

Research Paper

Effect of the entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii* in combination with the botanical insecticide Bino2[®] on larvae of the oak leaf roller (*Tortrix viridana* L.)**Mahdieh Mousavi¹, Shahram Aramideh^{*2} and Samaneh Akbari³**

1- Assistant Professor, Plant Protection Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Kurdistan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sanandaj, I. R. Iran. (mousavimahdieh10@gmail.com)

2, *- (Corresponding author) Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (sh.aramideh@urmia.ac.ir)

3- Postdoctoral Researcher in Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (sama8akbari@gmail.com)

Received: 28 November 2025

Revised: 06 January 2026

Accepted: 06 January 2026

Extended Abstract

Background and Objective: *Tortrix viridana* L., the European oak leaf roller, is one of the most destructive pests of oak forests, causing reduced photosynthesis, suppressed growth, premature defoliation, and ultimately tree decline by feeding on buds and young leaves. Owing to the limitations associated with chemical insecticides, biological control agents and botanical insecticides have gained increasing attention as sustainable components of integrated pest management (IPM). The entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii* infects insects through direct penetration of the cuticle, proliferates within the hemocoel, and causes host mortality while also suppressing feeding and reproduction. Likewise, Bino2, a botanical insecticide derived from the root extract of *Sophora flavescens*, contains alkaloids such as matrine that exhibit insecticidal and antifeedant activities with lower environmental risks than conventional insecticides. Therefore, combining these two control agents may enhance pest suppression through synergistic interactions while reducing reliance on chemical pesticides.

Material and Methods: This laboratory study was conducted to evaluate the compatibility of *L. lecanii* isolate 229 with the botanical insecticide Bino2 and to investigate their lethal and sublethal effects against larvae of the oak leaf roller (*T. viridana*). Egg masses were collected from the Pirdanan forests of Piranshahr, and third- and fourth-instar larvae were reared under controlled laboratory conditions. Fungal bioassays were performed using conidial suspensions ranging from 10^4 to 10^8 conidia mL^{-1} , and larval mortality was recorded nine days after treatment. Similarly, Bino2 bioassays were conducted using a range of concentrations based on the recommended field dose, with mortality assessed 24 and 48 h after application. Fungal compatibility with Bino2 was evaluated by measuring conidial germination on media containing half, the recommended, and twice the recommended dose of the insecticide. Sublethal effects were assessed using LC_{25} of each agent individually and a combined treatment of $\text{LC}_{12.5} + \text{LC}_{12.5}$. Life-table parameters, including survival, developmental duration, adult longevity, fecundity, intrinsic rate of increase (r), net reproductive rate (R_0), mean generation time (T), and finite rate of increase (λ), were estimated using the age-stage, two-sex life table approach.

Results: Bioassay results demonstrated that larval mortality was concentration-dependent for both control agents. The LC_{50} values of *L. lecanii* isolate 229 were estimated at 2.01×10^5 and 7.78×10^5 conidia mL^{-1} for third- and fourth-instar larvae, respectively. The 48-h LC_{50} values of Beno2 were 275.50 and 308.09 $\mu L L^{-1}$ for the respective larval instars. Compatibility assays showed that half of the recommended Beno2 dose had no significant inhibitory effect on conidial germination, with germination exceeding 92%, whereas the recommended dose reduced germination and twice the recommended dose completely inhibited it. Sublethal treatments, including fungal LC_{25} , Beno2 LC_{25} , and the combined $LC_{12.5} + LC_{12.5}$ treatment, significantly affected the biological performance of the pest. All treatments prolonged the immature developmental period and shortened adult longevity. Reproductive performance and population growth parameters were also significantly reduced. The greatest reductions in the intrinsic rate of increase (r) and net reproductive rate (R_0) were observed in the combined treatment, indicating a synergistic interaction between *L. lecanii* and Beno2 in suppressing pest survival and population growth. Moreover, the significant increase in mean generation time (T) suggests a slower rate of population development in subsequent generations.

Conclusion: Overall, the results demonstrated that both *L. lecanii* and the botanical insecticide Beno2 are effective against the oak leaf roller (*T. viridana*), and their combined application at appropriate concentrations can enhance efficacy while reducing the need for higher application rates. Because the sublethal combination treatment substantially suppressed population growth and reproductive potential, this strategy represents a promising environmentally friendly option for the integrated management of oak leaf roller populations. Further field studies are recommended to evaluate the long-term effectiveness and stability of this approach under natural forest conditions.

Keywords: forest pests; botanical insecticide; Lepidoptera; entomopathogenic fungi; integrated pest management.

How to Cite This Article: Mousavi, M., Aramideh, Sh., and Akbari, S. (2026). Effect of the entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii* in combination with the botanical insecticide Bino2® on larvae of the oak leaf roller (*Tortrix viridana* L.). Forest Research and Development, 12(2), 277-297. DOI: [10.30466/jfrd.2026.56818.1795](https://doi.org/10.30466/jfrd.2026.56818.1795)



Copyright ©2024 Mousavi et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

تأثیر قارچ بیمارگر *Lecanicillium lecanii* در اختلاط با حشره کش گیاهی بینو^۲ (Bino2[®]) بر لاروهای پروانه *Tortrix viridana* L. جوانه خوار بلوط

مهدیه موسوی^۱، شهرام آرمیده^{۲*} و سمانه اکبری^۳

۱- استادیار، بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران. (mousavimahdieh10@gmail.com)

۲- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (sh.aramideh@urmia.ac.ir)

۳- پژوهشگر پسادکتری حشره شناسی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (sama8akbari@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶

چکیده

مقدمه و هدف: پروانه جوانه خوار بلوط (*Tortrix viridana* L.) یکی از مهم ترین آفات جنگل های بلوط است که با تغذیه از جوانه ها و برگ های جوان، موجب کاهش فتوسنتز، افت رشد، خزان زودرس و در نهایت زوال درختان می شود. با توجه به محدودیت های استفاده از سموم شیمیایی، بهره گیری از عوامل زیستی و حشره کش های گیاهی در قالب مدیریت تلفیقی آفات به عنوان راهکاری پایدار مورد توجه قرار گرفته است. قارچ بیمارگر حشرات *Lecanicillium lecanii* با نفوذ از کوتیکول و تکثیر در همولف، موجب مرگ آفت شده و علاوه بر آن، تغذیه و تولید مثل آن را کاهش می دهد. همچنین، حشره کش گیاهی بینو^۲، بر پایه عصاره ریشه تلخ بیان (*Sophora flavescens*)، به دلیل وجود آکالوئیدهایی مانند ماترین، اثرهای حشره کشی و ضد تغذیه ای داشته و نسبت به سموم شیمیایی مخاطرات زیست محیطی کمتری دارد. بنابراین، ترکیب این دو عامل می تواند، کارایی کنترل آفت را افزایش و مصرف آفت کش های شیمیایی را کاهش دهد.

مواد و روش ها: این پژوهش با هدف بررسی سازگاری قارچ *L. lecanii* ایزوله ۲۲۹ با حشره کش گیاهی بینو^۲ و نیز ارزیابی اثرهای کشندگی و زیرکشندگی این دو عامل در کنترل لاروهای آفت پروانه جوانه خوار بلوط (*T. viridana*) تحت شرایط آزمایشگاهی انجام شد. در ابتدا، تخم های آفت از جنگل های پردانان پیرانشهر جمع آوری و لاروهای سن سوم و چهارم تحت شرایط کنترل شده پرورش داده شدند. سپس زیست سنجی قارچ در غلظت های ۱۰^۴ تا ۱۰^۸ کنیدیوم در میلی لیتر روی لاروها انجام و مقدار مرگ و میر پس از نه روز ثبت شد. مشابه این روش، زیست سنجی حشره کش بینو^۲ نیز با تهیه غلظت های مختلف بر اساس دوز توصیه شده و ثبت مرگ و میر ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تیمار اجرا شد. علاوه بر این، برای بررسی

سازگاری قارچ با بینو۲، درصد جوانه‌زنی کنیدی‌ها در محیط‌های حاوی غلظت‌های مختلف سم شامل نصف، برابر و دو برابر دوز توصیه‌شده اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی اثرهای زیرکشنده‌گی، لاروهای تیمار شده با LC₂₅ هر عامل به‌صورت مجزا و نیز ترکیب LC_{12.5} قارچ + بینو۲ مورد بررسی قرار گرفتند و فراسنجه‌های جدول زندگی شامل بقا، طول دوره‌های رشدی، طول عمر حشره کامل، توان تولیدمثل و شاخص‌های رشد جمعیتی مانند نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0) میانگین طول مدت یک نسل (T) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) با روش جدول زندگی دوجنسی محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج زیست‌سنجی نشان داد که مرگ‌ومیر لاروها به غلظت هر دو عامل وابسته است. مقدار LC₅₀ قارچ *Lecanicillium lecanii* ایزوله ۲۲۹ برای لاروهای سن سوم و چهارم به‌ترتیب ۱۰۰×۲/۰۱ و ۱۰۰×۷/۷۸ کنیدیوم در میلی‌لیتر برآورد شد. همچنین، LC₅₀ حشره‌کش بینو۲ پس از ۴۸ ساعت برای این دو سن لاروی به‌ترتیب ۲۷۵/۵۰ و ۳۰۸/۰۹ میکرولیتر بر لیتر تعیین شد. ارزیابی سازگاری نشان داد که نصف دوز توصیه‌شده بینو۲ هیچ اثر بازدارنده معنی‌داری بر جوانه‌زنی کنیدی‌ها نداشت و بیش از ۹۲ درصد جوانه‌زنی مشاهده شد، در حالی که دوز توصیه‌شده موجب کاهش جوانه‌زنی و دو برابر دوز توصیه‌شده سبب توقف کامل آن شد. بررسی اثرهای زیرکشنده‌گی نیز نشان داد که تمامی تیمارها، شامل LC₂₅ قارچ، LC₂₅ بینو۲ و اختلاط LC_{12.5}+LC_{12.5}، اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های زیستی آفت داشتند. در تمامی تیمارها، طول دوره نابالغ افزایش و طول عمر حشرات کامل کاهش یافت. همچنین، تولیدمثل و شاخص‌های رشد جمعیت به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کردند. بیشترین کاهش در نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ خالص تولیدمثل (R_0) در تیمار اختلاط مشاهده شد که بیانگر اثر هم‌افزای قارچ و بینو۲ در تضعیف توان بقا و رشد جمعیت آفت است. افزون بر این، افزایش معنی‌دار میانگین طول یک نسل (T) نشان داد که روند رشد و گسترش جمعیت آفت در نسل‌های بعدی نیز کندتر خواهد شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، نتایج این پژوهش ثابت کرد که قارچ *L. lecanii* و حشره‌کش گیاهی بینو۲ هر دو قابلیت قابل توجهی در کنترل پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) دارند و کاربرد همزمان آنها در غلظت‌های مناسب می‌تواند منجر به کاهش مصرف دوزهای بالاتر و افزایش اثربخشی شود. از آنجا که اختلاط زیرکشنده سبب تضعیف جمعیت آفت و کاهش توان پویایی آن شد، این راهبرد می‌تواند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفت جوانه‌خوار بلوط به‌عنوان گزینه‌ای سازگار با محیط زیست مدنظر قرار گیرد. با توجه به نتایج امیدوارکننده آزمایشگاهی، پیشنهاد می‌شود بررسی‌های مزرعه‌ای برای ارزیابی پایداری و کارایی این روش در شرایط واقعی جنگل انجام شود.

واژه‌های کلیدی: آفات جنگل، آفت‌کش، بالپولک‌داران، قارچ‌های بیماری‌زای حشرات، کنترل تلفیقی آفات.

مقدمه

جنگل‌ها نقش بنیادی در حفظ تعادل بوم‌شناسی داشته و سلامت آنها شاخص مهمی برای ارزیابی وضعیت بوم‌شناختی هر منطقه به شمار می‌رود (Zhang and Chen, 2007). در ایران، جنگل‌ها حدود ۱۲/۴ میلیون هکتار مساحت دارند که تنها ۷/۴ درصد از مساحت کشور را شامل می‌شود؛ رقمی که در مقایسه با بسیاری از کشورها به نسبت پایین بوده و اهمیت حفاظت از این منابع ارزشمند را دوچندان می‌کند (Sagheb Talebi et al., 2004). از مهم‌ترین عوامل تخریب جنگل‌ها، آفات و بیماری‌های درختان جنگلی است؛ در مقابل، نقش عوامل زیستی در پویایی جنگل‌ها بسیار حائز اهمیت است (Gooshbor et al., 2016).

پروانه جوانه‌خوار بلوط (*Tortix viridana* L.) یکی از مهم‌ترین آفات جنگلی محسوب می‌شود که با تغذیه از جوانه‌ها و برگ‌های تازه، موجب خزان زودرس درختان بلوط می‌شود (Schroeder and Degen, 2008; Yazdanfar et al., 2015, Akbari and Aramideh, 2024). این آفت به صورت تخم زمستان‌گذرانی کرده و لاروها همزمان با باز شدن جوانه‌ها در بهار شروع به تغذیه می‌کنند (Ivashov et al., 2002). در جنگل‌های زاگرس، این حشره گونه‌های اصلی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) و بلوط دارمازو (*Q. infectoria* Oliv.) را در ارتفاعات پایین و بلوط لیبانی (*Q. libani* Oliv.) را در ارتفاعات بالاتر از ۱۷۰۰ متر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ghobari et al., 2007). پیچیدگی و چروکیدگی برگ‌های آلوده از نشانه‌های شاخص خسارت این آفت است و حتی از فواصل دور نیز قابل تشخیص است (Gooshbor et al., 2016).

برای حفظ تعادل بوم‌شناسی، کنترل آفات جنگلی بیشتر بر پایه عوامل زیستی استوار است. برخلاف

حشره‌کش‌های شیمیایی، عوامل زیستی بیماری‌زای حشرات به صورت انتخابی عمل کرده (Pisa et al., 2020; Lentini et al., 2015) و خطرات مرتبط با آلودگی زیست محیطی را ندارند (Pisa et al., 2017). با این حال، برخی محدودیت‌ها مانند پایداری کم، سرعت کشندگی پایین و حساسیت به شرایط محیطی می‌تواند عملکرد آنها را کاهش دهد (Lacey et al., 2015). یکی از راهکارهای مؤثر برای رفع این محدودیت‌ها، استفاده همزمان از عوامل بیماری‌زا با شیوه‌های مکمل مانند روش‌های فیزیکی (Kryukov et al., 2017; Yaroslavtseva et al., 2009; et al.), ترکیب با متابولیت‌های ثانویه گیاهی (Akhaniev et al., 2017; Konecka et al., 2020; Kryukov et al., 2018) یا کاربرد دوزهای زیرکشنده حشره‌کش‌ها برای افزایش عملکرد عوامل زیستی است (Dader et al., 2020).

قارچ‌های بیماریگر حشرات یکی از مهم‌ترین گروه‌های آفت‌کش‌های زیستی هستند که امروزه به عنوان جایگزینی ایمن برای کنترل آفات مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (Shi et al., 2008; Ali et al., 2020, Akbari and Aramideh, 2022). این قارچ‌ها ارزان، قابل فرمولاسیون به صورت پودر یا سوسپانسیون، و بی‌خطر برای انسان، جانوران و محیط زیست هستند (Lokma et al., 2023). در این میان، قارچ *Lecanicillium lecanii* (Zimmermann) یکی از رایج‌ترین و گسترده‌ترین گونه‌های این گروه است که دامنه میزبانی وسیعی دارد (Vinodhini et al., 2017; Ali et al., 2020; Lokma et al., 2023). هرچند قارچ‌های بیماریگر نسبت به حشره‌کش‌های شیمیایی کند عمل می‌کنند، اما موجب کاهش تغذیه، کاهش بقا و کاهش توان تولیدمثلی آفات می‌شوند (Pelizza et al., 2016; Ríos-Moreno et al., 2013). بررسی‌ها نشان داده‌اند که دوزهای زیرکشنده می‌توانند موجب تضعیف

بنابراین، در این پژوهش سازگاری و تأثیر کاربرد توأم قارچ *L. lecanii* و حشره‌کش گیاهی بینو ۲ و نیز اثرهای زیرکشنده هر دو ترکیب در مدیریت تلفیقی پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و پرورش آفت

برای انجام آزمایش‌ها، تخم‌های پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) از جنگل‌های پردانان پیرانشهر جمع‌آوری و برای پرورش به آزمایشگاه منتقل شدند. در این پژوهش از لاروهای سنین سوم و چهارم استفاده شد. لاروها در ظروف پلاستیکی درب‌دار با تهویه مناسب و با تغذیه از برگ‌های تازه بلوط، تحت شرایط دمایی 25 ± 2 درجه سلسیوس و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی پرورش داده شدند. برگ‌ها روزانه تعویض و سنین لاروی با اندازه‌گیری عرض کپسول سر توسط کولیس تعیین شدند.

تهیه و کشت ایزوله قارچی

ایزوله ۲۲۹ قارچ *Lecanicillium lecanii* از بخش حشره‌شناسی دانشگاه تهران تهیه و کشت داده شد. بدین منظور، ایزوله روی محیط سابرود دکستروز آگار در پتری‌دیش‌های هشت سانتی‌متری کشت و به مدت ۱۵ روز در انکوباتور با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس و شرایط تاریکی قرار گرفت تا کنیدی‌زایی کامل انجام شود. کنیدیوم‌ها از سطح محیط کشت جمع‌آوری و در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر استریل حاوی ۰/۰۲ درصد توئین ۸۰ سوسپانسیون شدند. پس از همگن‌سازی، سوسپانسیون از چند لایه پارچه ململ عبور داده شد تا میسلیوم‌ها حذف شوند. تراکم کنیدی با هموسایتومتر شمارش و غلظت‌های مورد نیاز تهیه شد (Mousavi et al., 2023).

سیستم ایمنی و افزایش استرس در حشرات شده و در نتیجه کارایی قارچ‌های بیمارگر را تقویت کنند (Quintela et al., 2013; Rice and Furlong, 2023).

حشره‌کش گیاهی بینو ۲ بر پایه عصاره ریشه گیاه تلخه‌بیان (*Sophora flavescens* Alt.) تولید شده است و به واسطه وجود ترکیبات آلکالوئیدی مانند ماترین و سوفوکارپین دارای اثرهای حشره‌کشی و ضدتغذیه‌ای است (Tian & Zhang, 2023). این ترکیب علاوه بر اثر مستقیم بر آفات، با تحریک فیتوالکسین‌ها و تأمین اسیدهای آمینه ضروری به بهبود رشد گیاه و افزایش مقاومت آن در برابر آفات مکنده کمک می‌کند (Salvanagh et al., 2024). همچنین اثرهای ضدتغذیه‌ای ماترین و اکسی‌ماترین بر موریه‌ها و دیگر ترکیبات آلکالوئیدی این گیاه مانند سوفورانول ایزومترین گزارش شده است (Mao and Henderson, 2007). حشره‌کشی عصاره تلخه‌بیان بر طیف وسیعی از آفات مکنده مانند زنجره‌ها، شته‌ها، کنه‌ها و برخی بالپولک‌داران و آفات انباری ثابت شده است (Liu et al., 2007; Marcic et al., 2012).

ارزیابی سازگاری حشره‌کش‌ها و قارچ‌های بیمارگر، گامی ضروری در مدیریت تلفیقی آفات است؛ زیرا ترکیب آنها می‌تواند موجب افزایش اثربخشی و انتخاب مناسب‌ترین برنامه کنترلی شود. ارزیابی آزمایشگاهی سازگاری، معیاری قابل اعتماد برای پیش‌بینی موفقیت کاربرد توأم در شرایط مزرعه‌ای است (Neves et al., 2001; Pelizza et al., 2018;) (Dearlove et al., 2024). اندازه‌گیری رشد کلنی و درصد جوانه‌زنی کنیدی از شاخص‌های مهم برای تعیین مقدار سازگاری قارچ‌های بیمارگر با حشره‌کش‌ها است (Pachamuthu et al., 1999). بهبود کارایی ایزوله‌های قارچی در ترکیب با حشره‌کش‌ها نیز پیش‌تر گزارش شده است (Sahayaraj et al., 2011).

زیست‌سنجی قارچ

هر غلظت ۶۰ لارو (سه تکرار و در هر تکرار ۲۰ لارو) استفاده شد. نمونه‌ها به اتاق رشد با شرایط مشابه انتقال داده شدند. مرگ و میر پس از ۲۴ و ۴۸ ساعت بر اساس عدم واکنش به سوزن داغ ثبت شد (Robertson et al., 2007).

ارزیابی سازگاری بینو ۲ با قارچ *L. lecanii*

برای بررسی سازگاری، غلظت‌های مختلف بینو ۲ شامل دوز توصیه‌شده، دو برابر و نصف آن به محیط SDA (۳۲/۵ گرم در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) افزوده شد (Botelho & Monteiro, 2011). پس از اتوکلاو، محیط در دمای ۴۵ درجه سلسیوس با سم مخلوط و در پتری‌دیش ریخته شد. سپس سوسپانسیون کنیدی با غلظت 10^4 کنیدیوم/میلی‌لیتر (در آب مقطر + ۰/۰۲ درصد توئین ۸۰) مطابق (Duarte et al., 2016) در سه نقطه از هر پتری‌دیش قرار داده و با لامل پوشانده شد. پتری‌دیش شاهد فاقد سم بود. پس از ۲۴ ساعت نگهداری در دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس و تاریکی، کنیدیوم‌های زیر لامل شمارش شدند. کنیدیومی جوانه‌زده محسوب می‌شد که طول لوله تندش آن حداقل نصف طول کنیدیوم باشد (Asi et al., 2010). هر غلظت با سه تکرار بررسی شد.

اثر کشندگی ترکیب بینو ۲ و قارچ *L. lecanii*

تیمارهای شامل LC₅₀ بینو ۲، LC₅₀ قارچ، ترکیب LC₂₅ بینو ۲ + LC₂₅ قارچ و شاهد روی لاروهای سن سوم اعمال شد. زیست‌سنجی با روش غوطه‌ورسازی برگ انجام گرفت و مرگ‌ومیر در روزهای پنج و ۱۰ ثبت شد.

تأثیر غلظت زیرکشنده بر فراسنجه‌های جدول زندگی

برای بررسی اثرهای زیرکشنده، غلظت‌های LC₂₅ بینو ۲ و LC₂₅ قارچ و اختلاط آنها (LC_{12.5}+LC_{12.5}) انتخاب شد. لاروهای سن سوم در این غلظت‌ها غوطه‌ور و سپس به پتری‌دیش‌های هشت سانتی‌متری حاوی برگ

پس از تعیین غلظت‌های مناسب (10^4 تا 10^8 کنیدی/میلی‌لیتر)، زیست‌سنجی با روش غوطه‌ورسازی برگ‌های *Q. infectoria* در سوسپانسیون کنیدیومی انجام گرفت. دیسک‌های برگ به مدت ۱۰ ثانیه در ۱۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون قرار داده شده و پس از خشک شدن در پتری‌دیش‌های هشت سانتی‌متری منتقل شدند. تعداد ۲۰ لارو سن سوم و چهارم روی هر دیسک برگ قرار داده شد. در تیمار شاهد از آب مقطر استریل حاوی ۰/۰۲ درصد توئین ۸۰ استفاده شد. هر تیمار شامل سه تکرار و در هر تکرار ۲۰ لارو بود. پتری‌ها در 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی نگهداری شدند. پس از نه روز مرگ و میر ثبت و به‌منظور تأیید، لاروهای مرده در پتری‌دیش حاوی کاغذ صافی استریل مرطوب قرار داده شدند. در صورت رشد قارچ روی بدن لارو، مرگ ناشی از *L. lecanii* تأیید شد (Akbari et al., 2014).

تهیه و زیست‌سنجی حشره‌کش گیاهی بینو ۲

حشره‌کش گیاهی بینو ۲، از عصاره گیاه تلخه‌بیان (S. *flavescens*) به‌صورت سوسپانسیون، از شرکت رها اندیش کاوان و شرکت سازنده MR Innovation کره جنوبی تهیه شد. غلظت‌های مورد نیاز بر اساس دوز توصیه‌شده برچسب تعیین شدند. زیست‌سنجی با استفاده از لاروهای سن سوم و چهارم انجام گرفت. پس از آزمون‌های مقدماتی، غلظت‌هایی که موجب ۲۰-۸۰ درصد مرگ و میر شدند انتخاب و سه غلظت دیگر به‌روش لگاریتمی محاسبه شد. در نهایت پنج غلظت برای تعیین LC₅₀ به‌کار گرفته شد. برگ‌های بلوط به مدت ۱۰ ثانیه در غلظت‌های مورد نظر حاوی ۰/۰۲ درصد توئین ۸۰ غوطه‌ور شده و پس از نیم ساعت خشک شدن، در پتری‌دیش‌ها قرار گرفتند. در

و خطای استاندارد با روش بوت استرپ با ۱۰۰۰۰۰ تکرار تخمین زده شد. نمودارها با نرم افزار SigmaPlot 12.3 ترسیم شدند (SigmaPlot, 2012).

نتایج

تعیین کشندگی

تجزیه پروبیت حاصل از تاثیر غلظت های مختلف سم بینو ۲ بعد از ۲۴ و ۴۸ ساعت و قارچ *L. lecanii* پس از نه روز روی لاروهای سن سوم و چهارم پروانه جوانه خوار بلوط (*T. viridana*) در جدول های ۱ و ۲ ارائه شده است. با توجه به LC_{50} حاصل، ایزوله قارچی مورد استفاده روی لاروهای سن سوم و چهارم پروانه جوانه خوار بلوط (*T. viridana*) در غلظت های کنیدیایی استفاده شده بیماری زا بوده و نرخ مرگ و میر لاروها به غلظت کنیدیوم وابسته بود. مقادیر LC_{50} معادل $۷/۷۸ \times 10^5$ و $۲/۰۱ \times 10^5$ کنیدی بر میلی لیتر به ترتیب روی لاروهای سن سوم و چهارم محاسبه شد. همچنین LC_{50} حشره کش گیاهی بینو ۲ روی لاروهای سن سوم و چهارم این آفت به ترتیب با $۳۳۲/۰۹$ و $۳۶۸/۳۶$ میکرو لیتر بر لیتر پس از ۲۴ ساعت و $۲۷۵/۵۰$ و $۳۰۸/۰۹$ میکرو لیتر بر لیتر پس از ۴۸ ساعت به دست آمد (جدول ۱ و ۲).

بلوط منتقل شدند. پس از ۲۴ ساعت، لاروهای زنده روی برگ تازه قرار داده شدند و برگ ها روزانه تعویض شدند. فراسنجه های زیستی شامل نرخ بقا، تعداد لارو تبدیل شده به شفیره، طول دوره های رشدی، طول عمر حشره کامل و تعداد تخم های گذاشته شده تا مرگ ثبت شد.

آنالیز آماری

داده های مربوط به مرگ و میر با فرمول اصلاحی آبوت تصحیح شد (Abbott, 1925). تعیین LC_{50} با تحلیل پروبیت در SPSS نسخه ۲۲ انجام شد (SPSS, 2011). درصد بازدارندگی جوانه زنی کنیدی ها با فرمول (Hokkanen & Kotiluoto 1992) محاسبه شد:

$$I(\%) = \frac{C - P}{C} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

رابطه (۱) که در آن C درصد جوانه زنی در شاهد و P درصد جوانه زنی در محیط حاوی سم است (Bekker et al., 2006).

مقایسه میانگین های درصد بازدارندگی و داده های مرگ و میر اختلاط با آزمون ANOVA یک طرفه و مقایسه توکی ($P = 0.05$) انجام شد. فراسنجه های جدول زندگی بر اساس روش دو جنسی سن - مرحله رشدی در نرم افزار TwoSex-MsChart محاسبه شد (Chi & Liu, 1985; Chi, 1988; Chi, 2013). میانگین

جدول ۱- تجزیه پروبیت اثر کشندگی حشره کش بینو ۲ و قارچ *Lecanicillium lecanii* 229 روی لاروهای سن سوم پروانه جوانه خوار بلوط بعد از ۲۴ و ۴۸ ساعت در شرایط آزمایشگاهی

Table 1- Probit analysis of Bino2[®] insecticide and *Lecanicillium lecanii* 229 fungus on third instar larvae of *Tortix viridana* after 24 and 48 hours under laboratory conditions

غلظت کشته شده ۵۰ درصد LC_{50} (95% CLs)	غلظت کشته شده ۲۵ درصد LC_{25} (95% CLs)**	کای اسکوتر (درجه آزادی) X^2 (df)	عرض از مبدأ Intercept	شیب خط $\pm$ انحراف معیار Slope $\pm$ SE	زمان Time	غلظت Con.*	تیمار Treatment
332.09 (305.39-364.04)	257.88 (221.82-282.97)	1.04 (3)	-12.81	6.14 ± 1.06	24h	220.00 263.03 316.23 380.19 457.09	بینو ۲ Bino2
275.50 (257.55-292.31)	234.63 (210.72-251.82)	0.84 (3)	-20.12	9.67 ± 1.41	48h	Control	

* غلظت (بینو ۲: پی پی ام و *Lecanicillium lecanii*: کنیدی بر میلی لیتر)، ** محدوده اطمینان

* Concentration (Bino2: ppm and *Lecanicillium lecanii*: conidia/mL), ** Confidence limits

ادامه جدول ۱.

Continued Table 1.

تیمار	غلظت	زمان	شیب خط $\pm$	عرض از	کای اسکوتر	غلظت کشته شده ۲۵ درصد	غلظت کشته شده ۵۰ درصد
Treatment	Con.*	Time	Slope $\pm$ SE	Intercept	X ² (df)	LC ₂₅ (95% CLs)**	LC ₅₀ (95% CLs)
<i>Lecanicillium lecanii</i> 229	10 ⁴ 10 ⁵ 10 ⁶ 10 ⁷ 10 ⁸	9d	0.44 $\pm$ 0.09	-1.7	7.60 (3)	2.98 $\times$ 10 ³ (8.8 $\times$ 10-1.69 $\times$ 10 ⁴)	2.01 $\times$ 10 ⁵ (1.81 $\times$ 10 ⁴ -3.21 $\times$ 10 ⁵)
Control							

* غلظت (بینو ۲: پی پی ام و *Lecanicillium lecanii*: کنیدی بر میلی لیتر)، ** محدوده اطمینان* Concentration (Bino2: ppm and *Lecanicillium lecanii*: conidia/mL), ** Confidence limits

جدول ۲- تجزیه پروبیت اثر کشندگی حشره کش بینو ۲ و قارچ *Lecanicillium lecanii* 229 روی لاروهای سن چهارم پروانه جوانه خوار بلوط بعد از ۲۴ و ۴۸ ساعت در شرایط آزمایشگاهی

Table 2- Probit analysis of Bino2[®] insecticide and *Lecanicillium lecanii* 229 fungus on fourth instar larvae of *Tortix viridana* after 24 and 48 hours under laboratory conditions

تیمار	غلظت	زمان	شیب خط $\pm$	عرض از	کای اسکوتر	غلظت کشته شده ۲۵ درصد	غلظت کشته شده ۵۰ درصد
Treatment	Con.*	Time	Slope $\pm$ SE	Intercept	X ² (df)	LC ₂₅ (95% CLs)**	LC ₅₀ (95% CLs)
بینو ۲	220.00 263.03 316.23 380.19 457.09 Control	24h	6.73 $\pm$ 1.14	-14.38	1.20 (3)	292.40 (260.94-316.72)	332.09 (305.39-364.04)
Bino2		48h	8.47 $\pm$ 1.21	-18.06	0.13 (3)	256.48 (230.86-275.67)	308.09 (288.08-328.84)
<i>Lecanicillium lecanii</i> 229	10 ⁴ 10 ⁵ 10 ⁶ 10 ⁷ 10 ⁸	9d	0.44 $\pm$ 0.08	-2.07	3.27 (3)	2.98 $\times$ 10 ³ (8.8 $\times$ 10-1.69 $\times$ 10 ⁴)	7.78 $\times$ 10 ⁵ (2.27 $\times$ 10 ⁵ -2.58 $\times$ 10 ⁶)
Control							

* غلظت (بینو ۲: پی پی ام و *Lecanicillium lecanii*: کنیدی بر میلی لیتر)، ** محدوده اطمینان* Concentration (Bino2: ppm and *Lecanicillium lecanii*: conidia/mL), ** Confidence limits

سازگاری سم گیاهی بینو ۲ با ایزوله قارچی
در نتایج تجزیه واریانس حاصل از تاثیر غلظت های سم
گیاهی بینو ۲ روی جوانه زنی قارچ *L. lecanii* تفاوت
معناداری مشاهده شد ($F(3, 11) = 8.79, P = 0.001$).

در غلظت نصف دوز توصیه شده مقدار بازدارندگی
بسیار پایین بوده است که نشان دهنده سازگاری این سم
با قارچ مزبور در غلظت های پایین است (جدول ۳).

جدول ۳- تاثیر حشره کش بینو ۲ روی نرخ جوانه زنی قارچ *Lecanicillium lecanii* 229Table 3. Effects of Bino2 insecticide on the germination rate of *Lecanicillium lecanii* 229

میانگین $\pm$ انحراف معیار	تیمار
Mean $\pm$ SE	Treatment
20.95 $\pm$ 1.20 ^b	1.5 L/1000 L/water
0.00 $\pm$ 00.00 ^c	3 L/1000 L/water
92.29 $\pm$ 1.10 ^a	0.75 L/1000 L/water
100 $\pm$ 00.00 ^a	Control

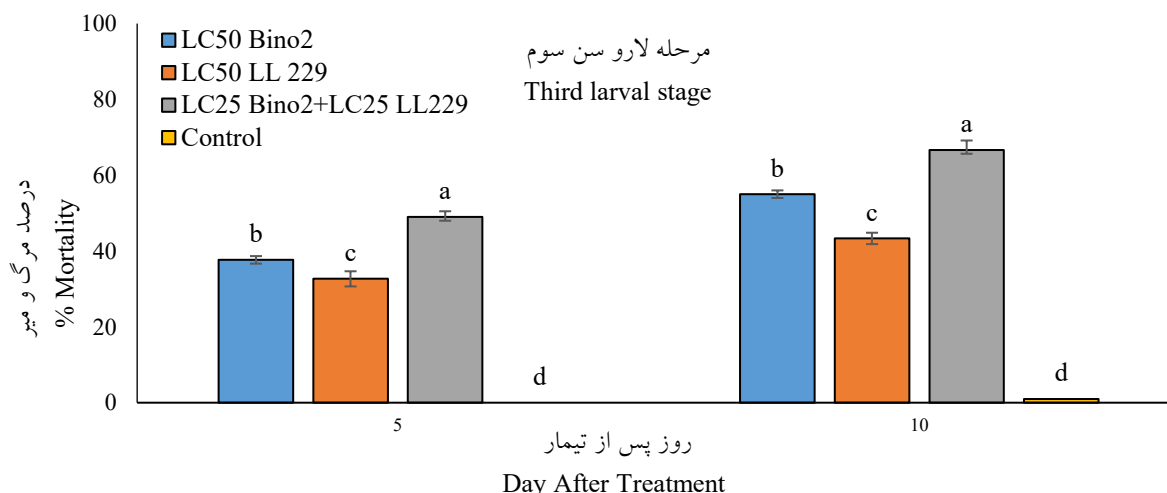
نرخ جوانه زنی قارچ بیمارگر حشرات
Germination rate of EPF*

میانگین هایی که با حروف کوچک متفاوت مشخص شده اند، نشان دهنده تفاوت های معنی دار بین تیمارها هستند. * قارچ بیمارگر حشرات

Means followed by different lowercase letters indicate significant differences among treatments. * Entomopathogenic fungus

لارو سن سوم بعد از پنج و ۱۰ روز تفاوت معناداری مشاهده شد ($F(3, 11) = 388/32, P = 0/001$)
 ($F(3, 11) = 220/22, P = 0/001$) (شکل ۱).

تأثیر اختلاط سم بینو ۲ و قارچ *L. lecanii* روی لاروهای سن سوم پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*)
 نتایج تجزیه واریانس حاصل از تأثیر تیمارهای LC₅₀ بینو ۲، LC₅₀ قارچ *L. lecanii*، اختلاط LC₂₅ بینو ۲ با LC₂₅ قارچ *L. lecanii* و تیمار شاهد روی مرگ و میر



شکل ۱- مرگ و میر لاروهای سن سوم پروانه جوانه‌خوار بلوط تحت تأثیر LC₅₀ بینو ۲، LC₅₀ قارچ *Lecanicillium lecanii* 229، LC₂₅ Bino2+LC₂₅ LL 229 و کنترل. میانگین‌های دارای حروف کوچک متفاوت، تفاوت معنی‌داری را بین تیمارها نشان می‌دهند. (آزمون توکی).

Figure 1. Mortality of third instar larvae of *Tortix viridana* infected with LC₅₀ Bino2, LC₅₀ *Lecanicillium lecanii* 229, LC₂₅ Bino2+LC₂₅ LL 229 and Control. The mean followed by different lower-case letters indicate significant differences between treatments (Tukey test).

و طول دوره‌های قبل تخم‌ریزی و دوره تخم‌ریزی را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند. تمامی تیمارها سبب افزایش دوره‌های قبل تخم‌ریزی شدند. همچنین طول دوره تخم‌ریزی پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) در اثر استفاده از حشره‌کش بینو ۲ به تنهایی و اختلاط حشره‌کش با قارچ کاهش یافت و برعکس تحت تأثیر تیمار قارچ افزایش نشان داد اما این افزایش معنی‌دار نبود (جدول ۴). استفاده از تیمار قارچ و حشره‌کش به تنهایی و اختلاط آنها باهم فراسنجه‌های رشد جمعیتی پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) را تحت تأثیر قرار دادند. بدین ترتیب که اگرچه ایزوله

تأثیر غلظت زیرکشنده قارچ *L. lecanii* و سم بینو ۲ و اختلاط آنها بر فراسنجه‌های جدول زندگی و رشد جمعیتی پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) نتایج استفاده از قارچ *L. lecanii* و حشره‌کش بینو ۲ به تنهایی و اختلاط آنها سبب افزایش طول دوره مراحل نابالغ نسبت به شاهد شدند. اما قارچ *L. lecanii* موجب افزایش طول عمر حشره کامل و حشره‌کش بینو ۲ و اختلاط قارچ و حشره‌کش موجب کاهش طول عمر حشره کامل شد. طول دوره زندگی پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت. تمامی تیمارها تأثیر منفی بر باروری حشره کامل داشته

قارچی سبب کاهش فراسنجه‌های رشد جمعیتی پروانه با قارچ سبب کاهش چشمگیر این فراسنجه‌ها شد. در جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) نسبت به شاهد شد مقابل تیمارها موجب افزایش مدت زمان یک نسل (*T*) ولی استفاده حشره کش به تنهایی و همچنین در اختلاط شده است (جدول ۵).

جدول ۴- فراسنجه‌های جدول زندگی (Mean±SE) پروانه جوانه‌خوار بلوط تحت تاثیر قارچ *Lecanicillium lecanii* 229، حشره کش بینو ۲ و اختلاط آنها

Table 4. Life table parameters (Mean±SE) of *T. viridana* treated with *Lecanicillium lecanii* 229, Bino2 and their mix

تیمار Treatments				فراسنجه‌های جدول زندگی*
<i>Lecanicillium lecanii</i> 229+Bino2	<i>Lecanicillium lecanii</i> 229	بینو ۲ Bino 2	شاهد Control	Life history parameters
7.75±0.16 ^{ab}	7.95±0.12 ^a	7.60±0.09 ^b	6.58±0.11 ^c	L3
11.00±0.32 ^a	11.50±0.19 ^a	11.38±0.37 ^a	10.15±0.13 ^b	L4
11.41±0.54 ^{ab}	11.22±0.32 ^b	12.38±0.36 ^a	10.75±0.13 ^b	L5
11.65±0.21 ^a	11.55±0.19 ^a	11.62±0.17 ^a	9.15±0.16 ^b	Pupa
12.62±0.34 ^a	12.54±0.21 ^a	13.26±0.35 ^a	7.52±0.17 ^b	Preadult duration
19.04±0.53 ^d	31.16±0.87 ^a	21.76±0.39 ^c	25.98±0.17 ^b	Adult
47.62±3.37 ^b	63.15±3.35 ^a	53.98±3.23 ^b	62.60±0.34 ^a	Total longevity
2.33±0.13 ^b	2.83±0.12 ^a	2.46±0.14 ^b	1.91±0.06 ^c	APOP
45.60±0.67 ^a	46.72±0.65 ^a	47.00±0.91 ^a	38.74±0.58 ^b	TPOP
14.20±0.58 ^c	22.67±1.15 ^a	16.00±0.42 ^b	21.65±0.28 ^a	Oviposition period
40.73±1.56 ^d	58.89±2.82 ^b	48.77±1.34 ^c	73.17±1.01 ^a	Fecundity

حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارها هستند.

* L3: مدت زمان سپری‌شده در سن لاروی سوم. L4: مدت زمان سپری‌شده در سن لاروی چهارم. L5: مدت زمان سپری‌شده در سن لاروی پنجم. Pupa: طول دوره شفیرگی از آغاز تا ظهور حشره بالغ. Preadult duration: مدت زمان رشد از تولد (یا تفریخ تخم) تا ظهور حشره بالغ. Adult: طول عمر حشره بالغ از زمان ظهور تا مرگ. Total longevity: طول عمر کل حشره از تولد تا مرگ. APOP: فاصله زمانی بین ظهور حشره بالغ ماده و تخم‌گذاری نخست. TPOP: فاصله زمانی از تولد تا تخم‌گذاری نخست. Oviposition period: مدت زمان دوره فعال تخم‌گذاری حشره ماده. Fecundity: تعداد کل تخم‌های تولیدشده توسط هر حشره ماده در طول دوره تخم‌گذاری. خطاهای معیار با استفاده از روش بوت‌استرپ و ۱۰۰۰۰۰ تکرار برآورد شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون بوت‌استرپ جفت‌شده ($P < 0.05$) انجام شد. میانگین‌هایی که دارای حروف کوچک متفاوت هستند، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها هستند.

Different lowercase letters indicate significant differences among treatments.

*L3: Duration of the third larval instar. L4: Duration of the fourth larval instar. L5: Duration of the fifth larval instar. Pupa: Duration of the pupal stage from its onset until adult emergence. Preadult duration: Developmental time from birth (or egg hatching) to adult emergence. Adult: Longevity of the adult insect from emergence until death. Total longevity: Total lifespan of the insect from birth to death. APOP: Adult pre-oviposition period, defined as the time interval between female adult emergence and the oviposition of the first egg. TPOP: Total pre-oviposition period, defined as the time interval from birth to the oviposition of the first egg. Oviposition period: Duration of the active egg-laying period of the female insect. Fecundity: Total number of eggs produced by each female during the oviposition period. Standard errors were estimated using the bootstrap method with 100,000 resamplings. Mean comparisons were performed using the paired bootstrap test ($P < 0.05$). Means followed by different lowercase letters indicate significant differences among treatments.

جدول ۵- فراسنجه‌های رشد جمعیتی (Mean±SE) پروانه جوانه‌خوار بلوط تحت تاثیر قارچ *Lecanicillium lecanii* 229، Bino2 و اختلاط آنها

Table 5. Population dynamics parameters (Mean±SE) of *T. viridana* treated with *Lecanicillium lecanii* 229, Bino2 and their mix

تیمار Treatments				فراسنجه‌های رشد جمعیتی* Population growth parameters
<i>Lecanicillium lecanii</i> 229+Bino2	<i>Lecanicillium lecanii</i> 229	بینو ۲ Bino 2	شاهد Control	r
0.0521±0.004 ^b	0.0573±0.003 ^b	0.0508±0.005 ^b	0.0778±0.003 ^a	λ
1.0535±0.004 ^b	1.0590±0.004 ^b	1.0521±0.005 ^b	1.0809±0.003 ^a	R ₀
15.28±3.17 ^b	26.50±4.79 ^b	15.85±3.63 ^b	42.08±5.74 ^a	T
52.30±0.65 ^b	57.20±0.67 ^a	54.40±0.89 ^b	48.08±0.51 ^c	GRR
24.50±4.18 ^b	35.85±5.71 ^{ab}	22.42±4.74 ^b	42.78±5.81 ^a	

حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارها هستند.

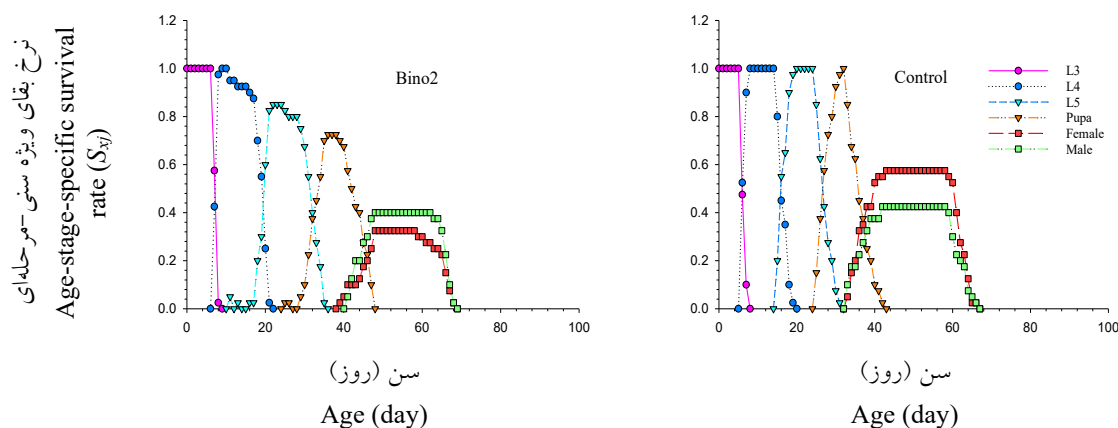
T: نرخ ذاتی افزایش جمعیت. λ : نرخ متناهی افزایش جمعیت. R₀: نرخ خالص تولیدمثل. T: میانگین زمان نسل. GRR: نرخ ناخالص تولیدمثل.

Different lowercase letters indicate significant differences among treatments.

r: Intrinsic rate of increase. λ : Finite rate of increase. R₀: Net reproductive rate. T: Mean generation time. GRR: Gross reproductive rate.

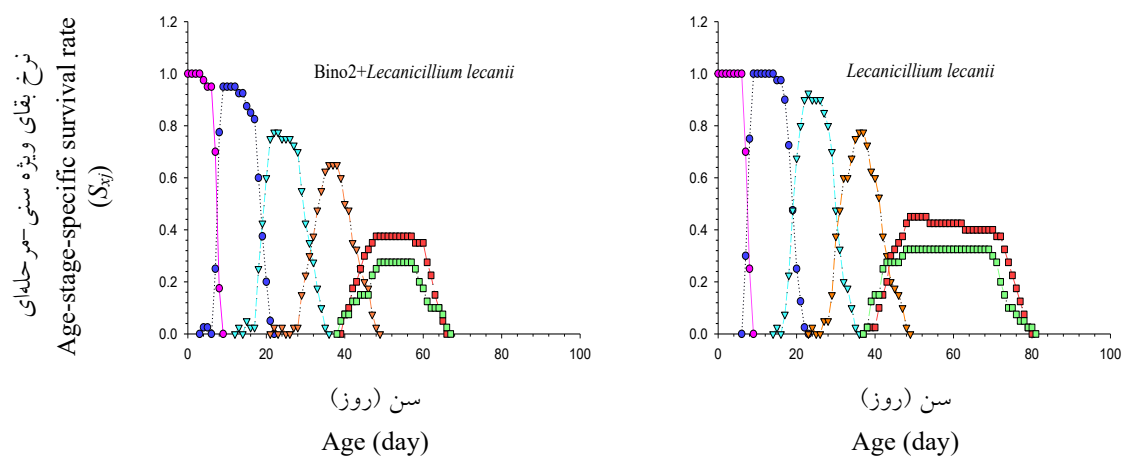
در همه تیمارها است. مقدار تولیدمثل (v_{xj}) در همه تیمارها نسبت به تیمار شاهد که برابر با ۳۷/۱۳ است کاهش نشان داد و بیشترین کاهش مربوط به تیمار اختلاط معادل ۲۸/۲۳ مشاهده شد (شکل ۴). علاوه بر این، نرخ بقای ویژه سنی (l_x)، باروری (m_x) و باروری خالص ($l_x m_x$) در همه تیمارها در مقایسه با گروه کنترل، شروع تأخیری تخم‌گذاری را نشان داد و باروری ویژه سنی در همه تیمارها در مقایسه با گروه کنترل کاهش یافت (شکل ۵).

نتایج نرخ بقای ویژه سنی-مرحله‌ای (s_{xj}) پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) که روی لارو سن سوم تیمار شده بود، نشان داد که تیمارها سبب کاهش نرخ بقا از لارو سن سوم تا مرحله بلوغ می‌شوند (شکل ۲). علاوه بر این، تیمارها به جز تیمار قارچ امید به زندگی (e_{xj}) همه مراحل را کاهش دادند (شکل ۳). پیک اصلی در فراسنجه‌های تولیدمثلی ماده در تیمارهای شاهد، بینو ۲، قارچ و اختلاط آنها به ترتیب در روزهای ۴۲، ۴۴، ۴۹ و ۴۵ بوده است که نشان‌دهنده بالا رفتن زمان پیک



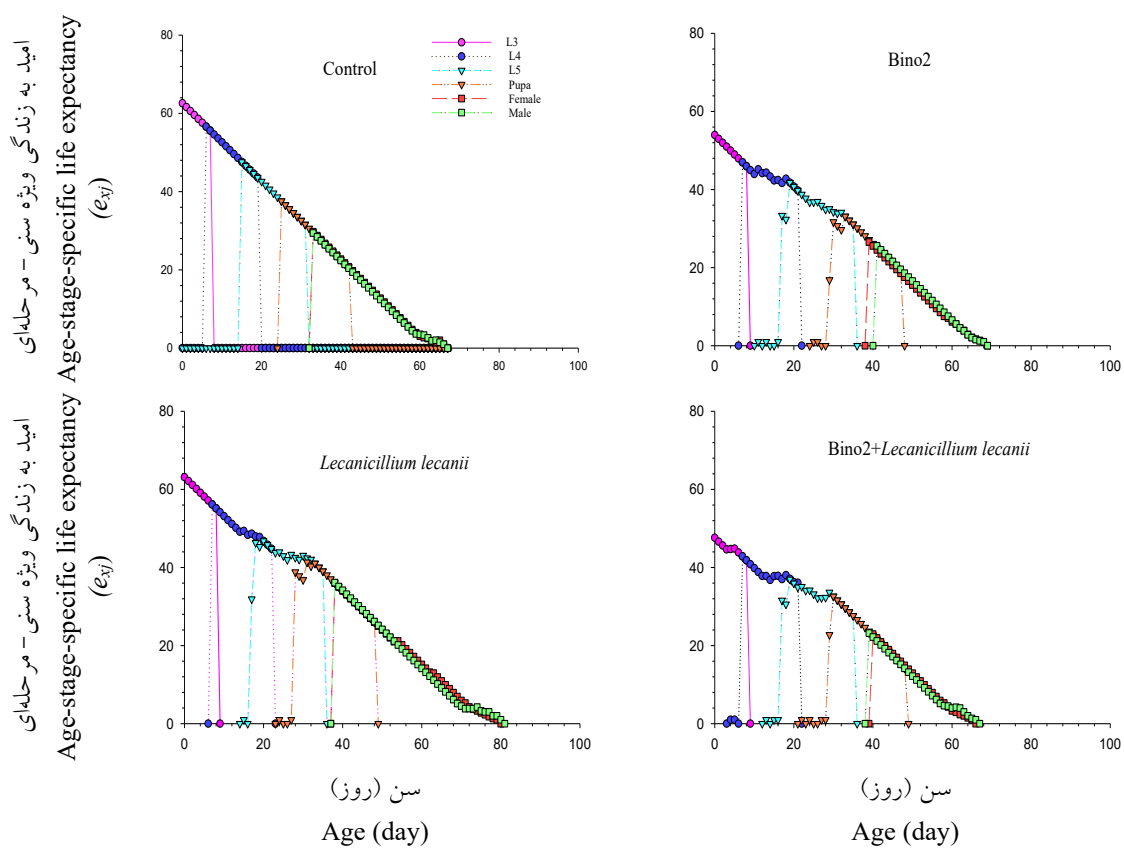
شکل ۲- نرخ بقای ویژه سنی-مرحله‌ای (s_{xj}) پروانه جوانه‌خوار بلوط در معرض قرار گرفته با تیمارهای مختلف

Figure 2. Age-stage-specific survival rate (s_{xj}) of *Tortrix viridana* exposed to different treatments



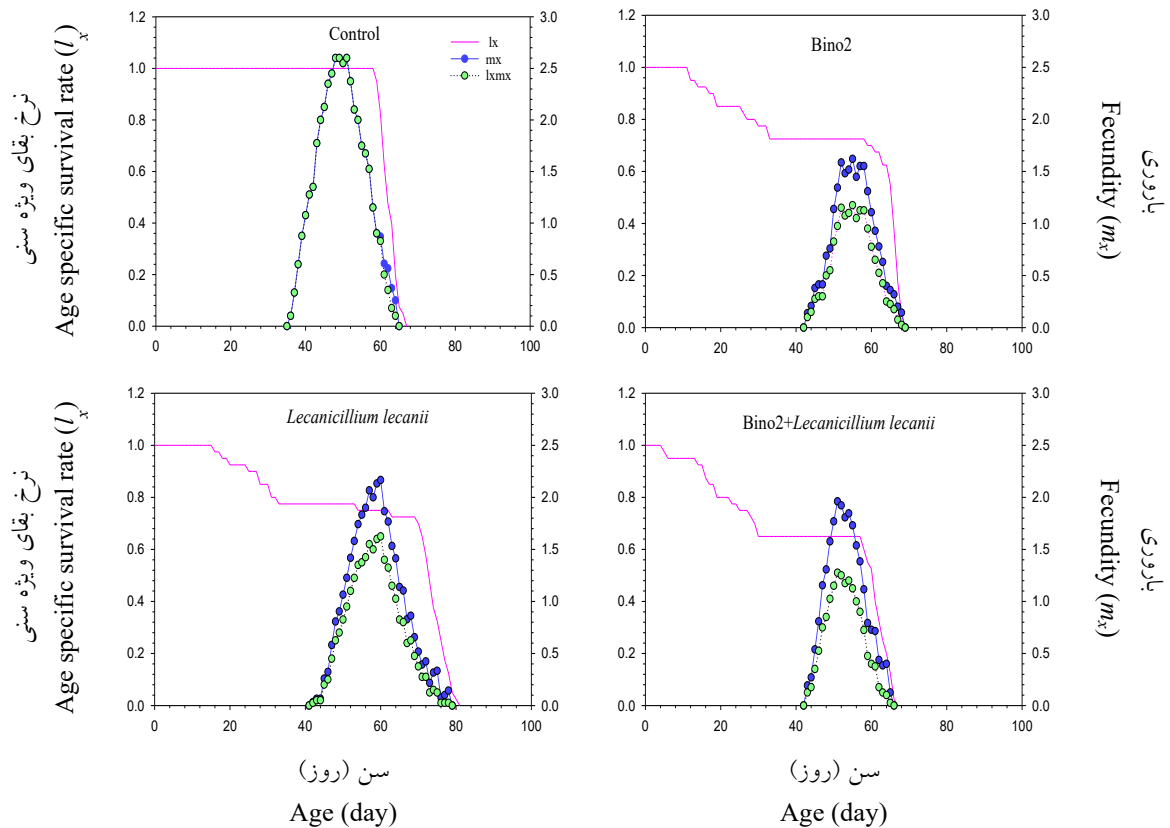
ادامه شکل ۲.

Continued Figure 2.



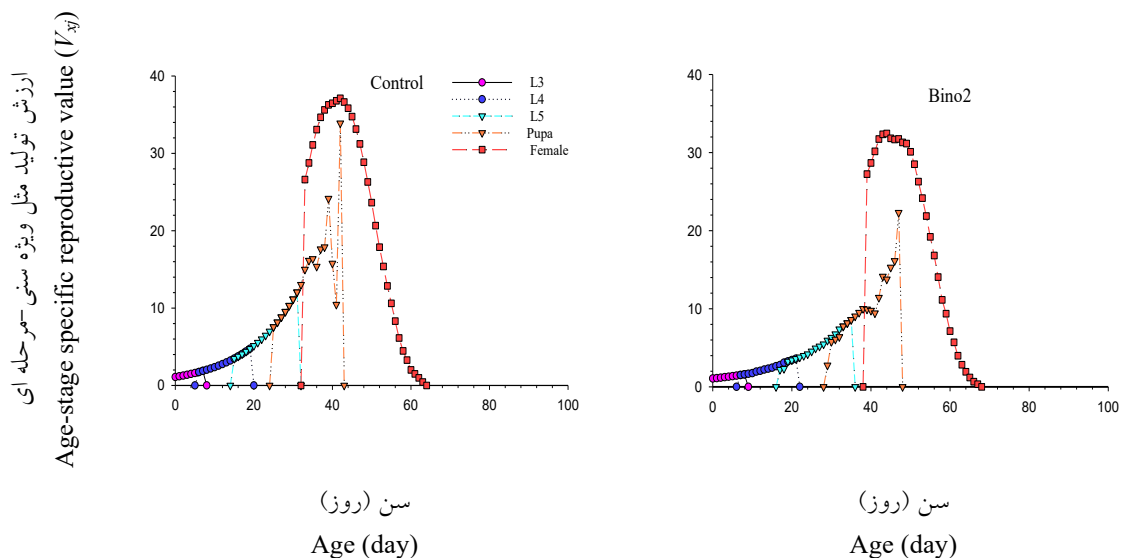
شکل ۳- امید به زندگی ویژه سنی- مرحله ای (exj) پروانه جوانه خوار بلوط در معرض قرار گرفته با تیمارهای مختلف

Figure 3. Age-stage specific life expectancy (exj) of *Tortrix viridana* exposed to different treatments



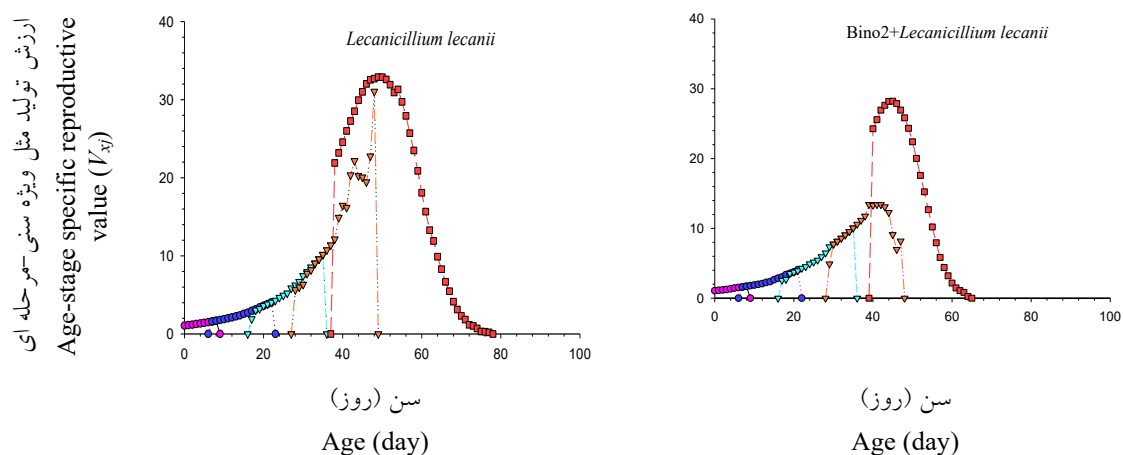
شکل ۴- نرخ بقای ویژه سنی (l_x)، باروری (m_x) و باروری خالص ($l_x m_x$) پروانه جوانه‌خوار بلوط *Tortrix viridana* در معرض قرارگرفته با تیمارهای مختلف

Figure 4. Age specific survival rate (l_x), fecundity (m_x), net maternity ($l_x m_x$) of *Tortrix viridana* exposed to different treatments



شکل ۵- ارزش تولیدمثل ویژه سنی-مرحله ای (v_{xj}) پروانه جوانه‌خوار بلوط، *Tortrix viridana* در معرض قرارگرفته با تیمارهای مختلف

Figure 5. Age-stage specific reproductive value (v_{xj}) of *Tortrix viridana* exposed to different treatments



ادامه شکل ۵.

Continued Figure 5.

حشره‌کش‌ها پرداخته‌اند (Rashki et al., 2015; Dearlove et al., 2024). در این پژوهش، اثرهای غلظت زیرکشنده حشره‌کش گیاهی بینو ۲ در اختلاط با ایزوله *L. lecanii* بر فراسنجه‌های جدول زندگی پروانه جواهرخوار بلوط (*T. viridana*) برای نخستین بار ارزیابی شد. ترکیب قارچ‌های بیماری‌زا با حشره‌کش‌های گیاهی می‌تواند یک استراتژی مدیریت آفات پایدار و کم‌هزینه ایجاد کند (Sahayaraj et al., 2011).

در این بررسی، علاوه بر قارچ بیماری‌زا، از حشره‌کش گیاهی بینو ۲ حاصل از عصاره ریشه تلخه‌بیان استفاده شد که تا پیش از این گزارش علمی در مورد سمیت آن روی *T. viridana* منتشر نشده بود. نتایج نشان داد که این حشره‌کش اثرهای کشندگی قابل‌توجهی علیه آفت داشته و در ترکیب با قارچ، کارایی کنترل به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این موضوع نشان‌دهنده سازگاری و اثر سینرژیستی بینو ۲ با قارچ *L. lecanii* است (شکل ۱). جواهرزنی‌کنیدایی یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی سازگاری قارچ با حشره‌کش‌ها محسوب می‌شود (Oliveira et al., 2003). نتایج نشان داد در غلظت نصف دوز

بحث

تأثیر قارچ بیماری‌زای حشرات روی پروانه جواهرخوار بلوط (*T. viridana*) برای نخستین بار در این پژوهش بررسی شد. نتایج نشان داد ایزوله *L. lecanii* کارایی بالایی علیه آفت داشته و می‌تواند به‌عنوان یک عامل امیدبخش در برنامه‌های کنترل بیولوژیک آفت مذکور مورد استفاده قرار گیرد. اثربخشی قارچ‌های بیماری‌زا برای کنترل دیگر گونه‌های Lepidoptera پیش‌تر نیز گزارش شده است (Asi et al., 2013; Cruz-Avalos et al., 2019; Idrees et al., 2021; Idrees et al., 2023). در این پژوهش، مرگ و میر قابل‌توجهی در غلظت‌های پایین‌کنیدایی به‌دست آمد که از منظر اقتصادی نیز حائز اهمیت است. تفاوت جدایه‌های قارچی و همچنین گونه‌های حشرات آزمون‌شده می‌تواند عامل تفاوت‌های مشاهده‌شده بین یافته‌های حاضر با پژوهش‌های پیشین باشد.

اگرچه بیشتر بررسی‌ها، اثرهای زیرکشنندگی قارچ‌های بیماری‌زا را به‌صورت مجزا بررسی کرده‌اند (Seyed-Talebi et al., 2012; Barati et al., 2013; Rashki and Shirvani, 2013; Zhang et al., 2015; Jarrahi and Safavi, 2016; Ahmed et al., 2022)، اما بررسی‌های اندکی به تأثیر ترکیب قارچ همراه با

همچنین بررسی‌ها نشان داده‌اند که ترکیبات گیاهی مانند آزادیراختین نیز موجب کاهش باروری و زنده‌مانی حشرات کامل می‌شوند (Martins et al., 2023). در پژوهشی مشابه Akbari et al. (2025) اثرهای زیرکشدگی و فراسنجه‌های زیستی حشره‌کش‌های گیاهی ماترین و نیمارین را روی پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که غلظت‌های زیرکشنده این تیمارها می‌توانند در باروری، طول عمر، نرخ رشد جمعیت و دیگر شاخص‌های زیستی آفت کاهش معنی‌داری نشان دهند. به‌طورکلی، بر اساس نتایج این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که قارچ *L. lecanii* و حشره‌کش گیاهی بینو، چه به‌صورت جداگانه و چه در ترکیب، از سمیت مناسب و اثرهای منفی چشمگیر بر فراسنجه‌های جدول زندگی و رشد جمعیت *T. viridana* برخوردار هستند. از طرف دیگر، اثر سینرژیستی بینو بر قارچ نشان می‌دهد استفاده توأم این دو عامل منطقی بوده و با افزایش غلظت قارچ و کاهش غلظت سم می‌توان اثرهای زیست‌محیطی باقی‌مانده سم را کاهش داد. انجام آزمایشات صحرایی برای تأیید این نتایج ضروری است و می‌تواند در توسعه روش‌های پایدار کنترل آفات نقش مهمی داشته باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با در نظر گرفتن محدودیت استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی در شرایط جنگل، استفاده از ترکیبات بیولوژیک و گیاهی در کنترل آفات جنگل ضروری است. نتایج این بررسی نشان داد که در کنترل مرحله لاروی پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) در شرایط آزمایشگاهی و تاثیر روی دموگرافی این آفت با استفاده از غلظت‌های زیرکشنده، این دو ترکیب زیستی از پتانسیل بالایی برخوردارند و همچنین می‌توان به- صورت اختلاط برای افزایش تاثیر مورد استفاده قرار

توصیه شده، بازدارندگی جوانه‌زنی پایین بوده که نشان‌دهنده ایمنی و سازگاری این سم با قارچ است. همچنین، Gurulingappa et al. (2011) سازگاری *L. lecanii* با نه حشره‌کش را روی *Aphis gossypii* بررسی کرده و گزارش کردند که این قارچ در مدیریت تلفیقی آفات قابل استفاده است. افزون بر این، Gowda and Rani (2022) نشان دادند برخی جدایه‌های *L. sakseae* با برخی حشره‌کش‌ها سازگار و با برخی ناسازگارند. Nawaz et al. (2022) نیز بازدارندگی پایین رشد رویشی *M. anisopliae* را در برابر تعدادی حشره‌کش شیمیایی گزارش کردند.

اثرهای زیرکشدگی قارچ‌ها و حشره‌کش‌ها ممکن است دوره رشد و باروری حشرات را تحت تأثیر قرار دهد (Yu et al., 2010; Shi et al., 2011; Najafi- (Sisakht et al., 2020). در این بررسی، قارچ *L. lecanii* به‌تنهایی موجب افزایش طول مراحل نابالغ و طول عمر بالغین شد. در مقابل، بینو به‌تنهایی و نیز در اختلاط با قارچ، سبب افزایش طول مراحل نابالغ و کاهش طول دوره بالغین شد. همچنین در تیمارها، دوره‌های پیش‌تخم‌ریزی، تخم‌ریزی و باروری به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفتند. فراسنجه‌های رشد جمعیت شامل r_m , R_0 و λ نیز در تمامی تیمارها کاهش معنی‌دار داشت. کاهش r_m و افزایش T نشانه کاهش رشد جمعیت در یک بازه زمانی معین است (Liu et al., 2020). این نتایج با یافته‌های Rashki et al. (2015) مطابقت دارد که کاهش r_m شته سبز هلو در پی کاربرد همزمان قارچ *M. anisopliae* و دوز زیرکشنده ایمیداکلوپرید را گزارش کردند. علاوه بر این، نمودارهای l_x , S_{xj} , m_x و $l_x m_x$ نیز کاهش قابل توجهی در تمامی تیمارها نشان دادند که بیانگر اثرهای زیرکشنده ترکیبات به‌کاررفته است. این نتایج با یافته‌های Yuan et al., Mousavi et al. (2022) و Jarrahi and Safavi (2016) و (2018) همخوانی دارد.

داد، از این رو در کنترل لاروهای این آفت و آفت‌های مشابه در باغات و جنگل‌ها قابل توصیه هستند.

آزمایشگاه حشره‌شناسی گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، در اجرای این پژوهش اعلام می‌داریم.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از همکاری ارزشمند جناب آقای دکتر مهدی رزمی، کارشناس

References

- Abbott, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **1925**, 18, 265–267.
- Ahmed, R.; Freed, S.; Naeem, A.; Akmal, M. Lethal and trans-generational effects of *Metarhizium anisopliae* on red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*, using age-stage, two-sex life table. *Journal of Asia-Pacific Entomology* **2022**, 25 (3), 101946.
- Akbari, S.; Safavi, S. A.; Ghosta, Y. Efficacy of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. against cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* L. (Hem.: Aphididae) under laboratory conditions. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* **2014**, 47 (12), 1454–1458.
- Akbari, S.; Aramideh, Sh. Effects of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Bals. Criv.) Vuill. on survival and population growth parameters of *Myzocallis coryli* Goetze. *Forest Research and Development* **2022**, 9 (1), 129–144. (In Persian).
- Akbari, S.; Aramideh, Sh. Effect of salicylic acid isolated from three native willow species in combination with *Bacillus thuringiensis* B. on the oak leaf roller, *Tortrix viridana* L. *Forest Research and Development* **2024**, 10(3), 395–409. (In Persian).
- Akbari, S.; Aramideh, Sh.; Mousavi, M. Sublethal effects and biological parameters of the botanical insecticides Matrine and Neemarin on the green oak tortrix (*Tortrix viridana* L.). *Forest Research and Development* **2025**, 11 (3), 335–352. (In Persian).
- Akhanaev, Y. B.; Tomilova, O. G.; Yaroslavl'tseva, O. N.; Duisembekov, B. A.; Kryukov, V. Y.; Glupov, V. V. Combined action of the entomopathogenic fungus *Metarhizium robertsii* and avermectins on the larvae of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera, Chrysomelidae). *Entomological Review* **2017**, 97 (2), 158–165.
- Ali, S. A.; Saleh, A. A. A.; Saleh, F. M. Bioefficacy of plant extracts and entomopathogenic fungi (*Trichoderma album*) in controlling *Myzus persicae* and *Bemisia tabaci*. *Plant Archives* **2020**, 20 (1), 1450–1459.
- Asi, M. R.; Bashir, M. H.; Afzal, M.; Ashfaq, M.; Sahi, S. T. Compatibility of entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces fumosoroseus*, with selective insecticides. *Pakistan Journal of Botany* **2010**, 42 (6), 4207–4214.
- Asi, M. R.; Bashir, M. H.; Afzal, M.; Zia, K.; Akram, M. Potential of entomopathogenic fungi for biocontrol of *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Pakistan Journal of Zoology* **2013**, 23 (3), 913–918.
- Barati, R.; Golmohammadi, G.; Ghajarie, H.; Zarabi, M.; Mansouri, R. The effects of some botanical insecticides and pymetrozine on life table parameters of silver leaf whitefly *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pesticides and Phytomedicine* **2013**, 28 (1), 47–55.
- Bekker, T. F.; Kaiser, C.; van der Merwe, R.; Labuschagne, N. In vitro inhibition of mycelial growth of several phytopathogenic fungi by soluble potassium silicate. *South African Journal of Plant and Soil* **2006**, 23 (3), 169–172.
- Botelho, A. A. A.; Monteiro, A. C. Sensibilidade de fungos entomopatogênicos a agroquímicos usados no manejo da cana-de-açúcar. *Bragantia* **2011**, 70 (2), 361–369.
- Chi, H.; Liu, H. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica* **1985**, 24 (2), 225–240.
- Chi, H. Life table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology* **1988**, 17 (1), 26–34.
- Chi, H. *TWOSEX-MSChart: A Computer Program for the Age-Stage, Two-Sex Life Table Analysis*; Version by Chi, H., **2013**.

- Available from <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TwoSexMSChart.zip> (accessed March 21, 2013).
- Cruz-Avalos, A. M.; Bivián-Hernández, M. D. L. Á.; Ibarra, J. E.; Del Rincón-Castro, M. C. High virulence of Mexican entomopathogenic fungi against fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* **2019**, *112* (1), 99–107.
- Dader, B.; Aguirre, E.; Caballero, P.; Medina, P. Synergy of lepidopteran nucleopolyhedroviruses AcMNPV and SpliNPV with insecticides. *Insects* **2020**, *11* (5), 316.
- Dearlove, E. L.; Chandler, D.; Edgington, S.; Berry, S. D.; Martin, G.; Svendsen, C.; Hesketh, H. Improved control of *Trialeurodes vaporariorum* using mixture combinations of entomopathogenic fungi and the chemical insecticide spiromesifen. *Scientific Reports* **2024**, *14* (1), 15259.
- Duarte, R. T.; Gonçalves, K. C.; Espinosa, D. J. L.; Moreira, L. F.; De Bortoli, S. A.; Humber, R. A.; Polanczyk, R. A. Potential of entomopathogenic fungi as biological control agents of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and compatibility with chemical insecticides. *Journal of Economic Entomology* **2016**, *109* (6), 2675–2682.
- Ghobari, H.; Goldansaz, S. H.; Askari, H.; Kharazi-Pakdel, A.; Bihamta, M. R. Investigation of presence, distribution and flight period of oak leaf roller, *Tortrix viridana* (Lep.: Tortricidae) using pheromone traps in Kurdistan Province. *Journal of Entomological Society of Iran* **2007**, *27* (1), 47–59. (In Persian).
- Gooshbor, L.; Bavaghar, M. P.; Amanollahi, J.; Ghobari, H. Monitoring infestations of oak forests by *Tortrix viridana* (Lepidoptera: Tortricidae) using remote sensing. *Plant Protection Science* **2016**, *52* (4), 167–176.
- Gowda, T. G.; Rani, R. O. P. Compatibility of entomopathogenic fungus, *Lecanicillium saksenae* (Kushwaha) Kurihara and Sukarno, with insecticides. *Journal of Experimental Zoology India* **2022**, *25* (2), 1427–1433.
- Gurulingappa, P.; McGee, P.; Sword, G. A. In vitro and in planta compatibility of insecticides and the endophytic entomopathogen, *Lecanicillium lecanii*. *Mycopathologia* **2011**, *172* (2), 161–168.
- Hokkanen, H. M. T.; Kotiluoto, R. Bioassay of the side effects of pesticides on *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*: Standardized sequential testing procedure. *IOBC-WPRS Bulletin* **1992**, *60* (3), 148–151.
- Idrees, A.; Qadir, Z. A.; Akutse, K. S.; Afzal, A.; Hussain, M.; Islam, W.; Li, J. Effectiveness of entomopathogenic fungi on immature stages and feeding performance of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Insects* **2021**, *12* (11), 1044.
- Idrees, A.; Afzal, A.; Qadir, Z. A.; Li, J. Virulence of entomopathogenic fungi against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory conditions. *Frontiers in Physiology* **2023**, *14*, 1107434.
- Ivashov, A. V.; Boyko, G. E.; Simchuk, A. P. The role of host plant phenology in the development of the oak leaf roller moth, *Tortrix viridana* L. (Lepidoptera: Tortricidae). *Forest Ecology and Management* **2002**, *157* (1-3), 7–14.
- Jarrahi, A.; Safavi, S. A. Fitness costs to *Helicoverpa armigera* after exposure to sub-lethal concentrations of *Metarhizium anisopliae* sensu lato: Study on F1 generation. *Journal of Invertebrate Pathology* **2016**, *138*, 50–56.
- Konecka, E.; Kaznowski, A.; Grzesiek, W.; Nowicki, P.; Czarniewska, E.; Baranek, J. Synergistic interaction between carvacrol and *Bacillus thuringiensis* crystalline proteins against *Cydia pomonella* and *Spodoptera exigua*. *BioControl* **2020**, *65* (4), 447–460.
- Kryukov, V. Y.; Khodyrev, V. P.; Yaroslavtseva, O. N.; Kamenova, A. S.; Duisembekov, B. A.; Glupov, V. V. Synergistic action of entomopathogenic hyphomycetes and the bacteria *Bacillus thuringiensis* ssp. *morrisoni* in the infection of Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Applied Biochemistry and Microbiology* **2009**, *45* (5), 511–516.
- Kryukov, V. Y.; Tomilova, O. G.; Luzina, O. A.; Yaroslavtseva, O. N.; Akhanev, Y. B.; Tyurin, M. V.; Duisembekov, B. A.; Salakhutdinov, N. F.; Glupov, V. V. Effects of fluorine-containing usnic acid and fungus *Beauveria bassiana* on the survival and immune-physiological reactions of Colorado potato beetle larvae. *Pest Management Science* **2018**, *74* (3), 598–606.

- Lacey, L. A.; Grzywacz, D.; Shapiro-Ilan, D. I.; Frutos, R.; Brownbridge, M.; Goettel, M. S. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology* **2015**, *132*, 1–41.
- Lentini, A.; Mannu, R.; Cocco, A.; Ruio, P. A.; Carboneschi, A.; Luciano, P. Long-term monitoring and microbiological control programs against lepidopteran defoliators in Sardinian cork oak forests (Italy). *Annals of Silvicultural Research* **2020**, *45* (1), 21–30.
- Liu, J. F.; Zhang, Z. Q.; Beggs, J. R.; Paderes, E.; Zou, X.; Wei, X. Y. Lethal and sublethal effects of entomopathogenic fungi on tomato/potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Šulc) (Hemiptera: Triozidae) in *Capsicum*. *Crop Protection* **2020**, *129*, 105023.
- Liu, Z. L.; Goh, S. H.; Ho, S. H. Screening of Chinese medicinal herbs for bioactivity against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Stored Products Research* **2007**, *43* (3), 290–296.
- Lokma, N.; Saleh, A. A. A.; Amer, S. A. M.; Zawrah, M. F. Efficacy of some predators and *Lecanicillium lecanii* fungus in controlling *Aphis gossypii* (Glover) and *Myzus persicae* (Sulzer) in potato crop. *Arab Journal of Plant Protection* **2023**, *41* (2), 55–66.
- Mao, L.; Henderson, G. Antifeedant activity and acute and residual toxicity of alkaloids from *Sophora flavescens* (Leguminosae) against Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology* **2007**, *100* (3), 866–870.
- Marcic, D.; Prijovic, M.; Drobnjakovic, T.; Medo, I.; Peric, P.; Milenkovic, S. Greenhouse and field evaluation of two biopesticides against *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae). *Pesticides and Phytomedicine* **2012**, *27* (2), 313–320.
- Martins, L. N.; Geisler, F. C. S.; Rakes, M.; Araújo, M. B.; Amandio, D. T. T.; da Rosa, A. P. S.; Ribeiro, L. P.; Bernardi, D. Sublethal effects of growth-regulating insecticides of synthetic and botanical origins on the biological parameters of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bulletin of Entomological Research* **2023**, *113* (3), 306–314.
- Mousavi, M.; Mehrkhou, F.; Guz, N.; Ghosta, Y.; Atlihan, R. Effects of plant-based insecticide, Bino2, and entomopathogenic fungi on the digestion, detoxification, and chitinase activity of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control of Pests and Plant Diseases* **2023**, *12* (1), 73–94.
- Mousavi, M.; Mehrkhou, F.; Güz, N.; Ghosta, Y.; Atlihan, R. Sublethal effects of two entomopathogenic fungi species, *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*, on the cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **2022**, *46* (4), 441–452.
- Najafi-Sisakht, Z.; Sedaratian-Jahromi, A.; Ghane-Jahromi, M. Population responses of *Aphis gossypii* (Hem.: Aphididae) to sublethal concentrations of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Journal of Crop Protection* **2020**, *9* (1), 45–53.
- Nawaz, A.; Razzaq, F.; Razzaq, A.; Gogi, M. D.; Fernández-Grandon, G. M.; Tayib, M.; Ayub, M. A.; Sufyan, M.; Shahid, M. R.; Qayyum, M. A.; Naveed, M.; Ijaz, A.; Arif, M. J. Compatibility and synergistic interactions of fungi, *Metarhizium anisopliae*, and insecticide combinations against the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Scientific Reports* **2022**, *12* (1), 4843.
- Neves, P. M. O. J.; Hirose, E.; Tchujo, P. T.; Alcides Monio, A. Jr. Compatibility of entomopathogenic fungi with neonicotinoid insecticides. *Neotropical Entomology* **2001**, *30* (2), 263–268.
- Oliveira, C. N.; Neves, M. O.; Kawazoe, L. S. Compatibility between the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and insecticides used in coffee plantations. *Scientia Agricola* **2003**, *60* (4), 663–667.
- Pachamuthu, P.; Kamble, S. T.; Yuen, G. Y. Virulence of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) strain ESC-1 to the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae) and its compatibility with insecticides. *Journal of Economic Entomology* **1999**, *92* (2), 340–346.
- Pelizza, S. A.; Mariottini, Y.; Russo, M. L.; Cabello, M. N.; Lange, C. E. Survival and fecundity of *Dichroplus maculipennis* and *Ronderosia bergi* (Orthoptera: Acrididae: Melanoplinae) following infection by *Beauveria bassiana* (Ascomycota:

- Hypocreales) under laboratory conditions. *Biocontrol Science and Technology* **2013**, 23 (6), 701–710.
- Pelizza, S. A.; Schalamuk, S.; Simón, M. R.; Stenglein, S. A.; Pacheco-Marino, S. G.; Scorsetti, A. C. Compatibility of chemical insecticides and entomopathogenic fungi for control of soybean defoliating pest, *Rachiplusia nu*. *Revista Argentina de Microbiología* **2018**, 50 (2), 189–201.
- Pisa, L. W.; Amaral-Rogers, V.; Belzunces, L. P.; Bonmatin, J. M.; Downs, C. A.; Goulson, D.; Kreutzweiser, D. P.; Krupke, C.; Liess, M.; McField, M.; Morrissey, C. A.; Noome, D. A.; Settele, J.; Simon-Delso, N.; Stark, J. D.; van der Sluijs, J. P.; van Dyck, H.; Wiemers, M. Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. *Environmental Science and Pollution Research* **2015**, 22 (1), 68–102.
- Pisa, L.; Goulson, D.; Yang, E. C.; Gibbons, D.; Sanchez-Bayo, F.; Mitchell, E.; Aebi, A.; van der Sluijs, J.; MacQuarrie, C. J. K.; Giorio, C.; Long, E. Y.; McField, M.; van Lexmond, M. B.; Bonmatin, J. M. An update of the worldwide integrated assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 2: Impacts on organisms and ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research* **2017**, 28 (10), 11749–11797.
- Quintela, E. D.; Mascarin, G. M.; Da Silva, R. A.; Barrigossi, J. A. F.; Martins, J. F. Enhanced susceptibility of *Tibraca limbativentris* (Heteroptera: Pentatomidae) to *Metarhizium anisopliae* with sublethal doses of chemical insecticides. *Biological Control* **2013**, 66 (1), 56–64.
- Rashki, M.; Shirvani, A. The effect of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on life table parameters and behavioural response of *Aphis gossypii* (Hem.: Aphididae). *Bulletin of Insectology* **2013**, 66 (1), 85–91.
- Rashki, M.; Talepour, F.; Shirvani, A. Sub-lethal effect of combination of *Metarhizium anisopliae* and imidacloprid on life table of *Myzus persicae* (Hem.: Aphididae). *Journal of Crop Protection* **2015**, 4 (4), 577–587.
- Rice, S. J.; Furlong, M. J. Synergistic interactions between three insecticides and *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (Ascomycota: Hypocreales) in lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* Panzer (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae. *Journal of Invertebrate Pathology* **2023**, 200, 107974.
- Ríos-Moreno, A.; Garrido-Jurado, I.; Resquín-Romero, G.; Arroyo-Manzanares, N.; Arce, L.; et al. Destruxin A production by *Metarhizium brunneum* strains during transient endophytic colonisation of *Solanum tuberosum*. *Biocontrol Science and Technology* **2016**, 26 (11), 1574–1585.
- Robertson, J. L.; Savin, N. E.; Preisler, H. K.; Russell, R. M. *Bioassays with Arthropods*, 2nd ed.; CRC Press: Florida, **2007**.
- Sagheb-Talebi, K.; Sajedi, T.; Yazdian, F. *Forests of Iran*; Research Institute of Forests and Rangelands, Technical Publication No. 339-2003, **2004**.
- Sahayaraj, K.; Namasivayam, S. K. R.; Rathi, J. M. Compatibility of entomopathogenic fungi with extracts of plants and commercial botanicals. *African Journal of Biotechnology* **2011**, 10 (6), 933–938.
- Salvanagh, N. R.; Mehrkhou, F.; Fourozan, M. Lethal and sublethal effects of Flonicamid and Bio2 on life span and population growth parameters of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Phytoparasitica* **2024**, 52 (5), 90.
- Schroeder, H.; Degen, B. Genetic structure of the green oak leaf roller (*Tortrix viridana* L.) and one of its hosts, *Quercus robur* L. *Forest Ecology and Management* **2008**, 256 (6), 1270–1279.
- Seyed-Talebi, F.-S.; Kheradmand, K.; Talaei-Hassanloui, R.; Talebi-Jahromi, K. Sublethal effects of *Beauveria bassiana* on life table parameters of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Biocontrol Science and Technology* **2012**, 22 (3), 293–303.
- Shi, W. B.; Zhang, L.; Feng, M. G. Field trials of four formulations of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for control of cotton spider mites (Acari: Tetranychidae) in the Tarim Basin of China. *Biological Control* **2008**, 45 (1), 48–55.
- Shi, X.; Jiang, L.; Wang, H.; Qiao, K.; Wang, D.; Wang, K. Toxicities and sublethal effects of seven neonicotinoid insecticides on survival, growth, and reproduction of imidacloprid-resistant cotton aphid, *Aphis gossypii*. *Pest Management Science* **2011**, 67 (12), 1528–1533.
- SigmaPlot. *SigmaPlot 12 for Windows Version 11.0. Statistics for User's Guide*; Systat Software Inc.: Chicago, **2012**, 578 p.

- SPSS Inc. *IBM SPSS Statistics for Windows*, Version 20.0; IBM Corp.: Armonk, NY, **2011**.
- Tian, Y.; Zhang, Z. Insecticidal activities of *Sophora flavescens* Alt. towards red imported fire ants (*Solenopsis invicta* Buren). *Toxins* **2023**, *15* (2), 105.
- Vinodhini, M.; Parameswari, P.; Dhayananth, N.; Ramesh Babu, N. G.; Parvathy, S. Isolation and mass multiplication of *Verticillium lecanii*, a potential biopesticide. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research* **2017**, *3* (4), 516–520.
- Yaroslavtseva, O. N.; Dubovskiy, I. M.; Khodyrev, V. P.; Duisembekov, B. A.; Kryukov, V. Y.; Glupov, V. V. Immunological mechanisms of synergy between fungus *Metarhizium robertsii* and bacteria *Bacillus thuringiensis* ssp. *morrisoni* on Colorado potato beetle larvae. *Journal of Insect Physiology* **2017**, *96*, 14–20.
- Yazdanfar, H.; Ghodskhah, D. M.; Jalali Sendi, J.; Ghobari, H. Effects of three *Quercus* species on feeding performance of the green oak leaf roller, *Tortrix viridana* L. (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Crop Protection* **2015**, *4* (5), 711–718.
- Yu, Y.; Shen, G.; Zhu, H.; Lu, Y. Imidacloprid-induced hormesis on the fecundity and juvenile hormone levels of the green peach aphid *Myzus persicae* (Sulzer). *Pesticide Biochemistry and Physiology* **2010**, *98* (2), 238–242.
- Yuan, H. G.; Wu, S. Y.; Lei, Z. R.; Rondon, S. I.; Gao, Y.-L. Sublethal effects of *Beauveria bassiana* (Balsamo) on field populations of the potato tuberworm *Phthorimaea operculella* Zeller in China. *Journal of Integrative Agriculture* **2018**, *17* (4), 911–918.
- Zhang, Q. F.; Chen, W. J. Fire cycle of Canada's boreal region and its potential response to global change. *Journal of Forestry Research* **2007**, *18* (1), 55–61.
- Zhang, T.; Reitz, S. R.; Wang, H.; Lei, Z. Sublethal effects of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) on life table parameters of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology* **2015**, *108* (3), 975–985.