

Research Paper

Sublethal effects and biological parameters of the botanical insecticides Matrine and Neemarin on the green oak Tortrix (*Tortrix viridana* L.)Samaneh Akbari¹, Shahram Aramideh^{*2} and Mahdieh Mousavi³

1- Postdoctoral Researcher in Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (sama8akbari@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- Ph.D. Graduate in Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (mmoosavy56@gmail.com)

Received: 20 June 2025

Accepted: 31 August 2025

Extended Abstract

Background and Objective: Oak trees, as key species in the Zagros forests, play a crucial role in environmental stability, soil conservation, and biodiversity maintenance. However, the health of these ecosystems is severely affected by pests. One of the most significant pests of oak forests is the green oak leaf roller (*Tortrix viridana* L.), a univoltine species that feeds on vegetative and reproductive buds, flowers, and young leaves, causing severe defoliation, disruption of photosynthesis, and reduced tree fecundity. To manage this pest, the use of botanical insecticides such as Neemarin, extracted from the seeds of neem (*Azadirachta indica* A. Juss), and Matrine, derived from the roots of *Sophora flavescens* Ait., has attracted attention as environmentally safe alternatives. These compounds exhibit not only lethal effects but also sublethal effects, including reduced fecundity, growth disruption, and feeding inhibition.

Material and Methods: Third-instar larvae of *T. viridana* were collected from Piranshahr oak forests in West Azerbaijan Province and transferred to the laboratory for bioassays. Fresh leaves of *Quercus infectoria* G. Olivier were used as food. Preliminary experiments were conducted to determine the effective concentration ranges of the botanical insecticides Matrine and Neemarin, after which five concentrations for each compound, along with a control, were selected. Oak leaves were immersed in the insecticide solutions for five seconds, allowed to air-dry, and then placed in Petri dishes covered with organza mesh, onto which larvae were transferred. Mortality was assessed after 48 hours using the hot-needle contact method. For sublethal effect assessment, third-instar larvae were treated with the LC₂₀ of Matrine and Neemarin and, after 24 hours, transferred to untreated leaves. Life-history parameters including longevity, survival, pupation rate, fecundity, and daily reproduction were recorded until death. Data were analyzed using SPSS for probit analysis, Twosex-MSChart for two-sex life table parameters, and SigmaPlot for graphing. Life-table parameters were compared using the bootstrap method.

Results: Lethal (LC₅₀) and sublethal (LC₂₀) concentrations of Matrine and Neemarin for third-instar larvae of the green oak leaf roller were determined. The LC₅₀ values were 23.80 µL/mL for Matrine and 243.21 µL/mL for Neemarin, while the LC₂₀ values were 20.29 µL/mL and 86.04 µL/mL, respectively, indicating higher pest susceptibility to Matrine. Examination of developmental stages

revealed a significant reduction in adult longevity for Neemarin -treated (8.84 days) and Matrine-treated (10.85 days) insects compared with controls (13.40 days). Oviposition duration was also significantly reduced from 11.48 days in the control to 6.35 and 8.95 days for Neemarin and Matrine treatments, respectively. Fecundity at LC_{20} concentrations of both insecticides was significantly lower than the control. Population parameters, including the net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r_m), and gross reproductive rate (GRR), differed significantly ($p < 0.05$) between treated groups and the control. Age-stage-specific life expectancy (e_{xj}) for the first control female was 17.03 days, compared with 14.18 and 12.05 days for Matrine and Neemarin treatments, respectively. Age-stage-specific reproductive value (v_{xj}) was markedly lower in females treated with LC_{20} insecticides, reflecting negative effects on survival and reproductive potential.

Conclusion: The results indicate that the botanical insecticides Matrine and Neemarin, exhibiting both lethal and sublethal effects on *T. viridana* larvae, are promising as low-risk, environmentally compatible alternatives to chemical pesticides. Significant reductions in fecundity, longevity, population growth rates, and other life-history traits at sublethal concentrations suggest their potential for gradual and sustainable pest population management. Therefore, integrating these botanical insecticides into pest management strategies, particularly in the sensitive Zagros forests, could reduce chemical pesticide use, preserve natural enemies, and promote long-term ecological sustainability and conservation of forest ecosystems.

Keywords: Sublethal effects, Life table, Integrated Pest Management, *Tortrix viridana*.

How to Cite This Article: Akbari, S., Aramideh, Sh., and Mousavi, M. (2025). Sublethal effects and biological parameters of the botanical insecticides Matrine and Neemarin on the green oak Tortrix (*Tortrix viridana* L.). Forest Research and Development, 11(3), 335-352. DOI: [10.30466/jfrd.2025.56293.1760](https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.56293.1760)



Copyright ©2024 Akbari 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.

بررسی اثرات زیرکشدگی و فراسنجه‌های زیستی حشره‌کش‌های گیاهی ماترین و نیمارین روی پروانه جوانه‌خوار بلوط (*Tortrix viridana* L.)

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

۱- پژوهشگر پسادکتری حشره‌شناسی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (sama8akbari@gmail.com)

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

۳- دکتری حشره‌شناسی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (mmoosavy56@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۳۰

چکیده

مقدمه و هدف: درختان بلوط به‌عنوان گونه‌های کلیدی در جنگل‌های زاگرس، نقش مهمی در پایداری زیست‌محیطی، حفاظت خاک و تنوع زیستی ایفا می‌کنند. با این حال، سلامت این بوم‌سازگان‌ها به‌شدت تحت تأثیر آفات قرار دارد. یکی از مهم‌ترین آفات جنگل‌های بلوط، پروانه جوانه‌خوار بلوط (*Tortrix viridana* L.) است که تک‌نسلی بوده و با تغذیه از جوانه‌های رویشی و زایشی، غنچه‌ها و برگ‌های جوان، موجب بی‌برگی شدید، اختلال در فتوسنتز و کاهش زادآوری درختان می‌شود. برای کنترل این آفت، استفاده از حشره‌کش‌های گیاهی همچون نیمارین که از بذر درخت چریش (*Azadirachta indica* A. Juss) و ماترین که از ریشه گیاه تلخ‌بیان (*Sophora flavescens* Ait.) استخراج شده، به‌عنوان جایگزینی ایمن و زیست‌سازگار مورد توجه قرار گرفته است. این ترکیبات نه‌تنها دارای اثرات کشنده، بلکه دارای اثرات زیرکشنده همچون کاهش باروری، اختلال در رشد و بازدارنده تغذیه هستند.

مواد و روش‌ها: برای این پژوهش، لاروهای سن سوم *T. Viridana* از جنگل‌های بلوط پیرانشهر واقع در استان آذربایجان غربی جمع‌آوری و برای زیست‌سنجی به آزمایشگاه منتقل شدند. برای تغذیه از برگ‌های تازه درخت بلوط دارمازو (*Quercus infectoria* G. Olivier.) استفاده شد. ابتدا آزمایش‌های مقدماتی برای تعیین دامنه غلظتی مؤثر دو حشره‌کش گیاهی ماترین و نیمارین انجام و سپس پنج غلظت برای هر ترکیب به‌همراه تیمار شاهد در نظر گرفته شد. برگ‌های بلوط با غلظت‌های حشره‌کش‌ها به‌مدت پنج ثانیه غوطه‌ور شدند و پس از خشک شدن درون پتری‌دیش‌های که درب آن‌ها با توری ارگانزا پوشیده شده بود، لاروها به روی برگ‌ها منتقل شدند. پس از ۴۸ ساعت، مرگ‌ومیر لاروها با روش تماس سوزن داغ بررسی شد. برای بررسی اثرات زیرکشدگی، لاروهای سن سوم با غلظت LC₂₀ حشره‌کش‌های گیاهی ماترین و نیمارین تیمار

شده و پس از ۲۴ ساعت به برگ‌های تیمار نشده منتقل شدند و فراسنجه‌های زیستی مانند طول عمر، بقاء، نرخ شفیگیری، زادآوری و باروری روزانه تا زمان مرگ ثبت شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS برای تجزیه پروبیت، Twosex-MSChart برای جدول زندگی دوجنسی و SigmaPlot برای ترسیم نمودارها استفاده شد. فراسنجه‌های جدول زندگی با روش بوت‌استرپ مقایسه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: شاخص‌های کشندگی (LC_{50}) و زیرکشندگی (LC_{20}) دو حشره‌کش گیاهی ماترین و نیمارین بر لاروهای سن سوم پروانه جوانه‌خوار بلوط محاسبه شد. مقادیر LC_{50} برای ماترین و نیمارین به ترتیب ۲۳/۸۰ و ۲۴۳/۲۱ میکرولیتر بر میلی‌لیتر و مقادیر LC_{20} برابر با ۲۰/۲۹ و ۸۶/۰۴ میکرولیتر بر میلی‌لیتر به دست آمد. این نتایج بیانگر حساسیت بالاتر آفت به ترکیب ماترین در مقایسه با نیمارین است. بررسی طول دوره رشد و نمو مراحل مختلف زیستی پروانه جوانه‌خوار بلوط نشان داد که طول عمر حشرات بالغ در تیمار نیمارین (۸/۸۴ روز) و ماترین (۱۰/۸۵ روز) در مقایسه با تیمار شاهد (۱۳/۴۰ روز) کاهش زیادی داشت. همچنین، مدت زمان تخم‌گذاری در تیمارهای حشره‌کش گیاهی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌گونه‌ای که این شاخص از ۱۱/۴۸ روز در شاهد به ۶/۳۵ روز در تیمار نیمارین و ۸/۹۵ روز در تیمار ماترین رسید. باروری حشرات نیز در غلظت زیرکشنده LC_{20} هر دو حشره‌کش نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. شاخص‌های جمعیتی شامل نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) و نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) اختلاف معنی‌داری را در سطح ۰/۰۵ بین تیمارهای ماترین و نیمارین در مقایسه با شاهد نشان دادند. امید به زندگی ویژه‌سنی مرحله‌ای (e_{xj}) برای نخستین ماده شاهد ۱۷/۰۳ روز محاسبه شد، درحالی‌که این مقدار در تیمار ماترین به ۱۴/۱۸ و در تیمار نیمارین به ۱۲/۰۵ روز کاهش یافت. همچنین ارزش تولیدمثلی مرحله‌ای (v_{xj}) در ماده‌های تیمار شده با LC_{20} حشره‌کش‌ها به‌طور محسوسی کمتر از شاهد بود که نشان‌دهنده اثر منفی این ترکیبات بر بقاء و توان تولیدمثلی آفت است.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که حشره‌کش‌های گیاهی ماترین و نیمارین، با برخورداری از اثرات کشنده و زیرکشنده مؤثر بر لاروهای *T. viridana*، قابلیت استفاده به‌عنوان جایگزین‌های کم‌خطر و سازگار با محیط‌زیست برای سموم شیمیایی را دارند. کاهش معنی‌دار باروری، طول عمر، نرخ رشد جمعیت و دیگر شاخص‌های زیستی آفت در غلظت‌های زیرکشنده، بیانگر توان این ترکیبات در کنترل تدریجی و پایدار جمعیت آفت است. بنابراین، استفاده از این حشره‌کش‌های گیاهی در قالب راهبردهای مدیریت تلفیقی آفات، به‌ویژه در جنگل‌های حساس زاگرس، می‌تواند ضمن کاهش مصرف سموم شیمیایی، به حفظ دشمنان طبیعی و ارتقای پایداری بوم‌شناسی و حفاظت بلندمدت از بوم‌سازگان‌های جنگلی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: زیرکشندگی، جدول زندگی، مدیریت تلفیقی، جوانه‌خوار بلوط.

مقدمه

جنگل‌ها و مراتع به‌عنوان منابع طبیعی تجدیدپذیر، نه‌تنها نقش مؤثری در حفظ تعادل بوم‌شناختی و تأمین نیازهای اقتصادی و اجتماعی انسان دارند، بلکه زیربنای توسعه پایدار در بسیاری از مناطق جهان به‌شمار می‌روند. با این حال، بروز تنش‌های زیست‌محیطی مانند بهره‌برداری نامناسب، تغییرات اقلیمی و طغیان آفات، تهدیدی جدی برای پایداری این منابع محسوب می‌شوند. در این میان، کنترل زیست‌سازگار آفات جنگلی یکی از راهبردهای اساسی برای حفاظت از سلامت بوم‌سازگان‌های جنگلی و حفظ عملکردهای بوم‌شناسی آنها است (Akbari and Aramideh, 2024). جنگل‌های بلوط آذربایجان غربی غربی به مساحت حدود ۶۰۰۰۰ هکتار در شهرستان‌های پیرانشهر، سردشت و مهاباد واقع شده است. این جنگل‌ها بخشی از ناحیه رویشی زاگرس هستند که به‌طور تاریخی در معرض آسیب‌های متعددی مثل بهره‌برداری نامناسب، آتش‌سوزی، چرای مفراط و شیوع بیماری‌ها و آفات قرار داشته‌اند (Zargaran et al., 2015). در میان آفات بومی، پروانه جوانه‌خوار بلوط (*Tortrix viridana* L.) به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین آفات برگ‌خوار درختان بلوط زاگرس شناخته می‌شود. این گونه از راسته Lepidoptera و خانواده Tortricidae بوده و طغیان‌های دوره‌ای آن سبب کاهش فتوسنتز، ضعف فیزیولوژیکی و در نهایت خشکیدگی درختان میزبان می‌شود (Alijanpour et al., 2016; Bertic et al., 2023). لاروهای این آفت با تغذیه از جوانه‌ها و برگ‌های بلوط خسارت سنگینی را به این درختان وارد می‌کنند. جوانه‌خوار بلوط از تعداد محدودی گیاه تغذیه می‌کند و دامنه میزبانی آن محدود به جنس بلوط است (Alehosseini et al., 2013). با توجه به اهمیت زیست‌محیطی درختان

بلوط و نقش حیاتی آنها در حفاظت و جلوگیری از فرسایش خاک، آفت *T. viridana* از نظر اقتصادی در استان‌های غرب و جنوب غرب ایران اهمیت ویژه‌ای دارد. این حشره با تغذیه از جوانه‌های رویشی و زایشی، غنچه‌ها و برگ‌های جوان بلوط در اوایل فصل رشد می‌تواند سبب بی‌برگی گسترده و ظهور ظاهری مشابه خزان شود. لاروهای سنین یک و دو عمدتاً از جوانه‌ها تغذیه می‌کنند و سنین سه تا پنج به غنچه‌ها و برگ‌های تازه آسیب می‌رسانند. این لاروها به شدت حریص هستند و وجود فضولات زیاد در زیر درختان آلوده، نشان‌دهنده خسارت شدید آفت و تهدید سلامت پوشش گیاهی جنگل است (Hosseinzadeh, 2010; Jamali and Haack, 2024). آفات برگ‌خوار به‌ویژه پروانه جوانه‌خوار بلوط، تهدیدی جدی برای سلامت بوم‌سازگان‌های طبیعی محسوب می‌شوند. این آفت تک‌نسلی است، اما در سال‌هایی که طغیان می‌کند، تغذیه شدید لاروها از جوانه‌های زایشی و برگ‌های تازه، موجب عدم تولید بذر و اختلال در تجدید حیات طبیعی درختان بلوط می‌شود (Mannu et al., 2016). استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی برای کنترل این آفت، با از بین بردن دشمنان طبیعی و حشرات مفید، آلودگی محیط زیست، مشکلات موجود را دو چندان کرده است. در همین راستا، طی سال‌های اخیر، تمرکز بر روش‌های غیرشیمیایی مانند استفاده از ترکیبات گیاهی با منشأ طبیعی به‌عنوان جایگزینی ایمن‌تر و سازگار با محیط‌زیست، افزایش یافته است (Rabelo et al., 2020; Akbari and Aramideh, 2022).

حشره‌کش‌های گیاهی مؤثر، ارزان، قابل تجزیه، دارای منابع در دسترس و سمیت کم برای محیط زیست و موجودات غیرهدف هستند (Geraldin et al., 2020). استفاده از حشره‌کش‌های گیاهی در برنامه مدیریت

اکسیداسیون ماترین تولید شده و از طریق اثر روی گیرنده‌های نیکوتینی استیل کولین در حشرات عمل می‌کند (Amirfanak et al., 2023). ماترین برای کنترل آفات مختلفی مانند شته‌ها، سفید بالک‌ها، تریپس‌ها، زنجربک‌ها، کنه‌ها، بید کلم، پسیل پسته و کرم ساقه‌خوار برنج استفاده می‌شود (Akdeniz and Ozmen, 2011; Nikakhtar et al., 2022; Amirfanak et al., 2023). آفت‌کش گیاهی ماترین برای کنترل کرم ساقه‌خوار برنج، بیدکلم و پسیل پسته به وسیله سازمان حفظ نباتات کشور به ثبت رسیده است. عصاره‌های گیاهی مانند *A. indica*، *Nicotiana tabacum* L. و *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. تأثیر قابل توجهی در کاهش مرگ و میر و بازدارندگی تغذیه لارو شب‌پره کارادرینای چغندرقد (*Spodoptera exigua* Hübner) نشان داده‌اند. در آزمایش تماسی، عصاره *A. indica* با غلظت ۱۰ درصد وزن/حجم بیشترین مرگ و میر (۶۶/۶۳ درصد) را داشت. این عصاره‌ها ضمن کاهش خسارت به گیاهان، می‌توانند جایگزین مناسبی برای آفت‌کش‌های سنتزی بوده و به مدیریت پایدار آفات کمک کنند (Asad et al., 2023). مخلوط روغن ماترین و چریش در کنترل لارو شب‌پره پشت الماسی کلم، شته پنبه، تریپس خرما و کنه تارتن دونقطه‌ای بررسی شده و اثر آفت‌کشی آنها علیه شته پنبه و لارو شب‌پره پشت الماسی بیش از ۹۵ درصد گزارش شده است (Hwang et al., 2009). همچنین در مقایسه کارایی چند حشره‌کش برای کنترل کرم غوزه پنبه (*Helicoverpa armigera* Hubner) در شرایط مزرعه، حشره‌کش ماترین توانست حدود ۵۰ درصد کنترل نسبت به شاهد در جمعیت این آفت ایجاد کند (Bagheri et al., 2021). یکی از روش‌های رایج بررسی اثرات غیرکشندگی حشره‌کش‌ها، سم‌شناسی دموگرافیک است که در این روش از فراسنجه‌های

تلفیقی آفات می‌تواند تا حد زیادی کاربرد حشره-کش‌های مصنوعی را کاهش دهد (Hikal et al., 2017). حشره‌کش‌های گیاهی به دلیل سازگاری با محیط‌زیست و کاهش خطرات برای انسان و دیگر موجودات زنده، در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات توصیه می‌شوند. این ترکیبات با تأثیر بر فراسنجه‌های زیستی آفات، می‌توانند در کنترل آنها نقش مؤثری داشته باشند. ماترین و نیمارین آفت‌کش‌های گیاهی هستند که در کشاورزی برای کنترل آفات استفاده می‌شوند (Sheibani, 2010; Nikakhtar et al., 2022). نیمارین (Neemarin) یک آفت‌کش گیاهی استخراج شده از بذر درخت چریش (*Azadirachta indica* A. Juss) است که حاوی ترکیب فعالی به نام آزادایراختین (*Azadirachtin*) است. این ترکیب از گروه ترپنوئیدهای تترانور است. آزادایراختین با اثرات چندگانه شامل بازدارندگی تغذیه‌ای، اختلال رشد لاروی، کاهش تولید مثل و باروری در حشرات بالغ، تغییر رفتار، ایجاد ناهنجاری‌های سلولی، و افزایش نرخ مرگ و میر در تخم، لارو و حشرات بالغ شناخته می‌شود (Kilani-Morakchi et al., 2021). گونه‌های مختلف گیاه چریش دارای ترکیبات ترپنی و گوگردی مختلف هستند که بعضی از این ترکیب‌ها خاصیت سمی داشته و می‌توانند به شیوه‌های گوناگون موجب مسمومیت شوند (Şengül Demirak and Canpolat, 2022). ماترین یک آلکالوئید کینولیزیدین است که از ریشه گیاه تلخ‌بیان (*Sophora flavescens* Ait.) استخراج می‌شود و این ترکیبات از طریق تماس و گوارش بر حشرات اثر می‌گذارند (Mao and Henderson, 2007; Ayil-Gutiérrez et al., 2018). ماترین با تأثیر بر سیستم عصبی و تنفسی آفات، موجب مرگ آنها می‌شود (Akdeniz and Ozmen, 2011). بررسی‌ها اثبات کرده است که اکسی ماترین در اثر

جدول زندگی و رشدی جمعیت برای ارزیابی سمیت استفاده می‌کنند (Zhao et al., 2018; Akbari et al., 2024). جداول زندگی باروری با برآورد فراسنجه‌های نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، میانگین طول مدت یک نسل (T)، و نرخ افزایش متناهی جمعیت (λ) برای توصیف زمان رشد و نمو و نرخ بقای هر مرحله رشدی، پیش‌بینی اندازه جمعیت یک آفت و ساختار سنی آن در یک زمان مشخص استفاده می‌شوند (Ansari et al., 2014). نتایج نشان داده که حشره‌کش گیاهی آزادیراختین سبب کاهش طول عمر، باروری و زادآوری *Spodoptera littoralis* Boisduval شده است (Pineda et al., 2009). در بررسی‌های مختلف تأثیر ترکیبات گیاهی مانند نیمارین و ماترین بر فراسنجه‌های جدول زندگی آفات مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داده است که ترکیباتی مانند نیمارین، علاوه بر تأثیر مستقیم بر رفتار تغذیه‌ای آفات، می‌توانند سبب کاهش نرخ رشد جمعیت و تغییر در الگوهای بقاء و تولیدمثل شوند. گزارش شد که ماترین با افزایش دوره توسعه و کاهش باروری، تأثیر منفی قابل توجهی بر رشد و تولیدمثل آفت *Plutella xylostella* L. دارد (Wang et al., 2022). در پژوهشی آفت‌کش زیستی مبتنی بر ماترین علاوه بر اثرات کشندگی، دارای اثرگذاری زیرکشنده زیادی بر حشرات و کنه‌ها بوده و با ایجاد اختلال در رشد و تولیدمثل، به‌ویژه در پروانه *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith کارایی بالایی نشان داده است (Zanardi et al., 2015). بررسی‌ها نشان داده که استفاده از روغن‌های ضروری گیاهی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر در مدیریت آفات با تأثیر بر فراسنجه‌های زیستی آنها مورد توجه قرار گیرد (Isman, 2020). با توجه به ضرورت کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی و نبود بررسی‌های پیشین در زمینه اثرات ماترین و نیمارین بر پروانه

جوانه‌خوار بلوط، هدف این پژوهش، ارزیابی اثرات کشندگی و زیرکشندگی این دو حشره‌کش گیاهی و بررسی فراسنجه‌های جدول زندگی و شاخص‌های باروری جوانه‌خوار بلوط تحت تأثیر تیمارهای مذکور بوده است. این پژوهش با هدف ارائه راهکاری زیست‌سازگار برای مدیریت این آفت مهم جنگلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری پروانه جوانه خوار بلوط

جنگل‌های بلوط استان آذربایجان غربی در جنوب غربی این استان در شهرستان‌های پیرانشهر و سردشت واقع شده است. در این بررسی درختان دارمازو (*Quercus infectoria*) به‌عنوان میزبان آفت جوانه خوار بلوط مورد استفاده قرار گرفتند. از اوایل اردیبهشت سال ۱۴۰۲ و با بازدیدهای منظم، لاروهای سن سوم پروانه جوانه خوار بلوط از جنگل‌های بلوط منطقه پردنان ($36^{\circ} 28' 699''$ و $36^{\circ} 28' 699''$ درجه شمالی و $45^{\circ} 18' 895''$ درجه شرقی) جمع‌آوری و به اتفاق آزمایشگاهی منتقل شد و برای تغذیه لاروها از برگ‌های تازه و جوان استفاده شد.

حشره‌کش‌های گیاهی مورد استفاده در بررسی

ماترین با نام تجاری روی آگرو (Rui Agro)، حشره‌کشی تماسی و گوارشی بوده و فرآورده عصاره ریشه گیاه تلخ‌بیان (*S. flavescens*)، ساخت کشور چین زیر نظر شرکت Ecocert فرانسه است که با اثر بر سیستم عصبی و تنفسی موجب مرگ آفات می‌شود. این فرآورده توسط مؤسسات بین‌المللی برای کشت‌های ارگانیک در اروپا پذیرفته شده است. حشره‌کش گیاهی نیمارین (Neemarin EC 15%) عصاره گیاهی چریش حاوی ترکیب (*A. indica*) آزادیراختین، ساخت کشور

هندوستان است که از مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور تهیه شد.

زیست‌سنجی ترکیبات گیاهی روی لاروهای سن سوم جوانه خوار بلوط

ابتدا مجموعه‌ای از آزمایش‌های مقدماتی به‌منظور به‌دست آوردن غلظت‌های کمینه و بیشینه (۸۰-۲۰ درصد) حشره‌کش‌های مورد استفاده، روی لاروهای سن سوم جوانه‌خوار بلوط انجام شد و سپس در فاصله این دو غلظت، سه غلظت به روش لگاریتمی مشخص شد. براساس نتایج حاصل از آزمایش‌ها، پنج غلظت به‌صورت لگاریتمی برای هر حشره‌کش به همراه تیمار شاهد برای آزمایش نهایی انتخاب شد. غلظت‌های مورد استفاده ماترین (۲۶/۰۰۰، ۴۸/۶۸۵، ۹۱/۷۵۹، ۱۷۱/۸۵۰ و ۳۲۱/۸۴۰ میکرولیتر بر میلی‌لیتر) و نیمارین (۶۷/۰۰۰، ۱۱۸/۸۵۰، ۲۱۳/۷۹۱، ۳۸۴/۸۹۲ و ۶۹۱/۸۳۰ میکرولیتر بر میلی‌لیتر) بودند. برگ‌های جوان بلوط به‌مدت پنج ثانیه در هر یک از تیمارها غوطه‌ور شده و در شرایط آزمایشگاه به‌مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند تا کامل خشک شوند. سپس برگ‌های تیمار شده به درون پتری‌دیش‌هایی با قطر نه سانتی‌متر که درب آنها به‌منظور تهویه سوراخ و توسط توری ارگانزا پوشانده شده بود، منتقل شدند. تعداد ۱۰ عدد لارو سن سوم داخل هر پتری‌دیش انتقال یافت. سپس پتری‌دیش‌ها به اتاقک رشد با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد منتقل شدند. با گذشت ۴۸ ساعت از زمان تیمار، تعداد لاروهای زنده و مرده در هر تیمار شمارش و ثبت شد. لاروها که با وجود تحریک با سوزن داغ پس از گذشت هشت ثانیه قادر به راه رفتن نبودند، مرده تلقی شدند.

اثرات زیرکشدگی ماترین و نیمارین بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی پروانه جوانه‌خوار بلوط

برای برآورد اثرات زیرکشدگی ماترین و نیمارین روی فراسنجه‌های زیستی پروانه جوانه‌خوار بلوط از غلظت LC₂₀ استفاده شد. دیسک‌های برگ‌ی حامل لاروهای سن سوم با غلظت LC₂₀ حشره‌کش‌های ماترین و نیمارین به روش غوطه‌وری (پنج ثانیه) تیمار شدند. در تیمار شاهد نیز از آب مقطر استفاده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، لاروهای زنده‌مانده به کمک قلم‌موی ظریفی به دیسک‌های برگ‌ی تیمارنشده منتقل شده و درصد زنده‌مانی، تعداد لارو تبدیل‌شده به شفیره، طول دوره شفیرگی، پس از تبدیل شدن به حشره بالغ و ویژگی‌های زیستی آنها شامل زنده‌مانی و تخم‌ریزی روزانه تا زمان مرگ بررسی شد.

تجزیه داده‌ها

برای تخمین مقادیر مختلف غلظت کشنده با استفاده از روش پروبیت نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام گرفت (SPSS, 2019). همچنین، داده‌های حاصل از جدول زندگی، بر اساس تئوری جدول زندگی دو جنسی سن-مرحله رشدی با استفاده از نرم‌افزار Two-sex-*MsChart* تجزیه شدند (Chi, 2024). میانگین و خطای استاندارد فراسنجه‌های جدول زندگی، با استفاده از روش Paired Bootstrap محاسبه شد و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار سیگما پلات انجام شد (SigmaPlot, 2020).

نتایج

زیست‌سنجی روی لاروهای سن سوم برگ‌خوار چغندر قند

مقادیر غلظت کشنده (LC₅₀) و زیرکشدگی (LC₂₀) حشره‌کش گیاهی ماترین و نیمارین، ۴۸ ساعت پس از تیمار لاروهای سن سوم جوانه‌خوار بلوط با حدود اطمینان ۹۵ درصد در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج نشان داد حشره‌کش گیاهی ماترین اثر کشندگی

بیشتری نسبت به نیمارین دارد.

جدول ۱- کشندگی حشره‌کش ماترین و نیمارین روی لارو سن سوم پروانه جوانه‌خوار بلوط *Tortrix viridana* بعد از ۴۸ ساعت

Table 1. Mortality of Matrine and Neemarin pesticides on 3rd larva of *Tortrix viridana* after 48 hours

LC ₂₀ (CLs) *	LC ₅₀ (CLs)	p	Intercept (+5)	χ^2 (df)	Slope±SE	Treatments تیمارها
29.20 (22.65-35.15)	80.23 (69.95-91.64)	0.001	1.349	2.08 (3)	1.91±0.15	Matrine ماترین
86.04 (67.26-103.82)	243.21 (212.65-279.72)	0.001	0.550	1.11(3)	1.86±0.16	Neemarin نیمارین

* Confidence intervals

* حدود اطمینان

در تیمار ماترین ۱۰/۸۵ روز و در تیمار نیمارین ۸/۸۴ روز بود، در حالی که این مقدار در تیمار شاهد به ۱۳/۴۰ روز رسید. این کاهش، نشان‌دهنده تأثیر زیرکشنده ترکیبات گیاهی بر بقاء حشرات کامل و توان زیستی آنها در مراحل پس از ظهور است. در مرحله شفیره نیز نتیجه مشابه مشاهده شد (جدول ۲).

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های ماترین و نیمارین بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی پروانه جوانه‌خوار بلوط مقایسه طول دوره رشد و نمو مراحل زیستی پروانه جوانه‌خوار بلوط نشان داد که طول عمر حشرات کامل در تیمارهای حاوی ترکیبات گیاهی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که میانگین طول عمر افراد بالغ

جدول ۲- مقایسه ویژگی‌های زیستی (میانگین ± خطای معیار) پروانه جوانه‌خوار بلوط، *Tortrix viridana* تیمار شده با

غلظت LC₂₀ آفت‌کش ماترین و نیمارین در مقایسه با تیمار شاهد

Table 2. Biological characteristics (Mean ± SE) of *Tortrix viridana* treated with LC₂₀ concentration of Matrine and Neemarin pesticides in comparison with control treatment

میانگین $\pm$ خطای استاندارد						مراحل رشدی Developmental stages
Mean $\pm$ SE						
نیمارین Neemarin	n	ماترین Matrine	n	شاهد Control	n	
6.22 $\pm$ 0.15 ^a	40	6.25 $\pm$ 0.10 ^a	40	6.30 $\pm$ 0.10 ^a	40	3 rd larva
10.78 $\pm$ 0.32 ^a	36	10.08 $\pm$ 0.30 ^a	38	9.18 $\pm$ 0.21 ^b	40	4 th larva
12.12 $\pm$ 0.15 ^a	32	11.59 $\pm$ 0.18 ^b	34	10.82 $\pm$ 0.17 ^c	40	5 th larva
9.42 $\pm$ 0.13 ^c	31	10.09 $\pm$ 0.13 ^b	33	11.60 $\pm$ 0.18 ^a	40	pupa
8.84 $\pm$ 0.19 ^c	31	10.85 $\pm$ 0.19 ^b	33	13.40 $\pm$ 0.24 ^a	40	Adult (all)
8.90 $\pm$ 0.24 ^c	20	10.95 $\pm$ 0.25 ^b	22	13.48 $\pm$ 0.30 ^a	27	Adult (Female♀)
8.73 $\pm$ 0.33 ^c	11	10.64 $\pm$ 0.28 ^b	11	13.23 $\pm$ 0.44 ^a	13	Adult (Male♂)

مقادیر دوره پیش از تخم گذاری بالغ APOP تیمار
نیمارین نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نشان داد در
حالی که تیمار ماترین تفاوت معنی داری نشان نداد.
طول کل دوره تخم گذاری TPOP در تیمار ماترین و
نیمارین نسبت به شاهد تفاوت معنی داری نشان داد

(جدول ۳). تعداد روزهای تخم گذاری از ۱۱/۴۸ روز
در شاهد به ۶/۳۵ روز در تیمار نیمارین و ۸/۹۵ روز در
تیمار ماترین کاهش داشت. باروری در غلظت LC₂₀
تیمارها به طور قابل توجهی نسبت به شاهد کمتر بود.

جدول ۳- طول دوره تخم ریزی، طول عمر و باروری ($\pm$ میانگین) *Tortrix viridana* تیمار شده با ماترین و نیمارین در
مقایسه با شاهد

Table 3. Oviposition period, longevity, and fecundity (mean $\pm$ SE) of *Tortrix viridana* (male and female) treated by Matrine and Neemarin in comparison with control treatment

میانگین $\pm$ خطای استاندارد						مراحل Stages
نیمارین	n	ماترین	n	شاهد	n	
Neemarin		Matrine		Control		
2.15 $\pm$ 0.11 ^a	20	1.82 $\pm$ 0.08 ^b	22	1.89 $\pm$ 0.06 ^b	27	APOP*
6.35 $\pm$ 0.26 ^c	20	8.95 $\pm$ 0.26 ^b	22	11.48 $\pm$ 0.31 ^b ^a	27	Oviposition day
42.30 $\pm$ 0.36 ^a	20	41.05 $\pm$ 0.36 ^b	22	40.44 $\pm$ 0.43 ^c	27	TPOP**
18.00 $\pm$ 0.80 ^c	20	36.09 $\pm$ 1.41 ^b	22	63.52 $\pm$ 3.04 ^a	27	Total fecundity

برآورد خطاهای استاندارد با استفاده از روش بوت استرپ و با انجام ۱۰۰۰۰۰ تکرار باز نمونه گیری انجام شد. برای بررسی تفاوت بین تیمارها، آزمون بوت استرپ زوجی به کار رفت و سطح معنی داری برابر با $p < 0.05$ در نظر گرفته شد. تفاوت های معنی دار بین تیمارها با حروف کوچک متفاوت که در کنار مقادیر میانگین در هر سطر آمده اند، نشان داده شده است.

* TPOP: کل دوره پیش تخم گذاری (از تخم تا اولین تخم گذاری)

** APOP: دوره پیش تخم گذاری بالغ (از خروج حشره بالغ تا اولین تخم گذاری)

The estimation of standard errors was performed using the bootstrap technique, involving 100000 resampling iterations. To assess differences between treatments, a paired bootstrap test was conducted, with a significance level set at $p < 0.05$. Significant differences between treatments are denoted by distinct lower-case letters accompanying the mean values within each row.

* TPOP: Total Pre-Ovipositional Period (from egg to first oviposition)

** APOP: Adult Pre-Ovipositional Period (from eclosion to first oviposition)

است که در تیمار نیمارین (۰/۰۴۸ روز) نسبت به شاهد
(۰/۰۸۱ روز) کاهش نشان داد. نرخ ناخالص تولید مثل
(GRR) که نشان دهنده تعداد لاروهای اضافه شده به
جمعیت در طول یک نسل بدون در نظر گرفتن درصد
تلفات است و مقدار آن تفاوت معنی داری را بین
تیمارهای نیمارین (۱۷/۰۳) و ماترین (۳۴/۰۷) در
مقایسه با شاهد (۷۹/۴۳) نشان داد.

فراسنجه های رشد جمعیت نسل اول پروانه
جوانه خوار بلوط در شاهد و تیمارهای ماترین و نیمارین
در جدول ۴ نشان داده شده است. نرخ خالص تولید مثل
(R_0) در شاهد (۴۲/۸۷) تخم به ازای هر ماده) و در
غلظت LC₂₀ ماترین (۱۹/۸۵) تخم به ازای هر ماده) و
نیمارین (۹/۰۰) تخم به ازای هر ماده) بود که به طور
معنی داری نسبت به شاهد کاهش داشت.

نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) نشان دهنده نرخ
تغییرات روزانه جمعیت به ازای هر فرد از آن جمعیت

جدول ۴- مقایسه میانگین ($\pm$ SE) فراسنجه‌های جدول زندگی *Tortrix viridana* تیمار شده با ماترین و نیمارین. میانگین‌ها با آزمون بوتسترپ و خطای استاندارد با ۱۰۰۰۰۰ نمونه مشخص شده است. داده‌های تیمارهایی که تفاوت معنی‌دار دارند با حروف مختلف مشخص شده است (در ردیف‌ها).

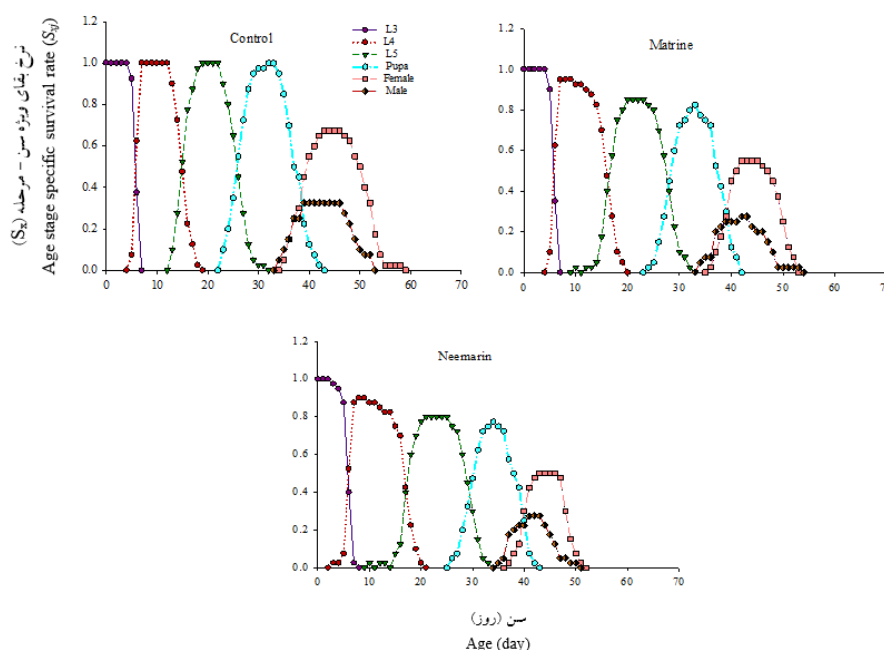
Table 4. Mean ($\pm$ SE) life table parameters for *Tortrix viridana* treated by Matrine and Neemarin. Means were separated with a paired bootstrap test ($P < 0.05$) and standard errors by bootstrap with 100000 samples. Values bearing different letters were significantly different among treatments (within rows).

میانگین $\pm$ خطای استاندارد			شاخص‌ها Parameters
Neemarin نیمارین	Matrine ماترین	شاهد Control	
9.00 $\pm$ 1.47c	19.85 $\pm$ 2.93b	42.87 $\pm$ 5.08a	R_0 (offspring/individual)
17.03 $\pm$ 2.00c	34.07 $\pm$ 3.83b	79.43 $\pm$ 10.94a	GRR
0.048 $\pm$ 0.003c	0.065 $\pm$ 0.003b	0.081 $\pm$ 0.002a	r_m (day ⁻¹)
1.04 $\pm$ 0.003c	1.06 $\pm$ 0.003b	1.08 $\pm$ 0.002a	λ (day ⁻¹)
45.68 $\pm$ 0.37a	45.72 $\pm$ 0.36a	46.08 $\pm$ 0.44a	T (day)

GRR = نرخ تولیدمثل ناخالص (تعداد تخم‌های گذاشته‌شده)، R_0 = نرخ تولیدمثل خالص (تعداد تخم‌های گذاشته‌شده به‌ازای هر کنه)، r_m = نرخ ذاتی افزایش (روز⁻¹)، λ = نرخ متناهی افزایش (روز⁻¹)، T = زمان نسل (روز) و DT = زمان دوبرابر شدن جمعیت (روز).
GRR = gross reproductive rate (eggs laid), R_0 = net reproductive rate (eggs laid/mite). r_m = intrinsic rate of increase (days⁻¹), λ = finite rate of increase (days⁻¹), T = generation time (days); DT = doubling time (days).

ماده‌ها در شاهد، نیمارین و ماترین به‌ترتیب در روزهای ۳۵، ۳۷ و ۳۶ ظاهر شدند.

منحنی نرخ بقای ویژه سنی - مرحله‌ای (S_{xj}) در شکل ۱ نشان داده شده است. طبق نتایج به‌دست آمده،

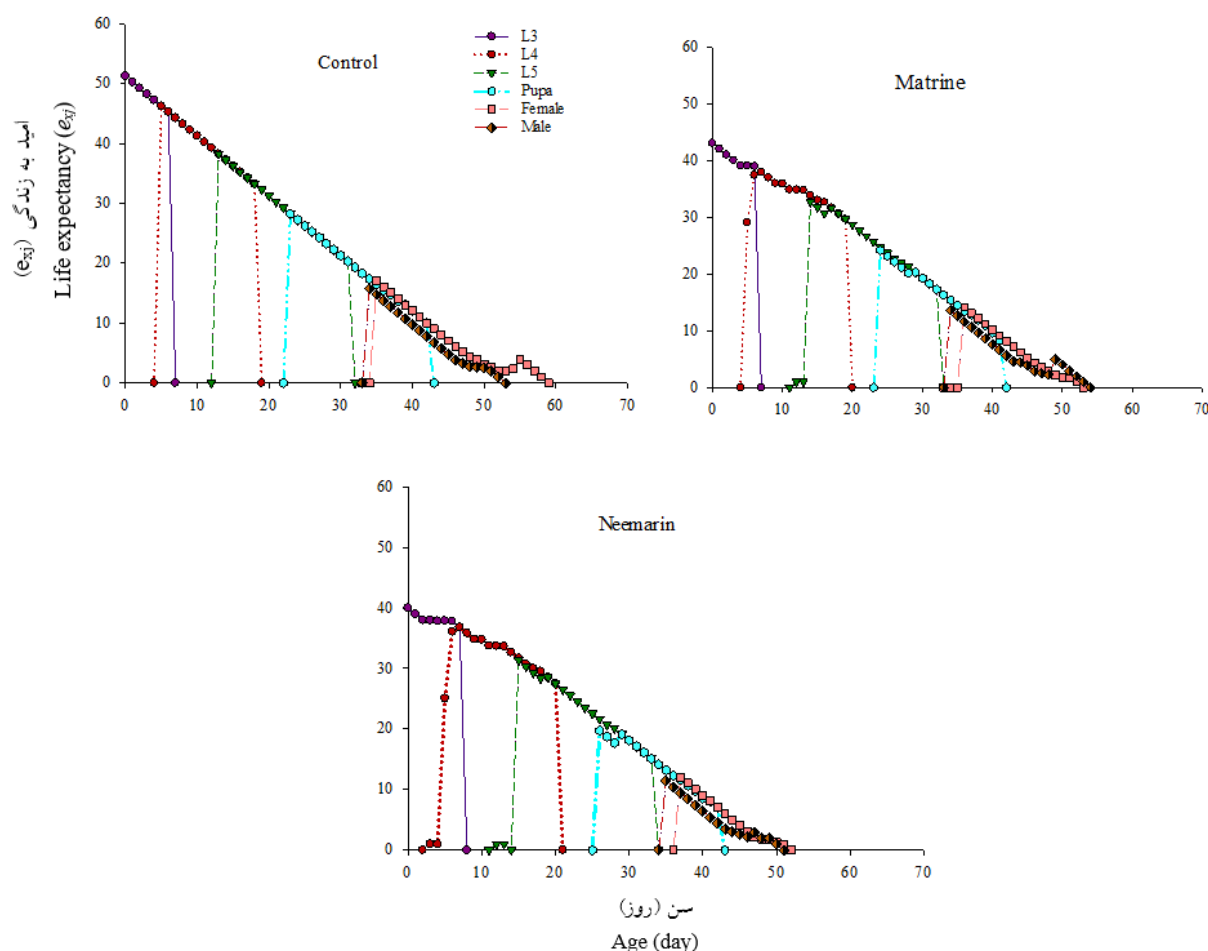


شکل ۱- منحنی بقای ویژه سنی - مرحله ای (S_{xj}) پروانه جوانه‌خوار بلوط، *Tortrix viridana* تیمار شده با غلظت LC_{20} حشره‌کش ماترین و نیمارین در مقایسه با تیمار شاهد

Figure 1. Age Stage specific survival rate value (S_{xj}) curve of *Tortrix viridana* produced by treated individuals with LC_{20} concentration of Matrine and Neemarin in comparison with control

این رقم به ترتیب ۱۴/۱۸ و ۱۲/۰۵ روز کاهش یافت. مراحل نابالغ در تیمارهای زیرکشنده نسبت به شاهد تحت تأثیر حشره کش قرار گرفتند و کاهش طول دوره را نشان دادند (شکل ۲).

امید به زندگی ویژه سنی - مرحله ای (e_{xj})، طول عمر پیش بینی شده پروانه جوانه خوار بلوط در شاهد و غلظت زیرکشنده حشره کش های گیاهی را نشان می دهد. در شاهد، اولین فرد ماده ۱۷/۰۳ روز امید به زندگی داشت، در حالی که در تیمار مترین و نیمارین

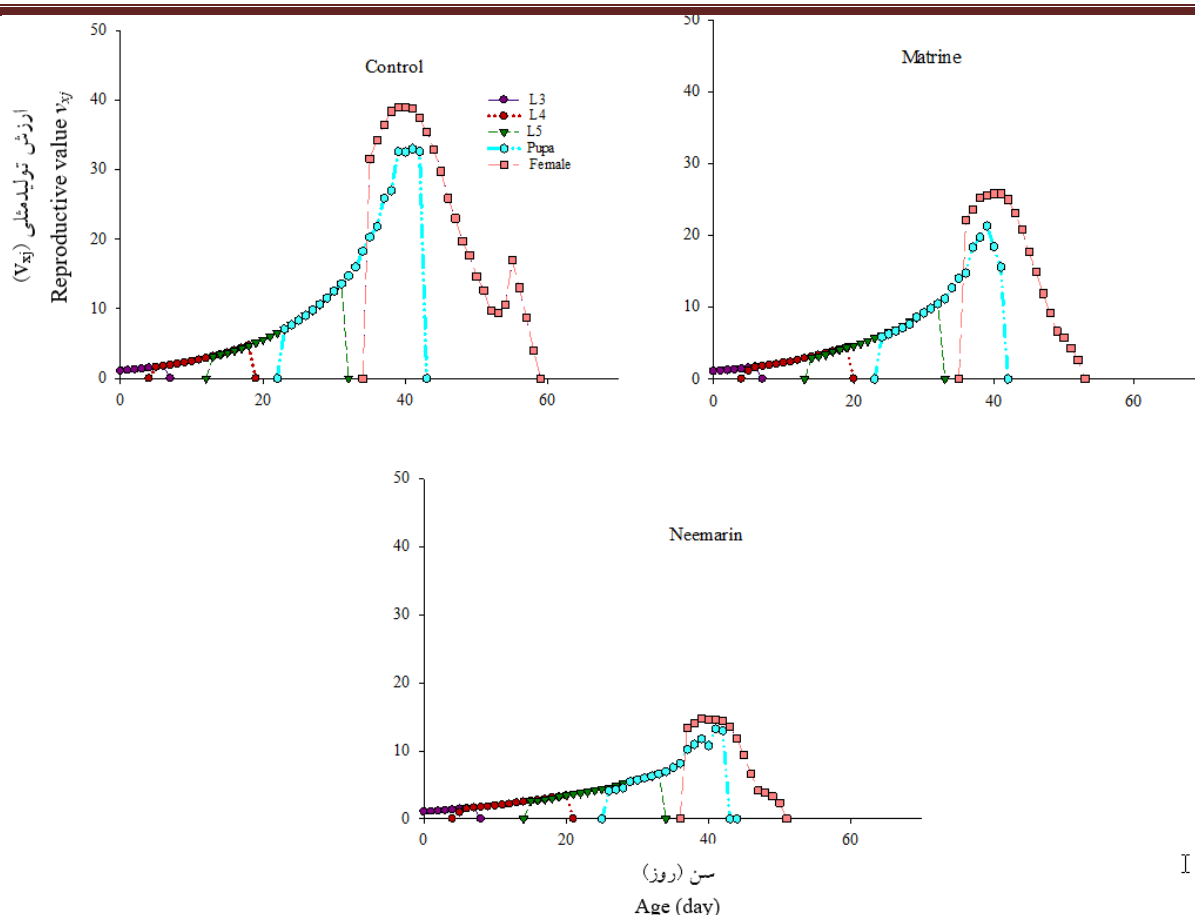


شکل ۲- منحنی امید به زندگی سنی - مرحله ای (e_{xj}) پروانه جوانه خوار بلوط، *Tortrix viridana* تیمار شده با غلظت LC_{20} حشره کش مترین و نیمارین در مقایسه با شاهد

Figure 2. Life expectancy value (e_{xj}) curve of *Tortrix viridana* produced by treated individuals with LC_{20} concentration of Matrine and Neemarin in comparison with control

حشره کش ها قرار گرفت. ارزش تولید مثلی مراحل نابالغ نیز در تیمارهای زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. با کاهش مقدار باروری و بقاء، به تدریج از مقدار این فراسنجه نیز کاسته شده و با رسیدن به مرحله پس از تخم ریزی این مقدار به صفر رسید.

شاخص ارزش تولید مثل ویژه سنی مرحله ای (v_{xj})، مقدار سهم هر فرد در ایجاد نسل بعد می باشد (شکل ۳). با توجه به نتایج به دست آمده، ارزش تولید مثلی در ماده های تیمار شده با غلظت های زیرکشنده تیمارها نسبت به شاهد کاهش داشته است و تحت تأثیر

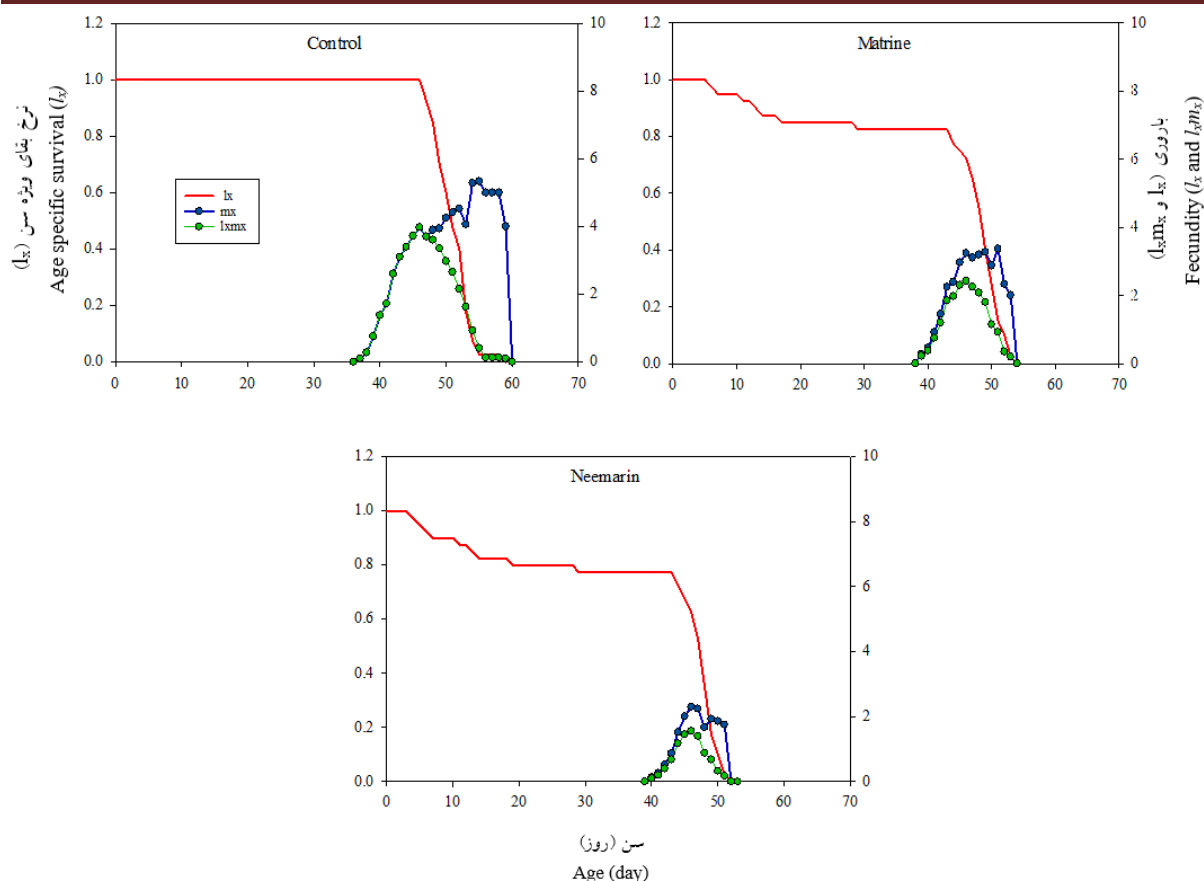


شکل ۳- منحنی ارزش تولید مثل سنی-مرحله ای (v_{xj}) پروانه جوانه‌خوار بلوط، *Tortrix viridana* تیمار شده با غلظت LC_{20} حشره‌کش ماترین و نیمارین در مقایسه با شاهد

Figure 3. Age-stage reproduction value (v_{xj}) curve of *Tortrix viridana* produced by treated individuals with LC_{20} concentration of Matrine and Neemarin in comparison with control

بیشترین باروری در روز برای شاهد ۵/۳۳ تخم در روز ۵۴ ثبت شد در حالی که بیشترین باروری روزانه در تیمار نیمارین، ۳/۳۶ تخم در روز ۵۰ و در تیمار ماترین ۲/۲۹ در روز ۴۵ از کل زندگی بود (شکل ۴).

مقدار بقاء (l_x)، زادآوری ناخالص ویژه سنی (m_x) و زادآوری خالص ویژه سنی ($l_x m_x$) در تیمارهای زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت. احتمال بقاء در تیمار LC_{20} ماترین در روز ۵۲، نیمارین در روز ۵۴ و در شاهد در روز ۵۹ به صفر رسید. مقدار



شکل ۴- منحنی بقای ویژه سنی (l_x)، زادآوری ناخالص ویژه سنی (m_x) و زادآوری خالص ویژه سنی ($l_x m_x$) پروانه

جوانه‌خوار بلوط، *T. viridana* تیمار شده با غلظت LC_{20} حشره‌کش ماترین و نیمارین در مقایسه با شاهد

Figure 4. Age-specific survival (l_x), age-specific fertility (m_x) and age-specific maternity ($l_x m_x$) curves of *T. viridana* produced by treated individuals with LC_{20} concentration of Matrine and Neemarin in comparison with control

بحث

در عرصه‌های نهالکاری، استفاده محدود و هدفمند از حشره‌کش‌های شیمیایی با رعایت اصول مدیریت تلفیقی آفات توصیه می‌شود (Ghobari et al., 2007; Zargarani et al., 2016). روش‌های مختلفی برای مدیریت آفات جوانه‌خوار در ایران ارائه شده است، اما به نظر می‌رسد بهترین و مؤثرترین روش، استفاده از ترکیباتی است که ضمن کنترل کارآمد آفت، کمترین تأثیر سوء را بر دشمنان طبیعی و محیط زیست داشته باشند و در قالب مدیریت تلفیقی به کار گرفته شوند (Sharifi et al., 2020; Kordestani et al., 2022; Akbari et al., 2024). نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیبات گیاهی ماترین و نیمارین، نه تنها دارای اثرات

در ایران، مدیریت آفت جوانه‌خوار بلوط *T. viridana* با بهره‌گیری از روش‌های مکانیکی، زیستی، شیمیایی و فیزیکی انجام می‌شود. در روش مکانیکی، هرس و انهدام شاخه‌های آلوده در فصل زمستان برای کاهش جمعیت زمستان‌گذران توصیه می‌شود. در کنترل زیستی، استفاده از دشمنان طبیعی مانند زنبورهای پارازیتوئید و پرندگان حشره‌خوار مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، استفاده از تله‌های فرمونی برای پایش جمعیت حشرات کامل و اختلال در رفتار جفت‌گیری به عنوان یکی از روش‌های فیزیکی مؤثر در کنترل آفت به کار می‌رود. در موارد طغیان آفت، به‌ویژه

کشنده مستقیم روی لاروهای سن سوم پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) بودند، بلکه در غلظت‌های زیرکشنده نیز موجب بروز تغییرات قابل توجهی در شاخص‌های زیستی و رشد جمعیت این آفت شدند. بررسی‌های پیشین تأکید کرده‌اند که نیمارین دارای سمیت بسیار کم برای پستانداران، قابلیت تجزیه سریع در محیط و اثرات انتخابی بر دشمنان طبیعی است (Khater, 2012). کاهش معنی‌دار در طول عمر بالغین، دوره تخم‌گذاری، مقدار باروری و فراسنجه‌های جدول زندگی مانند نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0) و امید به زندگی ویژه سنی (e_{xT})، حاکی از اثرگذاری پایدار و غیرمستقیم این ترکیبات بر پویایی جمعیت آفت است. این یافته‌ها اهمیت توجه به اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های گیاهی را در ارزیابی کارایی آنها دوچندان می‌کند، چرا که در بسیاری از موارد، کاهش نرخ رشد جمعیت و زادآوری می‌تواند به مراتب تأثیرگذارتر از مرگ‌ومیر اولیه باشد. از آنجا که اطلاعات پیشین درباره اثرات ماترین و نیمارین بر *T. viridana* بسیار محدود بوده، نتایج این بررسی می‌تواند مبنایی کاربردی برای استفاده از این ترکیبات در مدیریت زیست‌سازگار آفات جنگلی، به‌ویژه در مناطق زاگرس، فراهم کند.

از گیاهان دارای خواص حشره‌کشی سازگار با محیط زیست، درخت چریش *A. indica* است که به دلیل ظرفیت بالای حشره‌کشی، در تولید آفت‌کش‌های گیاهی متعددی به کار می‌رود (Ferreira et al., 2023). همچنین قرار دادن حشرات کامل در معرض ترکیبات آزادشده از عصاره‌های گیاهی به‌صورت موضعی، سطحی یا از طریق تغذیه می‌تواند موجب کاهش زادآوری و باروری در گروه‌های مختلف حشرات، به ویژه در راسته بال‌پولکداران شود (Martins et al., 2020).

در این پژوهش مقدار LC_{50} نشان داد که لاروهای *T. viridana* حساسیت بالاتری به ماترین نسبت به نیمارین داشتند. این یافته با نتایج بررسی (Zanardi et al., 2015) هم‌راستا است که نشان دادند ماترین موجب اثرات کشنده و زیرکشنده قابل توجهی بر گونه‌های مختلف آفات کشاورزی مانند *S. frugiperda* و *Panonychus citri* می‌شود و فعالیت کشنده آن حتی در مقایسه با برخی حشره‌کش‌های شیمیایی نیز قابل رقابت است. همچنین در پژوهش کاربرد سیستمیک حشره‌کش‌های مبتنی بر عصاره نیمارین با استفاده از روش‌های نوین تزریق، توانست به‌طور مؤثری جمعیت آفت جنگلی جوانه‌خوار صنوبر *Choristoneura fumiferana* Clemens را کاهش دهد (Helson et al., 2001). علاوه بر این، سمیت ماترین در مقابله با *Frankliniella occidentalis* Pergande نیز تأیید شده است؛ به‌طوری که غلظت LC_{50} آن برای این آفت ۹۰/۳۴ میکرولیتر بر میلی‌لیتر گزارش شد، که نشان‌دهنده اثربخشی بالا بر تریپس گل غربی در شرایط آزمایشگاهی است (Kordestani et al., 2021). در یک بررسی، مقایسه کارایی حشره‌کش ماترین با حشره‌کش‌های مالاتیون و هگزافلومرون در کنترل سوسک برگ‌خوار غلات *Lema melanopa* L. در شرایط مزرعه‌ای نشان داد که ماترین توانایی کنترل این آفت را همانند حشره‌کش پرخطر مالاتیون داشته و می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای آن باشد و با توجه به اینکه منشأ ماترین از عصاره گیاه تلخ‌بیان است، تأثیر سوء اندکی روی محیط زیست دارد (Sharifi et al., 2020).

همچنین، کاهش در مقدار باروری، طول دوره تخم‌گذاری و نرخ رشد جمعیت در این بررسی، با گزارش‌های پیشین هماهنگ است. برای مثال، Pineda

کشنده مستقیم روی لاروهای سن سوم پروانه جوانه‌خوار بلوط (*T. viridana*) بودند، بلکه در غلظت‌های زیرکشنده نیز موجب بروز تغییرات قابل توجهی در شاخص‌های زیستی و رشد جمعیت این آفت شدند. بررسی‌های پیشین تأکید کرده‌اند که نیمارین دارای سمیت بسیار کم برای پستانداران، قابلیت تجزیه سریع در محیط و اثرات انتخابی بر دشمنان طبیعی است (Khater, 2012). کاهش معنی‌دار در طول عمر بالغین، دوره تخم‌گذاری، مقدار باروری و فراسنجه‌های جدول زندگی مانند نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0) و امید به زندگی ویژه سنی (e_{xT})، حاکی از اثرگذاری پایدار و غیرمستقیم این ترکیبات بر پویایی جمعیت آفت است. این یافته‌ها اهمیت توجه به اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های گیاهی را در ارزیابی کارایی آنها دوچندان می‌کند، چرا که در بسیاری از موارد، کاهش نرخ رشد جمعیت و زادآوری می‌تواند به مراتب تأثیرگذارتر از مرگ‌ومیر اولیه باشد. از آنجا که اطلاعات پیشین درباره اثرات ماترین و نیمارین بر *T. viridana* بسیار محدود بوده، نتایج این بررسی می‌تواند مبنایی کاربردی برای استفاده از این ترکیبات در مدیریت زیست‌سازگار آفات جنگلی، به‌ویژه در مناطق زاگرس، فراهم کند.

از گیاهان دارای خواص حشره‌کشی سازگار با محیط زیست، درخت چریش *A. indica* است که به دلیل ظرفیت بالای حشره‌کشی، در تولید آفت‌کش‌های گیاهی متعددی به کار می‌رود (Ferreira et al., 2023). همچنین قرار دادن حشرات کامل در معرض ترکیبات آزادشده از عصاره‌های گیاهی به‌صورت موضعی، سطحی یا از طریق تغذیه می‌تواند موجب کاهش زادآوری و باروری در گروه‌های مختلف حشرات، به ویژه در راسته بال‌پولکداران شود (Martins et al., 2020).

افراد ماده کمتری را در هر نسل تولید کرده و مقدار R_0 کمتر بود و نرخ افزایش طبیعی جمعیت در هر روز (r_m) نیز نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (Martins et al., 2023).

نتیجه گیری کلی

این یافته ها در مجموع تأیید می کنند که استفاده از ترکیبات گیاهی مانند ماترین و نیمارین، علاوه بر کاهش سریع جمعیت آفت جوانه خوار بلوط *T. viridana* از طریق اثرات کشنده، می تواند به کنترل بلندمدت این آفات جنگلی از طریق اثرات زیرکشنده نیز کمک کند. چنین ترکیباتی به ویژه در شرایط جنگل های طبیعی که استفاده از سموم شیمیایی به دلیل مخاطرات محیط زیستی با محدودیت همراه است، می توانند گزینه ای مؤثر و ایمن تلقی شوند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری ارزشمند کارشناسان محترم آزمایشگاه حشره شناسی گروه گیاه پزشکی دانشکده کشاورزی ارومیه در اجرای این پژوهش کمال تشکر و قدردانی می شود.

References

- Akbari, S.; Aramideh, Sh.; Mirfakhraie, Sh.; Safaralizadeh, M.H., Compatibility of entomopathogenic fungi and imidacloprid (Confidor®) on biological characteristics and life table of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *International Journal of Tropical Insect Science* **2024**, 44: 2927-2938.
- 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., Effects of the entomopathogenic fungus, *Beauveria*

et al. (2009) کاهش معنی داری در باروری و زنده ماندی حشرات کامل *S. littoralis* پس از تیمار با ترکیبات آزادیراکتین را گزارش کردند. علاوه بر این، پژوهشی نشان داد که عصاره های گیاهی *A. indica* و *N. tabacum* موجب مرگ و میر بالا و کاهش تغذیه در *S. exigua* شده اند که نشان دهنده پتانسیل ترکیبات گیاهی در کاهش جمعیت آفات است (Asad et al., 2023).

در این پژوهش، تأثیر ترکیبات گیاهی در کاهش شاخص های مهم جدول زندگی مانند نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) و امید به زندگی ویژه سنی (e_{xj}) نیز تأیید شد. نتایج مشابهی نشان داد که ماترین با کاهش نرخ باروری و افزایش طول دوره رشد، تأثیر منفی زیادی بر جمعیت *P. xylostella* داشت (Wang et al., 2022). در پژوهشی نشان داده شد که حشرات تیمارشده با غلظت های LC₂₅ عصاره های گیاهی آزاماکس مشتق از درخت چریش (مانند نیمارین) دچار کاهش زیادی در فراسنجه های رشد، نرخ تولیدمثل و طول عمر *S. frugiperda* می شوند. همچنین، افراد بالغی که از لاروهای تغذیه شده با این ترکیبات حاصل شدند، تعداد

- 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).
- Akdeniz, D.; Ozmen, A., Antimitotic effects of the biopesticide oxymatrine. *Caryologia* **2011**, 64: 117-120.
- Amirfanak, V.; Safavi, S.A; Forouzan, M., Study on the life table parameters of the cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) influenced by sublethal concentrations of the matrine. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)* **2023**, 45(4): 19-35.
- Ansari, A.; Gheibi, M.; Hesami, Sh., Effects of Azadirachtin on reproductive parameters of aphid rose, *Macrosiphum rosae* (Hemiptera: Aphididae) in the laboratory conditions.

- Plant Protection Journal* **2014**, 6(3): 225-244.
- Alehosseini, S.A.; Saadati, S. H.; Zarghani, H. H., Study of population dynamics of oak tortrix moth (*Tortrix viridana*) and its natural enemies in Fars province. *Journal of Plant Protection* **2013**, 5, 1-12.
- Alijanpour, A.; Zargaran, M.R.; Motallebi Tape Rasht, R., Survey on nutritional indices of Green Oak Leaf Roller (*Tortrix viridana* L.) in grouping and individual nutrition methods. *Forest Research and Development* **2016**, 1 (3): 181-193. (In Persian).
- Ayil-Gutiérrez, B.A.; Sánchez-Teyer, L.F.; Monforte, M.; Vasquez-Flota, F., Biological effects of natural products against *Spodoptera* spp. *Crop Protection* **2018**, 114: 195-207.
- Asad M.; Khan R. R.; Aljuboory A. B.; Rashid M. H. U.; Kumar U.; Haq I. U.; Hafeez A.; Noureldeen A.; Alharbi K., Toxic and Antifeedant Effects of Different Pesticidal Plant Extracts against Beet Armyworm (*Spodoptera exigua*), *Phyton-International Journal of Experimental Botany* **2023**, 92 (4): 1161-1172.
- Bagheri, N.; Mohammadi Sharif, M.; Golmohammadi, G.H., Comparing the efficacy of some chemical and non-chemical insecticides for control of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hubner) under cotton field conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)* **2021**, 44(3): 1-11.
- Bertić, M.; Orgel, F.; Gschwendtner, S.; Schlöter, M.; Moritz, F.; Schmitt-Kopplin, P.; Zimmer, I.; Fladung, M.; Schnitzler, J.-P.; Schroeder, H.; Ghirardo, A., European oak metabolites shape digestion and fitness of the herbivore *Tortrix viridana*. *Functional Ecology* **2023**, 37(5), 1476-1491.
- Chi, H., **2024**. *TWOSEX-MSChart (Version x.x) [Computer software]*. National Chung Hsing University. <http://140.120.197.173/Ecology/>
- Ferreira, J.A.; Esparraguera, L.B.; Queiroz, S.C.N.; Bottoli, C.B.G., Vegetative Endotherapy—Advances, Perspectives, and Challenges. *Agriculture* **2023**, 13, 1465. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071465>
- Geraldin, M.W.L.; James W.M.; Ernest, R.M., Phytochemical Activity and Role of Botanical Pesticides in Pest Management for Sustainable Agricultural Crop Production. *Scientific African* **2020**, 7: e00239.
- Ghobari, H.; Goldansaz, S. H.; Askari, H.; Ashouri, A.; Kharazi-Pakdel, A.; Bihamta, M. R., *Investigation of presence, distribution and flight period of oak leaf roller moth, Tortrix viridana* (Lep.: Tortricidae) using pheromone traps in Kurdistan province, *Journal of Entomological society of Iran* **2007**, 27(1): 47-59.
- Helson, B.V.; Lyons, D.B.; Wanner, K.W., Control of conifer defoliators with neem-based systemic bioinsecticides using a novel injection device. *The Canadian Entomologist* **2001**, 133(5): 729-744.
- Hikal, W.M.; Baeshen, R.S.; Said, A., Botanical insecticide as simple extractives for pest control. *Cogent Biology* **2017**, 3(1): 1404274.
- Hosseinzadeh, A., Bioecology of oak leaf roller (Lepidoptera: Tortricidae) *Tortrix viridana* L. in west Azarbayjan. In: 19th Iranian Plant Protection Congress, Urmia, Iran, **2010**. pp. 9-12. (In Persian).
- Hwang, I.C.; Kim, J.; Kim, H.M.; Kim, D.I.; Kim, S.G.; Kim, S.S.; Jang, C., Evaluation of toxicity of plant extract made by neem and matrine against main pests and natural enemies. *Korean Journal of Applied Entomology* **2009**, 48(1): 87-94.
- Isman, MB., **2020**. Botanical Insecticides in the Twenty-First Century-Fulfilling Their Promise? Annual Review of Entomology, 7(65): 233-249.
- Jamali, S.; Haack R. A., From Glory to Decline: Uncovering Causes of Oak Decline in Iran. *Forest Pathology* **2024**, 54: e12898.
- Khater, H.F., Prospects of botanical biopesticides in insect pest management. *Pharmacologia* **2012**, 3(12): 641-656.
- Kilani-Morakchi, S.; Morakchi-Goudjil, H.; Sifi, K., Azadirachtin-based insecticide: Overview, risk assessments, and future directions. *Frontiers in Agronomy* **2021**, 3: 676208.
- Kordestani, M.; Mahdian, K.; Baniamari, V.; Sheikhi Garjan, A., Proteus, Matrine, and Pyridalyl toxicity and their sublethal effects on *Qrius laevigatus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Journal of Economic Entomology* **2022**, 115(2): 573-581.
- Mao, L.; Henderson, G., Antifeedant Activity and Acute and Residual Toxicity of Alkaloids from *Sophora fl avescens* (Leguminosae) Against Formosan *Subterranean Termites* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of*

- Economic Entomology* **2007**, 100(3): 866-870.
- Martins, L.N.; Geisler, F.C.S.; Rakes, M.; Araújo, M.B.; Amandio, D.T.T.; da Rosa APSA; 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** Jun;113(3):306-314.
- Nikakhtar, S.; Aramideh, Sh.; Mirfakhraie, Sh.; Frouzan, M., Effect of three commercial formulations includes Nimbecidine, NeemAzal T/S and Kofa from plant compound of neem on the biological stages of *Trialeurodes vaporariorum* (Hem.: Aleyrodidae) and its parasitoid, *Encarsia formosa*. *Plant Pest Research* **2022**, 12(1): 59-72. (In Persian).
- Mannu, R.; Olivieri, M.; Ruiiu, L.; Serra, G.; Fadda, M. L.; Lentini, A., Application timing affects the efficacy of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* against *Tortrix viridana* in deciduous oak forests. *Biological Control* **2024**, 198, 105631.
- Pineda, S.; Martínez, A. M.; Figueroa, J. I.; Schneider, M. I.; Del Estal, P.; Viñuela, E.; Gómez, B.; Smagghe, G.; Budia, F., Influence of azadirachtin and methoxyfenozide on life parameters of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* **2009**, 102(4): 1490-1496.
- Rabelo, M.M.; Santos, I.B.; Paula-Moraes, S.V., *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) Fitness and Resistance Stability to Diamide and Pyrethroid Insecticides in the United States. *Insects* **2022**, 13(4):365.
- Şengül Demirak, M.Ş.; Canpolat, E., Plant-Based Bioinsecticides for Mosquito Control: Impact on Insecticide Resistance and Disease Transmission. *Insects* **2022**, 13: 162.
- Sharifi, M.; Mobasheri, M.T.; GHaderi, K.; Shahkooi, S.M., Comparing the efficacy of new insecticide on agro with Malathion and Hexafluorene insecticides to control the cereal leaf beetle *Lema melanopa* (Col.: Chrysomelidae) in field conditions. *Iranian Journal of Entomological Research* **2020**, 45(1): 51-60. (In Persian).
- Sheibani, Z.T., Effect of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* on first, second and third ages of white leafeating butterfly larvae of Pistachio *Ocneria terebinthina* (Lep.: Lymanteridae). *Journal of Research in Agricultural Science* **2010**, 6 (11): 83- 92.
- SigmaPlot, 2020 SigmaPlot 15 for Windows Version 15.0. Statistics for User's Guide. Systat Software Inc., Chicago, p 578
- SPSS, IBM Corp., 2019. *IBM SPSS Statistics for Windows (Version 26.0) [Computer software]*. IBM Corp.
- Wang, D.; Lv, W.; Yuan, Y.; Zhang, T.; Teng, H.; Losey, J. E.; Chang, X., Effects of insecticides on malacostraca when managing diamondback moth (*Plutella xylostella*) in combination planting-rearing fields. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **2022**, 229: 1-7.
- Zanardi, O. Z.; Ribeiro, L. P.; Ansante, T. F.; Santos, M. S.; Bordini, G. P.; Yamamoto, P. T.; Vendramim, J. D., Bioactivity of a matrine-based biopesticide against four pest species of agricultural importance. *Crop Protection* **2015**, 67, 160-167.
- Zhao, Y.; Wang, Q.; Ding, J.; Wang, Y.; Zhang, Z.; Liu, F.; Mu, W., Sub lethal effects of chlorfenapyr on the life table parameters, nutritional physiology and enzymatic properties of *Bradysia odoriphage* (Diptera: Sciaridae). *Pesticide Biochemistry and Physiology* **2018**, 148: 93-102.
- Zargaran, M. R.; Mousavi Mirkala, S. R.; Banj Shafiei A.; Ramezani kakroudi, E., Survey on biology of *Tortrix viridana* L. in laboratory and field conditions and its distribution in West-Azerbaijan. *Forest Research and Development* **2015**, 1 (1): 31-42. (In Persian).
- Zargaran, M. R.; Banj Shafiei A.; Mousavi Mirkala, S. R.; Ramezani kakroudi, E., Survey on bio-ecology of *Tortrix viridana* and its distribution in West-Azerbaijan province. *Iranian Journal of Plant Protection Science* **2016**, 47(2): 231-240.