang & A.R.Ferguson) است که با ایجاد گال در ریشه موجب اختلال در جذب آب و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش کمّی و کیفی محصول می‌شود. این پژوهش با هدف مقایسه اثربخشی ترکیبات زیستی و شیمیایی بر مهار این نماتد و بررسی تأثیر آن‌ها بر درختان کیوی در شرایط باغ انجام شد. تیمارها شامل ترکیبات زیستی نماکوب و نماکوب پلاس در دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌لیتر، باکتولند در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌لیتر، بایولپ در سطوح ۱۵ و ۲۵ میلی‌لیتر و یک تیمار شیمیایی با کادوزفوس (راگبی) به‌میزان ۱۵ گرم در هر مترمربع بود. تمامی ترکیبات در سایه‌انداز درخت و طی یک دوره رشد اعمال گردیدند. شاخص‌های مورد ارزیابی شامل تعداد گال، تخم و لارو در ریشه و کیسه تخم در ریشه، لارو سن دو در خاک، فاکتور تولیدمثل نماتد و صفات میوه شامل وزن، طول و عرض بود. نتایج نشان داد که همه تیمارها به‌طور معنی‌داری (در سطح یک درصد) شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد را کاهش دادند، امّا بر وزن و طول میوه تأثیر معناداری نداشتند. باکتولند با دُز مصرفی ۲۰۰ میلی‌لیتر در مترمربع بیشترین کاهش را در شاخص‌های بیماری‌زایی ایجاد کرد. در مقابل، تیمار بایولپ با دُز مصرفی ۱۵ میلی‌لیتر کمترین اثربخشی را نشان داد. از بین صفات رشدی میوه، تنها عرض میوه در تیمار نماکوب با دُز ۳۰۰ میلی‌لیتر در مترمربع افزایش معنی‌داری داشت. به‌طورکلی، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده اثربخشی ترکیبات زیستی در مهار نماتد ریشه‌گرهی کیوی است. در شرایطی که تفاوت معنی‌داری بین عملکرد ترکیبات زیستی و شیمیایی مشاهده نشد، انتخاب ترکیبات زیستی به‌دلیل اثربخشی مطلوب و کاهش خطرات زیست‌محیطی قابل توصیه خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** مدیریت پایدار، مهار زیستی، نماتد مولد غده، *Actinidia deliciosa*

## مقدمه

کیوی‌فروت (*Actinidia deliciosa* (A.Chev.) C.F.Liang & A.R.Ferguson) از جمله مهم‌ترین محصولات باغی نیمه‌گرمسیری است که به‌دلیل ارزش غذایی بالا، به‌ویژه محتوای غنی ویتامین C و عناصر معدنی، از جایگاه ویژه‌ای در بازارهای جهانی برخوردار است (Ferguson, 2011; Santoni et al., 2014). براساس آخرین آمار فائو در سال ۱۴۰۳، میزان تولید و سطح زیرکشت کیوی در جهان به‌ترتیب حدود ۴/۴ میلیون تن و ۲۸۰ هزار هکتار می‌باشد (FAOSTAT, 2024). ایران در بین تولیدکنندگان محصول کیوی، جایگاه چهارم را به خود اختصاص داده است (Golmohammadi et al., 2019). این محصول که بومی چین بوده و امروزه در مناطق مختلف جهان از جمله شمال ایران کشت می شود، با چالش‌های متعددی از جمله آلودگی به نماتدهای ریشه‌گرهی (*Meloidogyne* spp.) مواجه است (Gholamian &

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- گروه محیط زیست طبیعی، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران
(*- نویسندگان مسئول:
Email: nassaj@acecr.ac.ir, jamali@guilan.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/JPP.2026.95303.1251

(Aghajanzadeh, 2016). گونه *Meloidogyne incognita* Kofoid & White, 1919 به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین عوامل بیماری‌زای گیاهی، با ایجاد گال بر روی ریشه، جذب آب و مواد مغذی را مختل کرده، موجب کاهش عملکرد (کمّی و کیفی) کیوی می‌گردد (Shaukat et al., 2009). براساس گزارش‌ها، خسارت سالانه نماتدها به محصولات کشاورزی بالغ بر ۱۵۷ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود (Singh et al., 2015)، که اهمیت مدیریت این عوامل زیان‌بار را بیش از پیش آشکار می‌سازد. اگرچه نماتدکش‌های شیمیایی مانند کادوزفوس (Rugby®) در مهار نماتد ریشه‌گرهی مؤثرند، امّا استفاده از آن‌ها به‌دلیل پیامدهای منفی زیست‌محیطی، بروز مقاومت و اثرات سوء بر سلامت انسان، با محدودیت‌هایی همراه است (Chelinho et al., 2017). ازاین‌رو، در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات زیستی (مانند باکتری‌های آنتاگونیست، قارچ‌های بیمارگر نماتد و ترکیبات گیاهی) به‌عنوان راهکاری پایدار و سازگار با محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته است (Abd-Elgawad, 2016).

نتایج پژوهش صالح و همکاران (Saleh et al., 2023) نشان داد که همه سطوح مایه تلقیح باکتری *Pasteuria penetrans* به‌طور موفقیت‌آمیزی *M. javanica* را مهار کرده و منجر به کاهش شاخص گال ریشه و همچنین تعداد تخم نسبت به وزن ریشه در مقایسه با شاهد (گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) آلوده به نماتد و فاقد باکتری) شد. ترکیبات زیستی مانند باکتری‌های آنتاگونیست به‌عنوان جایگزین‌های ایمن ترکیبات شیمیایی مطرح شده‌اند. بررسی اثربخشی شش جدایه باکتریایی (*Beijerinckia mobilis*, *Paenibacillus amylolyticus*, *Brevibacillus agri*, *Gluconobacter frateurii*, *Pseudomonas stutzeri*, *Achromobacter aloeverae*) در برابر نماتد ریشه‌گرهی (*M. incognita*) در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای ثابت کرد که ریزجانداران آزمایش‌شده به‌طور قابل توجهی میانگین تعداد گال، ماده‌ها، تعداد لاروهای سن دو و جمعیت نهایی را کاهش دادند. علاوه‌بر این، جدایه‌های باکتریایی باعث افزایش رشد گیاه شدند (Abdel-Razek & Yaseen, 2020). باکتری *Bacillus subtilis*، لیپوپپتیدهای حلقوی سورفاکتین و ایتورین را تولید می‌کند که نقش مهمی در افزایش درصد مرگ‌ومیر لاروهای نماتد دارد (Engelbrecht et al., 2018). همچنین این باکتری با جلوگیری از تفریخ تخم موجب کاهش جمعیت لاروهای سن دو نماتد *M. incognita* می‌شود (Soliman et al., 2019). باکتری *Pseudomonas clororaphis* قادر است که از طریق تولید آنتی‌بیوتیک فنازین، به‌عنوان یک عامل مهار زیستی در برابر بیمارگرهای مختلف عمل کند (Nam et al., 2018). روش‌های اصلاح خاک ارگانیک از جمله بقایای گیاهی، کمپوست‌ها، کودهای حیوانی و مشتقات گیاهی در مدیریت نماتدهای ریشه‌گرهی مؤثر بوده‌اند (Peiris et al., 2020).

مطالعات نشان داده است که ترکیباتی مانند ورمی‌کمپوست و کودهای آلی می‌توانند جمعیت نماتد را تا ۴۵ درصد کاهش داده و همزمان شاخص‌های رشدی گیاه را بهبود بخشند (Ramezani, 2013; Wang et al., 2014)؛ همچنین باکتری‌های *P. chlororaphis* و *B. subtilis* در مهار نماتد *M. incognita*، موفقیت‌آمیز بوده‌اند (Mirghasemi et al., 2023). بااین‌حال، اطلاعات محدودی درباره تأثیر این ترکیبات بر نماتد ریشه‌گرهی کیوی وجود دارد.

هدف این پژوهش، مقایسه کارآیی ترکیبات زیستی (نماکوب، نماکوب پلاس، باکتولند و بایولپ) با نماتدکش شیمیایی کادوزفوس در مهار *M. incognita* و ارزیابی تأثیر آن‌ها بر شاخص‌های رشدی کیوی است. این تحقیق برای نخستین بار اثرات همزمان مهار نماتد و بهبود پارامترهای میوه را در شرایط باغی مورد بررسی قرار می‌دهد. با توجه به جایگاه ایران به‌عنوان چهارمین تولیدکننده کیوی جهان (FAOSTAT, 2024)، دستیابی به روش‌های مدیریتی پایدار برای کاهش خسارت نماتد، ضرورتی انکارناپذیر به شمار می‌رود.

## مواد و روش‌ها

### طرح آزمایشی

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در یک باغ کیوی واقع در روستای سیاهکل رود، شهرستان رودسر، استان گیلان به مرحله اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد: درختان آلوده به نماتد بدون کاربرد هیچ ترکیب شیمیایی یا زیستی، دو سطح مختلف از هر یک از کودهای زیستی و ترکیبات آلی شامل: نماکوب (ترکیب آلی با پایه گیاهی حاوی سرکه چوب، دارای خاصیت نماتدکشی سریع و تجزیه‌پذیری بالا، شرکت فصل پنجم) و نماکوب پلاس (ترکیب مشابه نماکوب با کاربرد ویژه در سیستم‌های آبیاری تحت فشار، شرکت فصل پنجم)، باکتولند (کود زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد *Pseudomonas putida*، *P. chlororaphis* و *Bacillus subtilis* و اسید هیومیک، شرکت ریشه گستر ویرا)، بایولپ (آفت‌کش بیولوژیک حاوی *B. thuringiensis* subsp. *Kurstaki*، شرکت بایوران) و یک سطح از ترکیب شیمیایی کادوزفوس (راگبی ۱۰٪ WG به‌عنوان تیمار شیمیایی، شرکت بایر) بودند. مقادیر دقیق دُز مصرفی هر ترکیب در جدول ۱ ارائه شده است. تمامی ترکیبات آلی و زیستی از شرکت‌های معتبر داخلی تهیه شدند.

### انتخاب باغ‌های آلوده و نمونه‌برداری

با همکاری سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان، از باغ‌های کیوی مشکوک به آلودگی با نماتد ریشه‌گرهی (*M. incognita*)

نمونه‌برداری از خاک و ریشه در عمق پنج تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. نمونه‌ها براساس علائم ظاهری نظیر زردی و پژمردگی برگ‌ها و وجود گال روی ریشه، انتخاب شدند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، تعداد تخم، گال و توده تخم در سیستم ریشه به‌روش هوسی و باکر (یک گرم ریشه) تعیین گردید. همچنین لارو سن دو استخراج‌شده (۱۰۰ گرم خاک) براساس روش سینی شمارش و محاسبه شد (Whitehead & Hussey & Barker, 1973 ; Hemming, 1965). این داده‌ها به‌عنوان جمعیت اولیه نماتد ثبت گردید. تشخیص برپایه ریخت‌سنجی با تهیه اسلاید میکروسکوپی از لاروهای سن دو و برش شبکه کوتیکولی انتهای بدن نماتدهای ماده صورت گرفت (Taylor & Netscher, 1974). شناسایی گونه نماتد براساس کلید جیپسون انجام شد (Jepson, 1987). پس از تعیین جمعیت، باغی که دارای بالاترین سطح آلودگی و بیشترین مشابهت از نظر شرایطی مانند سن درختان، فاصله ردیف‌ها، نوع خاک، شیب زمین و آب مورد استفاده بود، برای اجرای آزمون انتخاب گردید.

### اجرای تیمارها و ارزیابی

این آزمون در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار، سه تکرار و به مدت ۹۰ روز به مرحله اجرا درآمد. تیمارها شامل افزودن ترکیبات آلی و زیستی (نماکوب، نماکوب پلاس، باکتولند و بایولپ) از طریق آبیاری دستی (حجم محلول: پنج لیتر به‌ازای هر درخت) و تیمار شیمیایی راگبی نیز به‌صورت فرمولاسیون گرانول در پای درخت و آبیاری با همان حجم انجام شد (جدول ۱). کلیه اقدامات نگهداری درختان در طول فصل شامل آبیاری دوره‌ای و سایر موارد به‌طور معمول اجرا گردید. شاخص‌های مورد ارزیابی شامل: جمعیت نماتد (لارو سن دو، تعداد گال و کیسه‌های تخم در ریشه)، خصوصیات میوه (وزن، طول و عرض با نمونه‌برداری تصادفی از پنج میوه به‌ازای هر تیمار) بود. جمعیت نهایی نماتد، از مجموع لاروهای سن دو و کیسه‌های تخم حاصل شد. درصد کاهش براساس فرمول (Pf - Pi) / Pi × 100 محاسبه شده است. که در آن، Pi: جمعیت اولیه و Pf: جمعیت نهایی می‌باشد. مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش و مقادیر مثبت نشان‌دهنده افزایش جمعیت نسبت به جمعیت اولیه می باشد. برای تعیین فاکتور تولیدمثل، نسبت جمعیت نهایی به جمعیت اولیه (Pf/Pi) ارزیابی گردید.

## تجزیه و تحلیل آماری

برای مقایسه جمعیت اولیه و نهایی نماتد در هر تیمار، از آزمون t جفتی (Paired t-test) در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد استفاده شد (جدول ۳). همچنین برای مقایسه تیمارهای مختلف با یکدیگر از نظر شاخص‌های نهایی و فاکتور تولیدمثل، آزمون توکی (Tukey's test) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد استفاده قرار گرفت. داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.4 TS Level 1M6 تجزیه و تحلیل گردید. نمودارها نیز به‌وسیله نرم‌افزار Microsoft Excel 2016 ترسیم شدند.

برای مقایسه میانگین تیمارها در صفات وزن، طول و عرض میوه، از آزمون توکی (Tukey's test) در سطح احتمال پنج درصد ($P<0.05$) استفاده شد. این آزمون پس از انجام تحلیل واریانس (ANOVA) و براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اجرا گردید (جدول ۵).

**جدول ۱- تیمارهای آزمایشی همراه با مقادیر مصرفی برای هر درخت**

**Table 1- Experimental treatments with application rates per plant**

| Treatment | Compound | Dosage per plant | Formulation | Application method |
|---|---|---|---|---|
| Control | Water | 5 L | - | Irrigation |
| Nemacob150 | Nemacob | 150 mL | EC | Irrigation |
| Nemacob300 | Nemacob | 300 mL | EC | Irrigation |
| NemacobPlus150 | Nemacob Plus | 150 mL | EC | Irrigation |
| NemacobPlus300 | Nemacob Plus | 300 mL | EC | Irrigation |
| Bactoland100 | Bactoland | 100 mL | EC | Irrigation |
| Bactoland200 | Bactoland | 200 mL | EC | Irrigation |
| Biolap15 | Biolap | 15 mL | EC | Irrigation |
| Biolap25 | Biolap | 25 mL | EC | Irrigation |
| Rugby | Rugby (Cadusafos) | 15 g | WG (10%) | Soil drench + 5 L irrigation |

## نتایج

پس از نمونه‌برداری و براساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی و ریخت‌سنجی لاروهای سن دو و شبکه کوتیکولی انتهای بدن نماتدهای ماده، گونه مورد بررسی *Meloidogyne incognita* تشخیص داده شد (Jepson, 1987).

مقادیر جمعیت‌های اولیه و نهایی نماتد پس از اندازه‌گیری و ثبت

در جدول ۳ ارائه شده است. کلیه تیمارهای اعمال‌شده (زیستی و شیمیایی) تأثیر معنی‌داری بر کاهش شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد داشتند (P<0.01). نتایج آزمون t نشان داد که در تمامی تیمارهای زیستی و شیمیایی، اختلاف معنی‌داری بین جمعیت اولیه و نهایی نماتد در سطح احتمال یک درصد (P<0.01) وجود داشت. بیشترین کاهش مربوط به تیمار راگبی بود که جمعیت لارو سن دو در خاک را از ۲۸۰ به ۲۹/۷ کاهش داد (۸۹/۴ درصد). در تیمار باکتولند ۲۰۰، تعداد گال‌های ریشه از ۷۲ به ۲۸ (۶۱/۱ درصد) و تعداد کیسه‌های تخم از ۵۴ به ۱۲ (۷۷/۷ درصد) کاهش یافت. کمترین تأثیر مربوط به تیمار بایولپ ۱۵ بود که در آن تعداد گال‌های ریشه از ۷۸ به ۶۳/۳ (۱۸/۸ درصد) تقلیل یافت (جدول ۳).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، باکتولند ۲۰۰ مؤثرترین تیمار در شاخص‌های بیماری‌زایی بود که موجب کاهش ۶۹/۶ درصد تخم و لاروهای ریشه، ۶۱/۱ درصد گال‌های ریشه و ۷۷/۷ درصد کیسه‌های تخم شد. در این تیمار، فاکتور تولیدمثل با مقدار کاهش ۰/۵، تحت تأثیر قرار گرفت (جدول ۴).

برای مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی میوه، از آزمون توکی در سطح احتمال یک و پنج درصد استفاده شد. براین‌اساس، اگرچه نماکوب ۳۰۰ با میانگین وزن ۱۰۴/۶ گرم و نماکوب‌پلاس ۳۰۰ با میانگین وزن ۱۰۴/۲ گرم بیشترین وزن میوه را داشتند، امّا از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها در سطح پنج درصد نشان ندادند. در مورد عرض میوه، نماکوب ۳۰۰ و راگبی با میانگین ۵/۲ سانتی‌متر، نسبت به شاهد (پنج سانتی‌متر) افزایش معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند (جداول ۲ و ۵). تغییرات درون‌تیماری شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد براساس مقایسه جمعیت اولیه و نهایی هر تیمار و ارزیابی آن‌ها محاسبه شده است (جدول ۶).

### تعداد گال در ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر تعداد گال‌های ریشه در سطح احتمال یک درصد داشتند (P<0.01) (جدول ۲). شکل ۱، درصد تغییرات تعداد گال‌های ریشه را در هر تیمار نسبت به جمعیت اولیه همان تیمار نشان می‌دهد. براین‌اساس، باکتولند ۲۰۰ با کاهش ۶۱/۱ درصدی، مؤثرترین تیمار شناخته شد. پس از آن راگبی با کاهش ۵۰/۶ درصد و نماکوب ۳۰۰ با کاهش ۴۴/۱ درصد قرار گرفتند. بایولپ ۱۵ با کاهش ۱۸/۸ درصد کمترین تأثیر را نشان داد (شکل ۱).

### تعداد تخم و لارو سن دو موجود در ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر تعداد تخم و لارو موجود در ریشه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار است (P<0.01؛ جدول ۲). بیشترین تأثیر در کاهش تعداد تخم و لارو ریشه به‌ترتیب مربوط به ترکیب زیستی باکتولند ۲۰۰ با ۶۹/۶ درصد کاهش و ترکیب شیمیایی راگبی با ۵۱ درصد کاهش بود. کمترین تأثیر مربوط به بایولپ ۱۵ با ۸/۹ درصد کاهش (غیرمعنی‌دار) بود (جدول ۳). درصد تغییرات تعداد تخم و لارو نماتد ریشه‌گرهی در یک گرم ریشه نسبت به جمعیت اولیه هر تیمار در شکل ۱ نشان داده شده است.

### تعداد کیسه تخم در ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر تعداد کیسه تخم در یک گرم ریشه در سطح آماری یک درصد معنی‌داری بود (P<0.01؛ جدول ۲). براساس جدول ۳ و شکل ۱، باکتولند ۲۰۰ با ۷۷/۸ کاهش، بهترین اثر را در کاهش تعداد کیسه تخم داشت. پس از آن، بایولپ ۲۵ با ۶۶/۵ درصد کاهش و راگبی با ۵۳/۲ درصد کاهش قرار گرفتند. کمترین تأثیر در کاهش کیسه تخم نیز مربوط به نماکوب ۱۵۰ با ۲۳/۸ درصد کاهش بود (جدول ۳ و شکل ۱).

**جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد ریشه‌گرهی در درختان کیوی**

**Table 2- Analysis of variance of pathogenicity indices of root-knot nematode in Kiwifruit trees**

| S.O.V | df | Fruit width (cm) | Fruit length (cm) | Fruit weight (g) | Root galls | Root eggs and larvae (no. g) | Root egg sacs | Soil larvae (no. $100^{-1}$ g) | Reproduction factor |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 9 | 0.05** | 0.26 ns | 256.6* | 5680.3** | 74309.1** | 1643.9** | 86998.1 ** | 9412.9** |
| Error | 20 | 0.01 | 19.0 | 51.9 | 33.8 | 86.3 | 63.7 | 50.4 | 38.4 |
| C.V (%) | | 46.2 | 55.6 | 90.9 | 82.1 | 26.1 | 60.2 | 98.7 | 99.2 |

ns: غیرمعنی‌دار؛ * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد.

اثر بلوک معنی‌دار نبوده و در جدول ارائه نشده است.

ns: not significant; * and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

The block effect was not significant and therefore is not presented in the table.

**جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne incognita*) قبل و پس از اعمال تیمارهای آزمایش در درختان کیوی براساس آزمون T-Student**

**Table 3- Mean comparison of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) pathogenicity indices before and after experimental treatments in kiwifruit trees using paired T-Student**

| Treatment | Index | Initial population | Final population | Significant (t-test) |
|---|---|---|---|---|
| Control | Soil larvae (no. $100^{-1}$ g soil) | 236 | 532.5 | P<0.01 |
| | Root galls (no. $g^{-1}$ root) | 79 | 170.5 | P<0.01 |
| | Root eggs & larvae (no. $g^{-1}$ root) | 110.5 | 334 | P<0.01 |
| | Egg sacs (no. $g^{-1}$ root) | 56.5 | 91.5 | P<0.01 |
| | Reproduction factor | - | 2.5 | - |
| Nemacob150 | Soil larvae | 130 | 85.3 | P<0.01 |
| | Root galls | 130 | 85.3 | P<0.01 |
| | Root eggs & larvae | 95 | 76.7 | P<0.01 |
| | Egg sacs | 56 | 42.7 | P<0.05 |
| | Reproduction factor | - | 0.9 | - |
| Nemacob300 | Soil larvae | 171.3 | 146.7 | P<0.05 |
| | Root galls | 134.6 | 75.3 | P<0.01 |
| | Root eggs & larvae | 119.3 | 68.7 | P<0.01 |
| | Egg sacs | 90.6 | 64.7 | P<0.05 |
| | Reproduction factor | - | 0.7 | - |
| NemacobPlus150 | Soil larvae | 53.3 | 110.7 | P<0.05 |
| | Root galls | 84 | 50.7 | P<0.05 |
| | Root eggs & larvae | 159.3 | 110.7 | P<0.05 |
| | Egg sacs | 53.3 | 30.7 | P<0.05 |
| | Reproduction factor | - | 0.8 | - |
| NemacobPlus300 | Soil larvae | 263.3 | 451.7 | P<0.05 |
| | Root galls | 120 | 78 | P<0.05 |
| | Root eggs & larvae | 178.6 | 117.3 | P<0.05 |
| | Egg sacs | 54 | 30.7 | P<0.05 |
| | Reproduction factor | - | 0.8 | - |
| Bactoland100 | Soil larvae | 603.3 | 456.7 | P<0.05 |
| | Root galls | 67.3 | 39.3 | P<0.01 |
| | Root eggs & larvae | 223.3 | 127.3 | P<0.01 |
| | Egg sacs | 48.6 | 24 | P<0.01 |
| | Reproduction factor | - | 0.7 | - |
| Bactoland200 | Soil larvae | 246.6 | 145 | P<0.01 |
| | Root galls | 72 | 28 | P<0.001 |
| | Root eggs & larvae | 225 | 68.3 | P<0.001 |
| | Egg sacs | 54 | 12 | P<0.001 |
| | Reproduction factor | - | 0.5 | - |
| Biolap15 | Soil larvae | 268.3 | 253.3 | P<0.05 |
| | Root galls | 78 | 63.3 | P<0.05 |
| | Root eggs & larvae | 62.6 | 57 | P<0.05 |
| | Egg sacs | 39.3 | 24.7 | P<0.05 |
| | Reproduction factor | - | 0.9 | - |
| Biolap25 | Soil larvae | 186.6 | 161.7 | P<0.05 |
| | Root galls | 40.6 | 28 | P<0.05 |
| | Root eggs & larvae | 139.3 | 112.3 | P<0.05 |
| | Egg sacs | 26 | 8.7 | P<0.01 |
| | Reproduction factor | - | 0.8 | - |
| Rugby | Soil larvae | 280 | 29.7 | P<0.001 |
| | Root galls | 54 | 26.7 | P<0.001 |
| | Root eggs & larvae | 1102 | 540 | P<0.001 |
| | Egg sacs | 40.6 | 19 | P<0.001 |
| | Reproduction factor | - | 0.8 | - |

**جدول ٤- مقایسه میانگین شاخص‌های نهایی بیماری‌زایی نماتد ریشه‌گرهی(*Meloidogyne incognita*) بین تیمارهای مختلف (آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد)**

**Table 4- Comparison of final mean values of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) pathogenicity indices among different treatments (Tukey's test at 1% probability level)**

| Treatment | Soil larvae (no. 100$^{-1}$ g soil) | Root galls (no. g$^{-1}$ root) | Root eggs & larvae (no. g$^{-1}$ root) | Egg sacs (no. g$^{-1}$ root) | Reproduction factor |
|---|---|---|---|---|---|
| Control | 532.5 $^{a*}$ | 170.5 $^{a}$ | 334 $^{a}$ | 91.5 $^{a}$ | 2.5 $^{a}$ |
| Nemacob150 | 85.3 $^{cd}$ | 85.3 $^{bc}$ | 76.7 $^{def}$ | 42.7 $^{bc}$ | 0.9 $^{b}$ |
| Nemacob300 | 146.7 $^{d}$ | 75.3 $^{bc}$ | 68.7 $^{cde}$ | 64.7 $^{ab}$ | 0.7 $^{b}$ |
| NemacobPlus150 | 110.7 $^{abc}$ | 50.7 $^{c}$ | 110.7 $^{cde}$ | 30.7 $^{bc}$ | 0.8 $^{b}$ |
| NemacobPlus300 | 451.7 $^{b}$ | 78.0 $^{bc}$ | 117.3 $^{cd}$ | 30.7 $^{bc}$ | 0.8 $^{b}$ |
| Bactoland100 | 456.7 $^{b}$ | 39.3 $^{bc}$ | 127.3 $^{bc}$ | 24.0 $^{bc}$ | 0.7 $^{b}$ |
| Bactoland200 | 145.0 $^{cd}$ | 28.0 $^{c}$ | 68.3 $^{e}$ | 12.0 $^{c}$ | 0.5 $^{b}$ |
| Biolap15 | 253.3 $^{bc}$ | 63.3 $^{bc}$ | 57.0 $^{f}$ | 24.7 $^{c}$ | 0.9 $^{b}$ |
| Biolap25 | 161.7 $^{d}$ | 28.0 $^{c}$ | 112.3 $^{de}$ | 8.7 $^{bc}$ | 0.8 $^{b}$ |
| Rugby | 29.7 $^{e}$ | 26.7 $^{c}$ | 540.0 $^{ab}$ | 19.0 $^{c}$ | 0.4 $^{b}$ |

* حروف لاتین در هر ستون نشان‌دهنده نتایج آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) برای مقایسه بین تیمارها است. میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

* Letters in each column indicate results of Tukey's test at the 1% probability level ($P<0.01$) for comparison among treatments. Means sharing at least one common letter are not significantly different from each other.

**جدول ٥- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی میوه پس از آلودگی به نماتد ریشه‌گرهی**

**Table 5- Mean comparison of fruit physical characteristics following root-knot nematode infection.**

| Treatments | **Fruit width** (cm) | Fruit length (cm) | **Fruit weight** (g) |
|---|---|---|---|
| Control | 5$^{ab*}$ | 6.5$^{a}$ | 80.9$^{a}$ |
| Nemacob150 | 5.1$^{ab}$ | 6.8$^{a}$ | 78$^{a}$ |
| Nemacob300 | 5.2$^{a}$ | 7.4$^{a}$ | 104.6$^{a}$ |
| NemacobPlus150 | 4.9$^{ab}$ | 6.6$^{a}$ | 96.4$^{a}$ |
| NemacobPlus300 | 5.1$^{ab}$ | 6.7$^{a}$ | 104.2$^{a}$ |
| Bactoland100 | 4.8$^{b}$ | 6.4$^{a}$ | 94.5$^{a}$ |
| Bactoland200 | 5.1$^{ab}$ | 6.7$^{a}$ | 103.7$^{a}$ |
| Biolap15 | 4.9$^{b}$ | 6.5$^{a}$ | 88.2$^{a}$ |
| Biolap25 | 5.1$^{ab}$ | 6.6$^{a}$ | 100.6$^{a}$ |
| Rugby | 5.2$^{ab}$ | 6.6$^{a}$ | 85.2$^{a}$ |

* میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون توکی (Tukey's test) در سطح پنج درصد ($P<0.05$) برای صفات وزن و طول میوه و در سطح یک درصد برای صفت عرض میوه، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند ($P<0.01$).

* Means sharing at least one common letter are not significantly different from each other based on Tukey's test at the 5% probability level for fruit weight and length traits ($P<0.05$), and at the 1% probability level for fruit width trait ($P<0.01$).

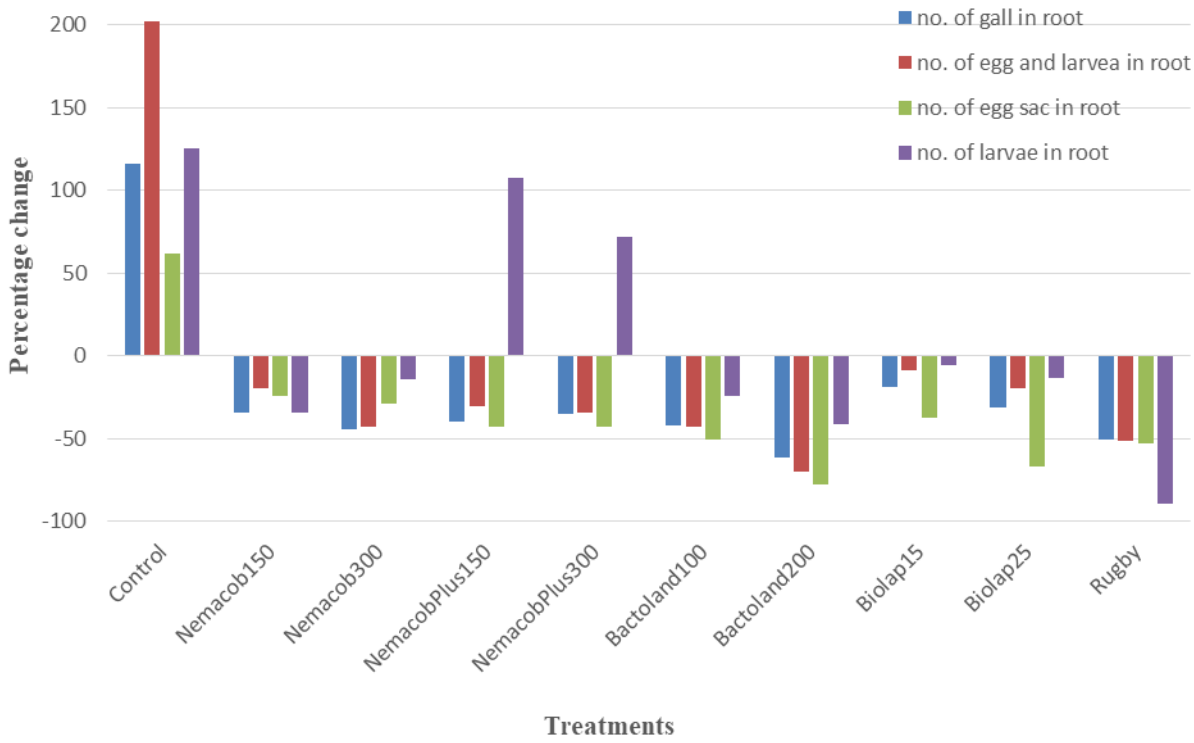
**جدول ٦- خلاصه درصد تغییرات درون‌تیماری شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد (براساس مقایسه جمعیت اولیه و نهایی درون هر تیمار)**

**Table 6- Summary of intra-treatment percentage changes for nematode pathogenicity indices (based on comparison of initial and final populations within each treatment)**

| Treatment | Root galls (%) | Root eggs & larvae (%) | Egg sacs (%) | Soil larvae (%) | Overall assessment |
|---|---|---|---|---|---|
| Control | +115.8% ** | +202.3% ** | +61.9% ** | +125.6% ** | Severe increase |
| Nemacob150 | -34.4% ** | -19.3% * | -23.8% * | -34.4% ** | Moderately effective |
| Nemacob300 | -44.1% ** | -42.4% ** | -28.6% * | -14.4% ns | Moderately effective |
| NemacobPlus150 | -39.6% * | -30.5% * | -42.4% * | +107.7% ns | Unsuccessful in soil |
| NemacobPlus300 | -35.0% * | -34.3% * | -43.1% * | +71.6% ns | Unsuccessful in soil |
| Bactoland100 | -41.6% ** | -43.0% ** | -50.6% ** | -24.3% * | Good effectiveness |
| Bactoland200 | -61.1% *** | -69.6% *** | -77.7% *** | -41.2% ** | Best biological treatment |
| Biolap15 | -18.8% * | -8.9% ns | -37.1% * | -5.6% ns | Least effective |
| Biolap25 | -31.0% * | -19.4% * | -66.5% ** | -13.3% ns | Moderate effectiveness |
| Rugby | -50.6% *** | -50.9% *** | -53.2% *** | **-89.4% *** | Best in soil larvae |

مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش و مقادیر مثبت نشان‌دهنده افزایش مقادیر نسبت به مقادیر اولیه همان تیمار می‌باشد. سطح معنی‌داری (آزمون t جفتی): ***: $P<0.001$ (معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد)؛ **: $P<0.01$ (معنی‌دار در سطح یک درصد)؛ *: $P<0.05$ (معنی‌دار در سطح پنج درصد)؛ ns: (غیرمعنی‌دار).

Negative values indicate reduction, and positive values indicate increase in population compared to the initial population of the same treatment. Significance levels (paired t-test): ***: $P < 0.001$ (significant at 0.1% level); **: $P < 0.01$ (significant at 1% level); *: $P < 0.05$ (significant at 5% level); ns: (not significant).




**شکل ۱- مقایسه درون تیماری درصد تغییر چهار شاخص نماتد ریشه‌گرهی (*Meloidogyne incognita*) در ریشه کیوی**

**Figure 1- Comparison of intra-treatment percentage changes in four pathogenicity indices of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in kiwifruit**

### تعداد لارو سن دو در ۱۰۰ گرم خاک

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر تعداد لارو سن دوم در ۱۰۰ گرم خاک در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود ($P<0.01$؛ جدول ۲). بیشترین درصد کاهش لارو خاک در تیمار راگبی با ۸۹/۴ درصد کاهش مشاهده شد. پس از آن، به‌ترتیب ترکیب زیستی باکتولند ۲۰۰ با ۴۱/۲ درصد کاهش، نماکوب ۱۵۰ با ۳۴/۴ درصد کاهش و باکتولند ۱۰۰ با ۲۴/۳ درصد کاهش بیشترین تأثیر را در کاهش تعداد لارو نماتد ریشه‌گرهی داشتند. کمترین تأثیرکاهش لارو خاک مربوط به بایولپ ۱۵ با ۵/۶ درصد کاهش بود که از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳ و شکل ۱).

### فاکتور تولیدمثل

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر فاکتور تولیدمثل نماتد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($P<0.01$؛ جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که تمامی تیمارها باعث کاهش فاکتور تولیدمثل نسبت به شاهد شدند. بیشترین کاهش (پایین‌ترین فاکتور تولیدمثل) مربوط به تیمار شیمیایی راگبی با مقدار ۰/۴ بود. پس از آن، به‌ترتیب ترکیبات زیستی باکتولند ۲۰۰ (۰/۵)، باکتولند ۱۰۰ (۰/۷) و نماکوب ۳۰۰ (۰/۷) قرار گرفتند. کمترین تأثیر در کاهش فاکتور تولیدمثل مربوط به بایولپ ۱۵ با مقدار ۰/۹ (هم‌رتبه با نماکوب ۱۵۰) بود (جدول ۳).

### عرض میوه

نتایج به‌دست‌آمده از جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای اعمال‌شده بر عرض میوه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری داشتند ($P<0.01$؛ جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که نماکوب ۳۰۰ و راگبی با ۵/۲ سانتی‌متر، بیشترین عرض میوه داشتند. پس از آن، تیمارهای نماکوب پلاس ۳۰۰، باکتولند ۲۰۰، بایولپ ۲۵ و نماکوب ۱۵۰ با ۵/۱ سانتی‌متر قرار گرفتند. باکتولند ۱۰۰ با ۴/۸ سانتی‌متر، کمترین عرض میوه را نشان داد (جدول ۵).

### طول میوه

اگرچه جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که نماکوب ۳۰۰ بیشترین طول میوه (۷/۴ سانتی‌متر) را داشت، امّا براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر تیمارها بر طول میوه از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P>0.05$).

### وزن میوه

بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر وزن میوه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و در سطح یک درصد همه تیمارها در یک سطح آماری قرار گرفتند (جدول ۲). اگرچه جدول مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که نماکوب ۳۰۰ و نماکوب-پلاس ۳۰۰ بیشترین وزن میوه و نماکوب ۱۵۰کمترین وزن میوه را داشتند، امّا این تفاوت‌ها از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود.

## بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تمامی تیمارهای زیستی و شیمیایی به‌طور معنی‌داری شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد را کاهش دادند. اگرچه این ترکیبات تأثیر چندانی بر صفات رشدی میوه، به‌ویژه وزن و طول آن نداشتند، امّا بازه زمانی تحقیق نیز در خصوص افزایش عملکرد درختان میوه چندساله مهم است و درصورتی‌که در طول چند سال مورد ارزیابی قرار گیرد، تأثیر هر تیمار بر صفات میوه آشکارتر می‌گردد. استفاده از ترکیبات زیستی نظیر باکتولند در کاهش تراکم نماتدها بسیار مؤثر بود. برتری باکتولند را می‌توان به حضور باکتری‌های محرک رشد (PGPR) مانند *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas spp.* نسبت داد که با سازوکارهایی از قبیل تولید متابولیت‌های ثانویه، آنزیم‌های لیزکننده دیواره سلولی نماتد (مانند کیتیناز و پروتئاز)، ترشح سیدروفورها، و القای مقاومت سیستمیک، در سرکوب جمعیت نماتد نقش دارند (Mhatre et al., 2019; Forghani & Hajihassani, 2020). نتایج این پژوهش با مطالعات میرقاسمی و همکاران (Mirghasemi et al., 2023) و منظمی و همکاران (Monazam et al., 2022) کاملاً هم‌سو بوده، همچنین یافته‌های وانگ و همکاران (Wang et al., 2014) درباره نقش PGPRها را تأیید می‌کند. افزون‌بر آن، اسید هیومیک موجود در باکتولند با تغییر ساختار ریزوسفر می‌تواند شرایط را برای فعالیت نماتدهای انگل نامساعد سازد. پژوهش‌های پیشین نیز مؤید اثر ترکیبات نماتدکش گیاهی در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای بوده‌اند (Saiedi Zadeh et al., 2021). یافته‌های حاضر نشان داد که افزایش غلظت تیمارها موجب افزایش اثربخشی در کاهش شاخص‌های بیماری‌زایی می‌شود، اگرچه این افزایش بر رشد میوه به‌ویژه از نظر وزن و طول تأثیر قابل ملاحظه‌ای نداشته است. دراین میان، باکتری‌ها به عنوان یکی از فراوان‌ترین ریزجانداران خاک شناخته می‌شوند که با وجود تراکم پایین‌تر نسبت به قارچ‌ها در برخی محیط‌ها، دامنه اثر وسیع‌تری علیه عوامل بیماری‌زای گیاهی دارند (Meyer, 2003). PGPRها از طریق تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های رشد، رقابت تغذیه‌ای، تولید آنزیم‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها، نقش کلیدی در مهار نماتدها ایفا می‌کنند (Sikora et al., 2007; Mhatre et al., 2019).

در این تحقیق، ترکیب شیمیایی راگبی (کادوزفوس) بیشترین کاهش فاکتور تولیدمثل نماتد را ایجاد کرد (جداول ۲ تا ۴؛ شکل‌های ۱ تا ۴)، امّا با توجه به مخاطرات شناخته‌شده آن برای محیط‌زیست، از جمله ایجاد مقاومت در نماتدها، اثرات منفی بر میکروبیوم خاک و باقی‌مانده‌های شیمیایی، استفاده بلندمدت آن توصیه نمی‌شود (Chelinho et al., 2017; Migunova & Sasanelli, 2021)؛ در مقابل، ترکیبات زیستی با خطر کمتر و پایداری بیشتر، گزینه‌ای مناسب برای مدیریت پایدار محسوب می‌شوند. نکته حائز اهمیت دیگر، رابطه دُز–پاسخ در استفاده از ترکیبات زیستی است. اگرچه افزایش دُز ممکن است از نظر اقتصادی هزینه‌بر باشد، امّا در مقایسه با تبعات زیست‌محیطی ترکیبات شیمیایی، همچنان مقرون‌به‌صرفه خواهد بود. افزون‌بر این، استمرار در کاربرد ترکیبات زیستی سبب تقویت جمعیت عوامل بازدارنده در خاک و افزایش پایداری آن‌ها در محیط می‌شود (Monazam et al., 2022). کاهش مؤثر شاخص‌های بیماری‌زایی با دو نوبت کاربرد باکتری‌ها در این مطالعه نیز مؤید نقش استمرار کاربرد، در افزایش اثربخشی است. سازوکارهای مختلفی در این پدیده نقش دارند؛ مانند تولید ترکیبات سمی مانند ویسکوزیمید (یک بیوسورفکتانت) که توسط *Bacillus* spp. تولید می شود و غشای کوتیکول نماتد را تخریب می‌کند، و اسیدهای آلی مانند اسید استیک در سرکه چوب (ماده مؤثر نماکوب) که pH محیط ریشه را تغییر داده و برای نماتد کشنده است.

آنزیم‌های تجزیه‌کننده مانند پروتئازها، کیتینازها، کلاژنازها و آنتی‌بیوتیک‌ها، نیز در اثرگذاری عوامل زیستی نقش دارند (Forghani & Hajihassani, 2020). همچنین کاربرد زودهنگام این ترکیبات به استقرار بهتر و کارآیی بیشتر آن‌ها منجر می‌شود (Migunova & Sasanelli, 2021). از دیگر نتایج مهم این پژوهش، تأثیر ترکیب نماکوب پلاس در کاهش گال‌های ریشه کیوی بود. نماکوب پلاس یک ترکیب ارگانیک برپایه اسید استیک غلیظ (سرکه چوب) و مواد تشدیدکننده است که از طریق تماسی، تدخینی و سیستمیک عمل می‌کند. احتمالاً خاصیت اسیدی و نفوذپذیری سریع این ترکیب، نه‌تنها به تأثیر مستقیم می‌انجامد، بلکه با بهبود ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه ریزوسفر، شرایط را برای استقرار و تغذیه نماتد نامساعد می‌سازد. تاکنون مطالعه مستقلی به بررسی کارآیی این ترکیب در مهار نماتد ریشه‌گرهی کیوی نپرداخته است. با توجه به مزایای زیست‌محیطی ترکیبات زیستی در مقایسه با ترکیبات شیمیایی، گنجاندن روش‌های مهار ایمن و کم‌خطر در برنامه مدیریت پایدار محصولاتی مانند کیوی، از اهمیتی راهبردی برخوردار است. منظور، استفاده از عوامل و ترکیباتی است که اولاً برای انسان و موجودات غیرهدف (مانند کرم‌های خاکی و ریزجانداران سودمند

خاک) و زیست‌بوم کم‌خطر بوده و دوماً به‌سرعت در محیط تجزیه شده و سبب آلودگی پایدار خاک و آب‌های زیرزمینی نشوند. مصرف ترکیباتی نظیر عوامل محرک رشد گیاه (PGPR)، قارچ‌های آنتاگونیست، عصاره‌های گیاهی و کودهای آلی، نمونه‌ای از روش‌های سازگار با محیط زیست است.

در همین راستا و برای ارتقای هرچه بیشتر این رویکرد، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، راهکارهای تلفیقی و مبتنی بر اصول مدیریت تلفیقی آفات (IPM) مورد بررسی قرار گیرد. برای مثال، می توان اثر هم‌افزایی ترکیب PGPRها را با قارچ‌های بیمارگر نماتد مانند *Purpureocillium lilacinum*یا گونه‌های *Trichoderma* ارزیابی نمود. همچنین پایش تأثیرات بلندمدت این ترکیبات بر سلامت و تنوع میکروبی خاک، از دیگر زمینه‌های پژوهشی است.

در مجموع، نتایج این پژوهش، نه‌تنها اثربخشی مطلوب ترکیبات زیستی را در مدیریت نماتد ریشه‌گرهی کیوی نشان داد، بلکه گامی در جهت عینیت بخشیدن به کاربرد روش‌های ایمن و پایدار در کشاورزی عملی بود. به نظر می‌رسد که با توجه به روند جهانی کاهش مصرف سموم شیمیایی و ضرورت حفاظت از تنوع زیستی، تکیه بر چنین روش‌هایی، تنها راهبرد منطقی برای آینده کشاورزی خواهد بود.

## نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تمامی ترکیبات زیستی و شیمیایی مورد بررسی، شاخص‌های بیماری‌زایی نماتد ریشه‌گرهی *Meloidogyne incognita*را در شرایط باغ، به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. در میان تیمارهای زیستی، باکتولند ۲۰۰ میلی‌لیتر در مترمربع با کاهش ۶۹/۶ درصدی تخم و لارو ریشه، ۶۱/۱ درصدی گال‌های ریشه و ۷۷/۷ درصدی کیسه‌های تخم، مؤثرترین ترکیب بود و عملکرد آن در بسیاری از شاخص‌ها با نماتدکش شیمیایی راگبی (کادوزفوس) قابل مقایسه بود. در مقابل، بایولپ ۱۵ میلی‌لیتر کمترین اثربخشی را نشان داد. همچنین نماکوب ۳۰۰ میلی‌لیتر تنها تیماری بود که موجب افزایش معنی‌دار عرض میوه نسبت به شاهد شد، در حالی که هیچ‌یک از تیمارها تأثیر معنی‌داری بر وزن و طول میوه نداشتند.

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق گویای آن است که ترکیبات زیستی، به‌ویژه باکتولند، می‌توانند به‌عنوان جایگزینی مؤثر و سازگار با محیط‌زیست برای نماتدکش‌های شیمیایی در مدیریت نماتد ریشه‌گرهی کیوی مطرح شوند. با این حال، با توجه به این که تأثیر این ترکیبات بر صفات رشدی میوه در بازه زمانی یک‌ساله محدود بود، پیشنهاد می‌شود کارایی بلندمدت آن‌ها در قالب مطالعات چندساله و در چارچوب برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات (IPM) مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین، بررسی اثرات این ترکیبات بر تنوع و سلامت میکروبیوم خاک و امکان تلفیق آن‌ها با سایر عوامل مهار زیستی مانند قارچ‌های آنتاگونیست (*Trichoderma* spp. و *Purpureocillium lilacinum*)، فراهم کننده زمینه‌های پژوهشی ارزشمندی برای آینده خواهد بود.

## References


1. Abd-Elgawad, M. M. (2016). Comments on the use of biocontrol agents against plant-parasitic nematodes. International Journal of PharmTech Research, 9(12), 352-359.
2. Abdel-Razek, G. M., & Yaseen, R. (2020). Effect of some rhizosphere bacteria on root-knot nematodes. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 30(1), 1-11. https://doi.org/10.1186/s41938-020-00340-y
3. Chelinho, S., Maleita, C. M. N., Francisco, R., Braga, M. E. M., da Cunha, M. J. M., Abrantes, I., de Sousa, H. C., Morais, P. V., & Sousa, J. P. (2017). Toxicity of the bionematicide 1, 4-naphthoquinone on non-target soil organisms. Chemosphere, 181, 579-588. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.092 .
4. Engelbrecht, G., Horak, I., Peet, J., van Rensburg, J., & Claassens, S. (2018). Bacillus–based bionematicides: Development, modes of action and commercialization. Biocontrol Science and Technology, 28(7), 629–653. http://dx.doi.org/10.1080/09583157.2018.1469000
5. FAOSTAT. (2024). Crops and Livestock Products. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize
6. Ferguson, A. R. (2011). Kiwifruit: Evolution of a crop. *Acta Horticulturae*, *91*, 31-42. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.913.1
7. Forghani, F., & Hajihassani, A. (2020). Recent advances in the development of environmentally benign treatments to control root–knot nematodes. Frontiers in Plant Science, 11, 1125. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01125 .
8. Gholamian, E., & Aghajanzadeh, S. (2016). Pests of Kiwifruit Trees in Northern Iran (pp. 9-12). Tehran, Iran. Agricultural Education Publishing. (In Persian).
9. Golmohammadi, M., Ghasemi, M., Banihashemian, S. N. (2019). The study of tolerance or sensitive of kiwifruit varieties to the bacterial canker. 1st Iranian Plant pathology Congress. Karaj, Tehran. Proceedings of the 1th Iranian plant pathology Congress, Karaj, Iran, p. 342. (In Persian).
10. Hussey, R. S., & Barker, K. R. (1973). A comparison of methods of collecting inocula of Meloidogyne spp. including a new technique, *Plant Disease Reporter, 57*, 1025-1028.
11. Jepson, S. B. (1987). Identification of Root-Knot nematodes. Cambrian news Ltd.

12. Meyer, S. L. F. (2003). United States Department of Agriculture–agricultural research service research programs on microbes for management of plant parasitic nematodes. *Pest Management Science*, *59*, 665–670. https://doi.org/10.1002/ps.708
13. Mhatre, P. H., Karthik, C., Kadirvelu, K., Divya, K. L., Venkatasalam, E. P., Srinivasan, S., & Shanmuganathan, R. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A potential alternative tool for nematodes bio–control. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology Journal, 17, 119–128. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.009.
14. Migunova, V. D., & Sasanelli, N. (2021). Bacteria as biocontrol tool against phytoparasitic nematodes. *Plants*, *10*(2), 389. https://doi.org/10.3390/plants10020389
15. Mirghasemi S. N., Taheri, A., Khodaygan, P., & Jamali, S. (2023). Biological control of the root–knot nematode (Meloidogyne incognita) in kiwifruit using probiotic bacteria. *Biocontrol in Plant Protection*, *11*(1), 35-47. (In Persian).
16. Monazam, K., Jamali, S., & Alimi, M. (2022). Efficacy of *Pseudomonas* and *Streptomyces* strains on control of root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Nematology*, *1*(1), 118-127. (In Persian).
17. Nam, H. S., Anderson, A. J. & Kim, Y. C. (2018). Biocontrol efficacy of formulated pseudomonas chlororaphis O6 against plant diseases and root–knot nematodes. The Plant Pathology Journal, 34(3), 241–249. https://doi.org/10.5423/PPJ.NT.12.2017.0264 .
18. Peiris, P. U. S., Li, Y., Brown, P., & Xu, C. (2020). Efficacy of organic amendments to control Meloidogyne spp. in crops: A systematic review and meta-analysis. Journal of Soils and Sediments, 20, 1584-1598. https://doi.org/10.1007/s11368-019-02498-x
19. Ramezani, H. (2013). Management of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* with some organic amendments. *Plant Protection Journal*, *6*(2), 191-197.
20. Saiedi Zadeh, A., Fotokian, M. H., & Niasti, F. (2021). Effect of plant extract on the population of second-stage juveniles of root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, under laboratory conditions [Paper presentation]. 8th National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran, Tehran, Iran. (In Persian). https://civilica.com/doc/1317099
21. Saleh, H. M., Shafeeq, A. F., & Khairi, M. A. (2023). Biological control of Meloidogyne javanica by Pasteuria penetrans and Trichoderma harzianum on tomato plants. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 24(2), 847-851. https://doi.org/10.13057/biodiv/d240221
22. Santoni F., Paolini, J., Barboni, T., & Cost, J. (2014). Relationships between the leaf and fruit mineral compositions of Actinidia deliciosa var. Hayward according to nitrogen and potassium fertilization. Food Chemistry, 147, 269–271. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.154
23. Shaukat, S. S., Moazzam, A. K., Ahmed, V., & Shahina, F. (2009). Effect of *Meloidogyne javanica* and moisture stress on growth and physiological response of brinjal. *Pakistan Journal of Nematology*, *27*, 281-296.
24. Sikora, R. A., Schafer, K., & Dababat, A. A. (2007). Modes of action associated with microbial induced in planta suppression of plant–parasitic nematodes. Australasian Plant Pathology, 36, 124–134. https://doi.org/10.1071/AP07008
25. Singh, S., Singh, B., & Singh, A. P. (2015). Nematodes: A threat to sustainability of agriculture. *Procedia Environmental Sciences*, *29*, 215-216. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.270
26. Soliman, G. M., Ameen, H. H., Abdel–Aziz, S. M., & El–Sayed, G. M. (2019). *In vitro* evaluation of some isolated bacteria against the plant parasite nematode Meloidogyne incognita. Bulletin of the National Research Centre, 43, 171. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0200-0
27. Taylor, D. P., & Netscher, C. (1974). An improved technique for preparing perennial pattern of *Meloidogyne* spp. *Nematologica*, *20*, 268-270.
28. Wang, K. H., Radovich, T., Pant, A., & Cheng, Z. (2014). Integration of cover crops and vermicompost tea for soil and plant health management in a short-term vegetable cropping system. *Applied Soil Ecology*, *82*, 26-37. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.003
29. Whitehead, A. G., & Hemming, J. R. (1965). A comparison of some quantitative methods of extracting small vermiform nematodes from soil. Annual 2016. *Vermicompost Applied Biology*, *55*, 25-38. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1965.tb07864.x