Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research

DOI: 10.22092/ijmapr.2026.369283.3539

Vol. 42, No. 2, Page 307-326 (2026)

# Effects of three botanical pesticides, matrine, neemarin, and tondexir on mortality, life table parameters, and nutritional indices of the Beet Armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)"

**Samaneh Akbari[1], Shahram Aramideh[2*] and Mahdieh Mousavi[3]**

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2*. Corresponding Author, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, E-mail: Sh.aramideh@urmia.ac.ir
3. Plant Protection Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Kurdistan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sanandaj, Iran

Received: 27/04/2025 Revised: 01/07/2026 Accepted: 02/07/2026

## Abstract

**Background and Objectives**: Several plant secondary metabolites can act as botanical insecticides. These compounds exert their insecticidal effects by disrupting molecular, biochemical, and physiological processes, thereby impairing insect feeding, growth, and survival. This study investigated the lethal and sublethal effects, as well as the effects on nutritional indices, of three botanical insecticides, matrine, neemarin, and tondexir, on third-instar larvae of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* Hübner, a major pest of sugar beet.

**Methodology:** To determine the $LC_{50}$ values, sublethal effects, and nutritional indices of *S. exigua*, larvae were reared under laboratory conditions and exposed to three botanical insecticides: matrine (commercial name: Rui Agro; derived from *Sophora flavescens* Ait.), neemarin (EC 15%; derived from *Azadirachta indica* Juss. seeds), and tondexir (EC 80%; an oily extract of *Capsicum annuum* L.). Following preliminary tests, five logarithmically spaced concentrations of each insecticide were prepared. Treated sugar beet leaves were provided to third-instar larvae, and larval mortality was recorded after 48 h. Sublethal effects were evaluated at the $LC_{25}$ concentration of each insecticide. Treated larvae were monitored until adulthood, and biological parameters, including survival and fecundity, were recorded. To assess the effects of the different dietary treatments on the nutritional indices of third-instar larvae, food consumption, larval growth, and frass production were measured. Data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA). Lethal concentration values were estimated using probit analysis in SPSS, and life table parameters were analyzed based on age-stage, two-sex life table theory using TwoSex-MSChart software.

**Results:** The $LC_{50}$ values of matrine, neemarin, and tondexir against third-instar *S. exigua* larvae after 48 h were 47.61, 153.83, and 221.14 µL/mL, respectively. Sublethal effects were evaluated at the $LC_{25}$ concentrations. Adult longevity and fecundity were significantly reduced by all botanical insecticide treatments compared with the control. The mean oviposition period of adult females decreased from 9.4 days in the control group to 4.90, 7.41, and 7.78 days in the matrine, neemarin, and tondexir treatments, respectively. The net reproductive rate ($R_0$) decreased from 283.60 offspring per female per generation in the control group to 80.50, 162.57,

Copyright: © 2026 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

and 184.22 offspring per female per generation in the matrine, neemarin, and tondexir treatments, respectively. The intrinsic rate of increase ($r$□) was 0.159 day$^{-1}$ in the matrine treatment and 0.167 day$^{-1}$ in the control group. Other life table parameters, including the finite rate of increase ($\lambda$), gross reproductive rate (*GRR*), and mean generation time (*T*), were also significantly reduced in all treatments compared with the control. In addition, nutritional indices, including the relative consumption rate (RCR), relative growth rate (RGR), efficiency of conversion of ingested food (ECI), and efficiency of conversion of digested food (ECD), were significantly lower in larvae fed treated diets. Overall, matrine showed the greatest efficacy across all three categories, lethal, sublethal, and nutritional, compared with neemarin and tondexir.

**Conclusion:** The findings indicate that the tested botanical insecticides significantly affected the lethality, sublethal responses, and nutritional indices of *S. exigua*. Matrine, neemarin, and tondexir may serve as environmentally friendly and sustainable alternatives for integrated management of beet armyworms. Their use could reduce reliance on synthetic insecticides and associated environmental risks, thereby contributing to more sustainable and effective pest management strategies.

**Keywords:** Botanical insecticide, nutritional indices, *Spodoptera exigua*, life table, bioassay.

# تأثیر سه آفت‌کش گیاهی ماترین، نیمارین و تنداکسیر بر کشندگی، فراسنجه‌های جدول زیستی و شاخص تغذیه آفت چغندرقند (*Spodoptera exigua* Hubner)

سمانه اکبری[۱]، شهرام آرمیده[۲*] و مهدیه موسوی[۳]

۱- فارغ‌التحصیل دکتری، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲*- نویسنده مسؤول، دانشیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، پست‌الکترونیک: Sh.aramideh@urmia.ac.ir

۳- استادیار، بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۱

## چکیده

**سابقه و هدف:** تعدادی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی می‌توانند به‌عنوان حشره‌کش‌های گیاهی عمل کنند. این ترکیبات با تأثیر بر فرایندهای مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی حشرات، منجر به کاهش تغذیه، رشد و بقاء می‌گردند. در این پژوهش اثر کشنده، زیرکشنده و تأثیر روی شاخص تغذیه‌ای در لارو سن سوم کرم برگ‌خوار کارادرینا (*Spodoptera exigua* Hubner) آفت مهم گیاه چغندرقند تحت تأثیر سه آفت‌کش گیاهی ماترین، نیمارین و تنداکسیر بررسی شد.

**مواد و روش‌ها:** برای تعیین $LC_{50}$، زیرکشندگی و شاخص تغذیه کرم برگ‌خوار چغندرقند، آفت مذکور در شرایط آزمایشگاهی پرورش داده شد و تحت تأثیر ترکیبات گیاهی ماترین با نام تجاری روی آگرو (Rui Agro) عصاره تلخه‌بیان (*Sophora flavescens* Ait.)، حشره‌کش گیاهی نیمارین (EC 15%) حاصل از عصاره دانه‌های درخت نیم یا چریش (*Azadirachta indica* A. Juss) و حشره‌کش گیاهی تنداکسیر (EC 80%) عصاره روغنی فلفل قرمز (*Capsicum annuum* L.) قرار گرفت. پس از انجام آزمایش‌های مقدماتی، پنج غلظت از هر حشره‌کش به‌صورت لگاریتمی تعیین و برگ‌های چغندرقند با این غلظت‌ها تیمار و لاروهای سن سوم در معرض آن قرار گرفتند. سپس میزان مرگ‌ومیر لاروها پس از ۴۸ ساعت ارزیابی شد. برای بررسی اثر زیرکشندگی، از غلظت $LC_{25}$ هر حشره‌کش استفاده گردید. لاروهای هم‌سن پس از تیمار، تا زمان بلوغ بررسی شدند و ویژگی‌های زیستی مانند زنده‌مانی و پوره‌زایی ثبت گردید. برای مقایسه اثر رژیم‌های غذایی مختلف بر شاخص‌های تغذیه لارو سن سوم پروانه برگ‌خوار چغندرقند، که به‌صورت انفرادی با برگ‌های تیمارشده با غلظت زیر کشنده تغذیه شده و میزان مصرف غذا، رشد و دفع فضولات اندازه‌گیری شده بود، از تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. برای تخمین مقادیر مختلف غلظت کشنده از روش پروبیت و نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. همچنین، داده‌های حاصل از جدول زندگی، براساس تئوری جدول زندگی دو جنسی سن- مرحله رشدی با استفاده از نرم‌افزار Twosex- MsChart تجزیه شدند.

**نتایج:** مقدار $LC_{50}$ حشره‌کش ماترین، نیمارین و تند اکسیر روی لارو سن سوم برگ‌خوار چغندرقند بعد از ۴۸ ساعت به ترتیب ۴۷۶/۱۲، ۱۵۳۸/۳۴ و ۲۲۱۱/۴۸ ppm بدست آمد. برای برآورد اثر زیرکشندگی ماترین، نیمارین و تند اکسیر روی فراسنجه‌های زیستی برگ‌خوار چغندرقند از غلظت $LC_{25}$ استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر و باروری کرم برگ‌خوار چغندر قند بالغ در غلظت زیرکشنده ترکیبات گیاهی مذکور نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر بود. میانگین طول دوره تخم‌ریزی پروانه‌های ماده بالغ تحت تأثیر غلظت زیرکشنده این ترکیبات گیاهی از ۹/۴ روز در شاهد به ۴/۹۰ روز در تیمار ماترین، ۷/۴۱ روز در نیمارین و ۷/۷۸ روز در تنداکسیر کاهش یافت. همچنین میزان خالص تولیدمثل ($R_0$) از ۲۸۳/۶۰ پوره به ازای هر ماده در هر نسل در تیمار شاهد به‌ترتیب ۸۰/۵، ۱۶۲/۵۷ و ۱۸۴/۲۲ پوره، در غلظت زیرکشنده ماترین، نیمارین و تنداکسیر کاهش یافت. نرخ ذاتی افزایش جمعیت ($r_m$) در ماترین ۰/۱۵۹ بر روز و در شاهد ۰/۱۶۷ بر روز ثبت شد. سایر فراسنجه‌ها مانند نرخ متناهی افزایش جمعیت ($\lambda$)، نرخ ناخالص

تولیدمثل (*GRR*) و میانگین طول یک نسل (*T*) نیز به‌طور معنی‌داری در تیمارها (ماترین، نیمارین و تنداکسیر) نسبت به شاهد کاهش یافتند و در ارزیابی شاخص‌های تغذیه‌ای روی لاروهای سن سوم نرخ نسبی رشد (RCR)، نرخ نسبی مصرف (RGR)، کارآیی تبدیل غذای خورده شده (ECI) و کارآیی تبدیل غذای هضم شده (ECD) در لاروهای تغذیه شده با مواد غذایی تیمار شده با ماترین، نیمارین و تنداکسیر، نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در کل تیمار ماترین نسبت به نیمارین و تنداکسیر در هر سه فاکتور کشندگی، زیرکشندگی و شاخص تغذیه عملکرد بهتری روی برگ‌خوار چغندرقند نشان داد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این تحقیق نشان داد که این ترکیبات گیاهی اثرهای قابل ملاحظه‌ای روی شاخص تغذیه، کشندگی و زیرکشندگی برگ‌خوار چغندرقند دارند. ترکیبات گیاهی ماترین، نیمارین و تنداکسیر می‌توانند به‌عنوان راهکاری پایدار و دوست‌دار محیط‌زیست در مدیریت تلفیقی آفت برگ‌خوار چغندرقند مورد توجه قرار گیرند. این ترکیبات با کاهش وابستگی به حشره‌کش‌های شیمیایی و کاهش خطرات زیست‌محیطی، می‌توانند به بهبود راهبردهای مدیریت آفات کمک کنند.

**واژه‌های کلیدی:** حشره‌کش گیاهی، شاخص تغذیه‌ای، برگ‌خوار چغندرقند، جدول زندگی، زیست‌سنجی.

## مقدمه

کرم برگ‌خوار چغندرقند (*Spodoptera exigua* Hubner) یکی از آفات مهم و مخرب در مزارع چغندرقند در سراسر جهان است و از آنجایی که آفتی چندخوار است، علاوه بر چغندرقند به محصولات متعددی مانند گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، ذرت، پنبه، نخودفرنگی، لوبیا، پیاز و یونجه حمله می‌کند (Babu & Singh, 2021؛ Hafeez *et al*., 2022؛ Rajesh Chowdary *et al*., 2024).

این حشره با تغذیه از برگ‌های گیاه، باعث کاهش سطح فتوسنتز، کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (Salmani-Moghanlou *et al*., 2021;). کنترل این آفت عمدتاً با استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی انجام می‌شود، اما استفاده مکرر از این سموم منجر به توسعه مقاومت، آلودگی محیط‌زیست و خطر برای سایر حشرات مفید شده است (Mehrkhou, 2015; Rabelo *et al*., 2020).

حشره‌کش‌های گیاهی مؤثر، ارزان، قابل تجزیه، دارای منابع در دسترس و سمیت کم برای محیط‌زیست و موجودات غیرهدف می‌باشد (Geraldin *et al*., 2020). استفاده از حشره‌کش‌های گیاهی در برنامه مدیریت تلفیقی حشرات 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 سایر موجودات زنده، در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات توصیه می‌شود. این ترکیبات با تأثیر بر شاخص‌های تغذیه‌ای و فراسنجه‌های جدول زندگی آفات، می‌توانند در کنترل آنها نقش مؤثری داشته باشند. ماترین، نیمارین و تنداکسیر حشره‌کش‌های گیاهی هستند که در کشاورزی برای کنترل آفات استفاده می‌شوند. نیمارین یک حشره‌کش گیاهی است که از عصاره دانه‌های درخت نیم (*Azadirachta indica* A. Juss) استخراج می‌شود و حاوی ترکیب فعالی به نام آزادیراختین است. این ترکیب با اختلال در فرایندهای رشد و تغذیه آفات، آنها را کنترل می‌کند (Şengül Demirak & Canpolat, 2022). مطالعات علمی مختلف اثربخشی این ترکیب در کنترل آفات مختلف را گزارش نموده‌اند (Sheibani Tezerji, 2010; Nikakhtar *et al*., 2022). ماترین یک آلکالوئید کینولیزیدین است که از ریشه گیاه تلخ‌بیان (*Sophora flavescens* Ait.) استخراج می‌شود و به‌صورت تماسی و گوارشی عمل می‌کند (Mao & Henderson, 2007; Ayil-Gutiérrez, *et al*., 2018). ماترین با تأثیر بر سیستم عصبی و تنفسی آفات، موجب مرگ آنها می‌شود (Akdeniz & Ozmen, 2011).

ماترین برای کنترل آفات مختلفی مانند شته‌ها، سفید بالک‌ها، تریپس‌ها، زنجرک‌ها، کنه‌ها، بید کلم، پسیل پسته و کرم ساقه‌خوار برنج استفاده می‌شود (Amirfanak *et al*., 2023; Nikakhtar *et al*.,2022; Akdeniz & Ozmen, 2011). ماترین برای کنترل کرم ساقه‌خوار برنج، بید کلم و

پسیل پسته به وسیله سازمان حفظ نباتات کشور به ثبت رسیده است. علاوه بر سمیت، ماترین فعالیت‌های ضدتغذیه‌ای علیه موریانه چوبخوار (*Coptotermes formosanus* Shiraki) و کنه تارعنکبوتی (*Tetranychus urticae* Koch) نشان داده است (Bakr *et al*., 2012; Mao & Henderson, 2007 ). تنداکسیر ترکیب طبیعی دیگر بر پایه عصاره فلفل (*Capsicum annuum* L.) می‌باشد. تنداکسیر یک آفت‌کش تماسی است، که برای کنترل آفات مختلف در محصولات کشاورزی و گلخانه‌ای به‌کار می‌رود. مطالعات متعددی به بررسی کارایی تنداکسیر پرداخته‌اند (Amiri-Besheli, 2009; Younes *et al* ., 2018). مخلوط روغن ماترین و چریش در کنترل لارو شب‌پره پشت الماسی کلم، شته پنبه، تریپس خرما و کنه تارتن دونقطه‌ای بررسی گردیده و اثر آفت‌کشی آن 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). در بررسی تأثیر آزادیراختین بر رشد، تولیدمثل و تلفات شته مومی کلم، نتایج نشان داده که این حشره‌کش سبب کاهش باروری و افزایش تلفات شته‌ها شده است (Pavela *et al*., 2004).

یکی از روش‌های رایج بررسی اثر غیرکشندگی حشره‌کش‌ها، سم‌شناسی دموگرافیک است که در این روش از فراسنجه‌های جدول زندگی و رشدی جمعیت برای ارزیابی سمیت استفاده می‌کنند (Zhao *et al*., 2018). جدول‌های 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 ($\lambda$) 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*., 2013).

در تحقیقی حشره‌کش‌های گیاهی تنداکسیر و پالیزین باعث کاهش معنی‌دار مقادیر فراسنجه‌های جدول زندگی شته کلم در مقایسه با شاهد شدند (Romasi *et al*., 2021). همچنین نتایج نشان داده که حشره‌کش گیاهی آزادیراختین باعث کاهش طول عمر، باروری و زادآوری *S. littoralis* Boisduval شده است (Pineda *et al*., 2009). در بررسی‌های مختلف تأثیر ترکیبات گیاهی مانند نیمارین و ماترین بر شاخص‌های تغذیه‌ای و 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 باعث کاهش نرخ رشد جمعیت و تغییر در الگوهای بقاء و تولیدمثل شوند. مطالعات 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). گزارش شده که ماترین با ایجاد تغییراتی در شاخص‌های تغذیه‌ای مانند کاهش نرخ مصرف غذا (RCR) و نرخ رشد نسبی (RGR) و به دنبال آن افزایش دوره توسعه و کاهش باروری، تأثیر منفی قابل توجهی بر رشد و تولیدمثل آفت *Plutella xylostella* L. دارد (Wang *et al*., 2022).

مطالعات پیشین در زمینه کنترل پروانه برگ‌خوار چغندرقند عمدتاً بر کاربرد آفت‌کش‌های شیمیایی و در موارد محدودی بر عصاره‌های گیاهی مانند فراورده‌های حاوی آزادیرآختین (مانند فراورده‌های نِیم) متمرکز بوده است. با این حال، تاکنون هیچ‌گونه گزارشی از ارزیابی اثرهای کشندگی، زیرکشندگی، شاخص‌های تغذیه و پارامترهای جدول زندگی این آفت تحت تأثیر حشره‌کش‌های گیاهی نیمارین، ماترین و تنداکسیر ارائه نشده است. بنابراین، این پژوهش به بررسی این ترکیبات بر زیست‌شناسی پروانه برگ‌خوار چغندرقند انجام شد تا امکان جایگزینی بخشی از آفت‌کش‌های شیمیایی با ترکیبات ایمن‌تر فراهم شود.

## مواد و روش‌ها

### پرورش پروانه برگخوار چغندرقند

به منظور تشکیل کلنی کرم برگخوار چغندرقند، لاروهای

سنین مختلف این حشره از مزارع چغندرقند اطراف شهر ارومیه جمع‌آوری گردید. لاروهای جمع‌آوری شده روی برگ‌های چغندرقند در داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد ۱۶×۱۸×۲۵ سانتیمتر در دمای ۲ ± ۲۵ $^{o}$C رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی پرورش داده شدند. حشرات کامل در داخل ظروفی به قطر ۱۴ و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر محتوی کاغذهای سفید رنگ برای تخم‌ریزی و آب عسل ۲۰ درصد برای تغذیه، نگهداری گردید. دسته تخم‌های گذاشته شده هر روز جداسازی می‌شد. سپس لاروهای سن سوم که از دسته تخم‌های یکسان بوجود آمدند با اندازه‌گیری عرض کپسول سر تفکیک و در آزمایش به‌کار برده شدند.

**حشره‌کش‌های گیاهی مورد استفاده در تحقیق**

ماترین با نام تجاری روی آگرو (Rui Agro)، حشره‌کشی تماسی و گوارشی فراورده 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 (Amirfanak *et al.*, 2023). حشره‌کش گیاهی نیمارین (Neemarin EC 15%) عصاره گیاهی چریش (*A. indica*) حاوی ترکیب آزادیراختین ساخت کشور هندوستان است که از مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور تهیه گردید. حشره‌کش گیاهی تنداکسیر (EC 80%) عصاره روغنی فلفل قرمز می‌باشد و روغن امولسیون شونده آن (Emulsifiable Concentrate) از شرکت Agricultural acaricide است.

**زیست‌سنجی ترکیبات گیاهی روی لاروهای سن سوم برگ‌خوار چغندرقند**

ابتدا یک مجموعه آزمایش‌های مقدماتی به منظور بدست آوردن غلظت‌های حداقل و حداکثر (۸۰-۲۰٪) حشره‌کش‌های مورد استفاده، روی لاروهای سن سوم برگ‌خوار چغندرقند انجام شد و بعد 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 گردید. غلظت‌های مورد استفاده ماترین (۱۵۰، ۲۸۱/۸۳، ۵۳۷/۰۳، ۱۰۲۳/۲۹ و ۱۹۴۹/۸۴ ppm) و نیمارین (۳۷۰/۰۰، ۶۹۱/۸۳، ۱۳۱۸/۲۵، ۲۵۱۱/۸۸ و ۴۷۸۶/۳۰ ppm) و تنداکسیر (۴۵۰/۰۰، ۸۷۰/۹۶، ۱۶۹۱/۸۲، ۳۳۱۱/۳۱ و ۶۴۵۶/۵۴ ppm) بودند. برگ‌های جوان چغندرقند به مدت ۲۰ ثانیه در هریک از تیمارها غوطه‌ور گردیدند و در شرایط آزمایشگاه به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند تا کامل خشک شوند. سپس برگ‌های تیمار شده به درون پتری‌دیش‌های ۹ سانتی‌متری که درب آنها به منظور 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 ژرمیناتور با دمای ۲۵±۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵٪±۶۵ 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 ۸ ثانیه قادر به راه رفتن نبودند مرده تلقی شدند.

برای ارزیابی سمیت، شاخص سمیت (Toxicity index) و سمیت نسبی (Relative potency) روی لاروهای سن سوم برگ‌خوار چغندرقند از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد (Sun, 1950).

رابطه (۱):

$$\text{شاخص سمیت} = \frac{LC50 \text{ قویترین سم}}{LC50 \text{ ترکیب دیگر}} \times 100$$

رابطه (۲):

$$\text{سمیت نسبی} = \frac{LC50 \text{ کم اثرترین سم}}{LC50 \text{ ترکیب دیگر}}$$

**اثر زیرکشندگی ماترین، نیمارین و تنداکسیر بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی پروانه برگ‌خوار چغندرقند**

برای برآورد اثر زیرکشندگی ماترین، نیمارین و تنداکسیر

روی فراسنجه‌های زیستی پروانه برگ‌خوار چغندرقند از غلظت $LC_{25}$ استفاده شد. برای داشتن لاروهای سن سوم همسن، از جمعیت تشکیل شده در گلدان‌ها به‌طور تصادفی تعدادی پروانه بالغ به صورت جفت نر و ماده جدا شدند و در ظرف‌های به ابعاد ۱۶×۱۸×۲۵ سانتیمتر همراه با ماده غذایی (برگ چغندرقند) که در آن با توری ارگانزا پوشیده شده بود به مدت ۴۸ ساعت رها گردیدند. بعد از جفت‌گیری، ماده‌های جفت‌گیری کرده را به مدت ۲۴ ساعت برای تخم‌ریزی روی تعدادی از برگ‌های چغندرقند بدون آفت در داخل چارچوب‌های محصور با توری رهاسازی شدند. یک روز بعد حشرات بالغ از برگ‌ها حذف شدند و بدین ترتیب لاروهای یکروزه با سن یکسان به‌دست آمد. سپس این لاروهای پرورش یافته بلافاصله پس از تبدیل شدن به لارو سن سوم در زیست‌سنجی استفاده شدند. تعداد ۱۰۰ عدد لارو سن سوم در نظر گرفته شد. سپس دیسک‌های برگی حامل لاروهای سن سوم با غلظت $LC_{25}$ حشره‌کش‌های ماترین، نیمارین و تنداکسیر به روش غوطه‌وری (پنج ثانیه) تیمار گردیدند. در شاهد نیز از آب مقطر استفاده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، لاروهای زنده مانده به کمک قلم‌موی ظریفی به دیسک‌های برگی تیمار نشده منتقل شده و پس از تبدیل شدن به حشره بالغ خصوصیات زیستی آن‌ها شامل زنده‌مانی و پوره‌زایی روزانه تا زمان مرگ بررسی شد.

**ارزیابی شاخص‌های تغذیه‌ای**

در آزمایش تعیین شاخص‌های تغذیه‌ای، به ازای هر تیمار (غلظت $LC_{25}$ نیمارین، ماترین، تنداکسیر و تیمار شاهد) ۳۰ عدد لارو سن سوم یک روزه انتخاب شد. در مجموع ۱۲۰ عدد لارو برای چهار تیمار لاروهای مورد آزمایش ابتدا با ترازوی دیجیتال الکترونیکی با دقت سه رقم اعشار وزن شدند (RADWAG® AS 220.R2). همزمان غذای هر لارو نیز توزین شده و به همراه هر لارو درون یک تشتک پتری قرار داده شد. پس از گذشت ۷۲ ساعت، لاروها و میزان غذای باقیمانده دوباره وزن شدند. فضولات لاروها نیز جمع‌آوری و در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک و توزین گردید. شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سن سوم پروانه برگخوار چغندرقند با تغذیه روی برگ چغندرقند تیمار شده با استفاده از رابطه‌های ۳ تا ۶ محاسبه شدند.

نرخ نسبی مصرف (Relative Consumption Rate =RCR)

$$RCR = \frac{I}{B \times T}$$ رابطه (۳)

I= Ingested Food: وزن خشک کل غذای خورده شده به ازای هر لارو

B= Biomass: تفاوت وزن لارو در ابتدا و انتهای آزمایش (mg)

T= Time: مدت زمان آزمایش (روز)

نرخ نسبی رشد (Relative Growth Rate= RGR)

$$RGR = \frac{FW - IW}{IW \times T}$$ رابطه (۴)

FW= Final Weight: وزن خشک لارو در انتهای آزمایش (mg)

IW= Initial Weight: وزن خشک لارو در ابتدای آزمایش (mg)

کارآیی تبدیل غذای خورده شده (Efficiency of Conversion of Ingested Food= ECI)

$$ECI\ (\%) = \frac{B}{I} \times 100$$ رابطه (۵)

کارآیی تبدیل غذای هضم شده (Efficiency of Conversion of Digested Food= ECD)

$$ECD\ (\%) = \frac{B}{I - F} \times 100$$ رابطه (۶)

F= Frass: وزن خشک کل فضولات تولید شده توسط هر لارو در هر تکرار (mg)

**تجزیه داده‌ها**

برای مقایسه اثر رژیم‌های غذایی مختلف بر شاخص‌های تغذیه لارو پروانه برگ‌خوار چغندرقند از تجزیه واریانس

یک‌طرفه استفاده شد. برای تخمین مقادیر مختلف غلظت کشنده با استفاده از روش پروبیت از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید (IBM Crop, 2020). همچنین، داده‌های حاصل از جدول زندگی، براساس تئوری جدول زندگی دو جنسی سن- مرحله رشدی با استفاده از نرم‌افزار Twosex- MsChart تجزیه شدند (Chi, 2024). میانگین و خطای استاندارد فراسنجه‌های جدول زندگی، با استفاده از روش Paired bootstrapمحاسبه شده و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار سیگما پلات انجام شد.

## نتایج

### زیست‌سنجی روی لاروهای سن سوم برگ‌خوار چغندرقند

مقادیر غلظت کشنده ($LC_{50}$) و زیرکشنده ($LC_{25}$) حشره‌کش ماترین، نیمارین و تنداکسیر با روش غوطه‌وری، ۴۸ ساعت پس از تیمار لاروهای سن سوم برگ‌خوار چغندرقند با حدود اطمینان ۹۵٪ در جدول ۱ نشان داده شده است.

**جدول ۱- سمیت حشره‌کش‌های ماترین، نیمارین و تنداکسیر روی لارو سن سوم پروانه برگ‌خوار چغندرقند (*Spodoptera exigua*) بعد از ۴۸ ساعت**

**Table 1. Toxicity of matrine, neemarin, and tondexir on *Spodoptera exigua* 3rd larva after 48 hours**

| Treatment | Slope ± SE | $\chi^2$ (d.f.) | Intercept (+5) | *P* | $LC_{50}$ (CLs)* | $LC_{25}$ (CLs) | Toxicity index (%) | Relative potency |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Matrine | 1.67±0.15 | 2.89 (3) | 2.184 | 0.001 | 476.12 (408.10-552.79) | 188.72 (144.46-231.45) | 100 | 8.32 |
| Neemarin | 1.45±014 | 2.165(3) | 1.808 | 0.001 | 1538.34 (1300.24-1837.72) | 530.77 (396.29-660.49) | 35.55 | 1.39 |
| Tondexir | 1.41±0.14 | 0.570 (3) | 1.681 | 0.001 | 2211.48 (1858.65-2673.32) | 738.34 (554.29-917.59) | 25.55 | 1 |

*: Confidence intervals

### اثر زیرکشندگی حشره‌کش‌های ماترین، نیمارین و تنداکسیر بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی پروانه برگ‌خوار چغندرقند

مقایسه طول دوره رشد و نمو مراحل مختلف زیستی پروانه برگ‌خوار چغندرقند در تیمارهای مختلف نشان داد که طول دوره مراحل نابالغ تحت تأثیر غلظت زیرکشنده $LC_{25}$ حشره‌کش‌ها گیاهی نسبت به شاهد به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. طول عمر پروانه‌های بالغ در تیمارها نسبت به شاهد (۳۹/۳۲ روز) و در ماترین (۳۱/۲۴ روز) نیز نسبت به دو تیمار دیگر کاهش داشت. در مرحله شفیره نیز نتیجه مشابه مشاهده شد (جدول ۲).

بررسی طول دوره رشد و نمو مراحل مختلف زیستی در نسل اول پروانه برگ‌خوار چغندرقند نشان داد که طول دوره رشد تخم و دوره سنین لاروی شامل سن دوم، سوم و چهارم تحت تأثیر حشره‌کش‌ها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. طول دوره لارو سن پنجم و طول دوره شفیرگی تحت تأثیر حشره‌کش‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

مقادیر دوره پیش از تخم‌گذاری بالغ APOP و طول کل دوره تخم‌گذاری TPOP در سه تیمار ماترین، نیمارین و تنداکسیر نسبت به شاهد و در تیمار ماترین نسبت به دو تیمار دیگر کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). تعداد روزهای تخم‌گذاری از ۹/۴ روز در شاهد به ۴/۹۰ روز در تیمار ماترین کاهش داشت. بیشترین و کمترین میانگین کل طول عمر جنس نر به ترتیب در شاهد (۳۵/۵۷ روز) و حشره تیمار شده با غلظت $LC_{25}$ ماترین (۲۷/۸۹ روز) بود. باروری در غلظت $LC_{25}$ تیمارها به‌طور قابل توجهی نسبت به شاهد کمتر بود.

فراسنجه‌های رشد جمعیت نسل اول پروانه برگ‌خوار چغندرقند در شاهد و تیمارهای ماترین، نیمارین و تنداکسیر در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین میانگین نرخ خالص تولیدمثل ($R_0$) به ترتیب در شاهد (۲۸۳/۶ پوره به ازای هر ماده) و در غلظت $LC_{25}$ ماترین (۸۰/۵ پوره به ازای هر ماده) بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داشت.

جدول ۲- ویژگی‌های زیستی پروانه برگ‌خوار چغندرقند (***Spodoptera exigua***) تیمارشده با غلظت $LC_{25}$ ماترین، نیمارین و تنداکسیر در مقایسه با شاهد

**Table 2. Biological characteristics of *Spodoptera exigua* treated with $LC_{25}$ concentration of matrine, neemarin, and tondexir in comparison with control**

| Developmental stage | Mean ± SE | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | n | Matrine | n | Neemarin | n | Tondexir | n | Control |
| Egg | 40 | 3.48$^{a}$±0.10 | 40 | 3.65$^{a}$±0.08 | 40 | 3.67$^{a}$±0.07 | 40 | 3.65$^{a}$±0.08 |
| 1st larva | 39 | 2.59$^{b}$±0.13 | 40 | 2.77$^{b}$±0.11 | 40 | 2.85$^{b}$±0.01 | 40 | 3.25$^{a}$±0.07 |
| 2nd larva | 37 | 2.22$^{a}$±0.08 | 38 | 2.26$^{a}$±0.07 | 38 | 2.24$^{a}$±0.07 | 40 | 2.38$^{a}$±0.08 |
| 3rd larva | 34 | 2.26$^{a}$±0.09 | 35 | 2.31$^{a}$±0.08 | 36 | 2.31$^{a}$±0.08 | 40 | 2.30$^{a}$±0.07 |
| 4th larva | 31 | 2.58$^{a}$±0.09 | 34 | 2.59$^{a}$±0.09 | 35 | 2.57$^{a}$±0.08 | 40 | 2.58$^{a}$±0.08 |
| 5th larva | 31 | 3.32$^{b}$±0.11 | 34 | 3.91$^{b}$±0.09 | 35 | 3.89$^{b}$±0.10 | 40 | 4.20$^{a}$±0.06 |
| Pupa | 30 | 5.9$^{c}$±0.13 | 33 | 7.58$^{b}$±0.14 | 34 | 7.76$^{b}$±0.11 | 39 | 8.54$^{a}$±0.08 |
| Total immature | 30 | 22.33$^{c}$±0.29 | 33 | 25.09$^{b}$±0.27 | 34 | 25.32$^{b}$±0.26 | 39 | 26.90$^{a}$±0.17 |
| Female preadult | 21 | 22.52$^{c}$±0.29 | 22 | 25.27$^{b}$±0.32 | 23 | 25.52$^{b}$±0.31 | 25 | 27.00$^{a}$±0.23 |
| Male preadult | 9 | 21.89$^{c}$±0.68 | 11 | 24.73$^{b}$±0.49 | 11 | 24.91$^{b}$±0.46 | 14 | 26.71$^{a}$±0.22 |
| Adult (♀) | 21 | 31.24$^{c}$±0.31 | 22 | 35.68$^{b}$±0.37 | 23 | 36.22$^{b}$±0.33 | 25 | 39.32$^{a}$±0.27 |
| Adult (♂) | 9 | 27.89$^{c}$±0.82 | 11 | 32.27$^{b}$±0.71 | 11 | 32.73$^{b}$±0.62 | 14 | 35.57$^{a}$±0.29 |

Means (± SE) followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level (Paired bootstrap test). The estimation of standard errors was performed using the bootstrap technique, involving 100,000 resampling iterations.

جدول ۳- طول دوره تخم‌ریزی، طول عمر و باروری پروانه برگ‌خوار چغندرقند (***Spodoptera exigua***) تیمارشده با غلظت $LC_{25}$ ماترین، نیمارین و تنداکسیر در مقایسه با شاهد

**Table 3. Oviposition period, longevity, and fecundity of *Spodoptera exigua* treated with $LC_{25}$ concentration of matrine, neemarin, and tondexir in comparison with control**

| Stage | Mean ± SE | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | n | Matrine | n | Neemarin | n | Tondexir | n | Control |
| APOP | 21 | 2.19$^{b}$±0.09 | 22 | 2.00$^{b}$±0.09 | 23 | 2.09$^{b}$±0.11 | 25 | 2.32$^{a}$±0.10 |
| Oviposition | 21 | 4.90$^{c}$±0.19 | 22 | 7.41$^{b}$±0.28 | 23 | 7.78$^{b}$±0.30 | 25 | 9.4$^{a}$±0.18b |
| TPOP | 21 | 24.71$^{c}$±0.03 | 22 | 27.27$^{b}$±0.33 | 23 | 27.61$^{b}$±0.31 | 25 | 29.32$^{a}$±0.36 |
| Total fecundity | 21 | 153.33$^{c}$±6.49 | 22 | 295.59$^{b}$ 10.97 | 23 | 320.39$^{b}$±11.84 | 25 | 453.76$^{a}$±8.67 |
| Total longevity (♀) | 21 | 31.24$^{c}$±0.31 | 22 | 35.68$^{b}$±0.37 | 23 | 36.22$^{b}$±0.33 | 25 | 39.32$^{a}$±0.27 |
| Total longevity (♂) | 9 | 27.89$^{c}$±0.82 | 7 | 32.27$^{b}$±0.71 | 6 | 32.73$^{b}$±0.62 | 14 | 35.57$^{a}$±0.29 |

TPOP: Total pre-ovipositional period (from egg to first oviposition) and APOP: Adult pre-ovipositional period (from eclosion to first oviposition).
Means (± SE) followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level (Paired bootstrap test). The estimation of standard errors was performed using the bootstrap technique, involving 100,000 resampling iterations.

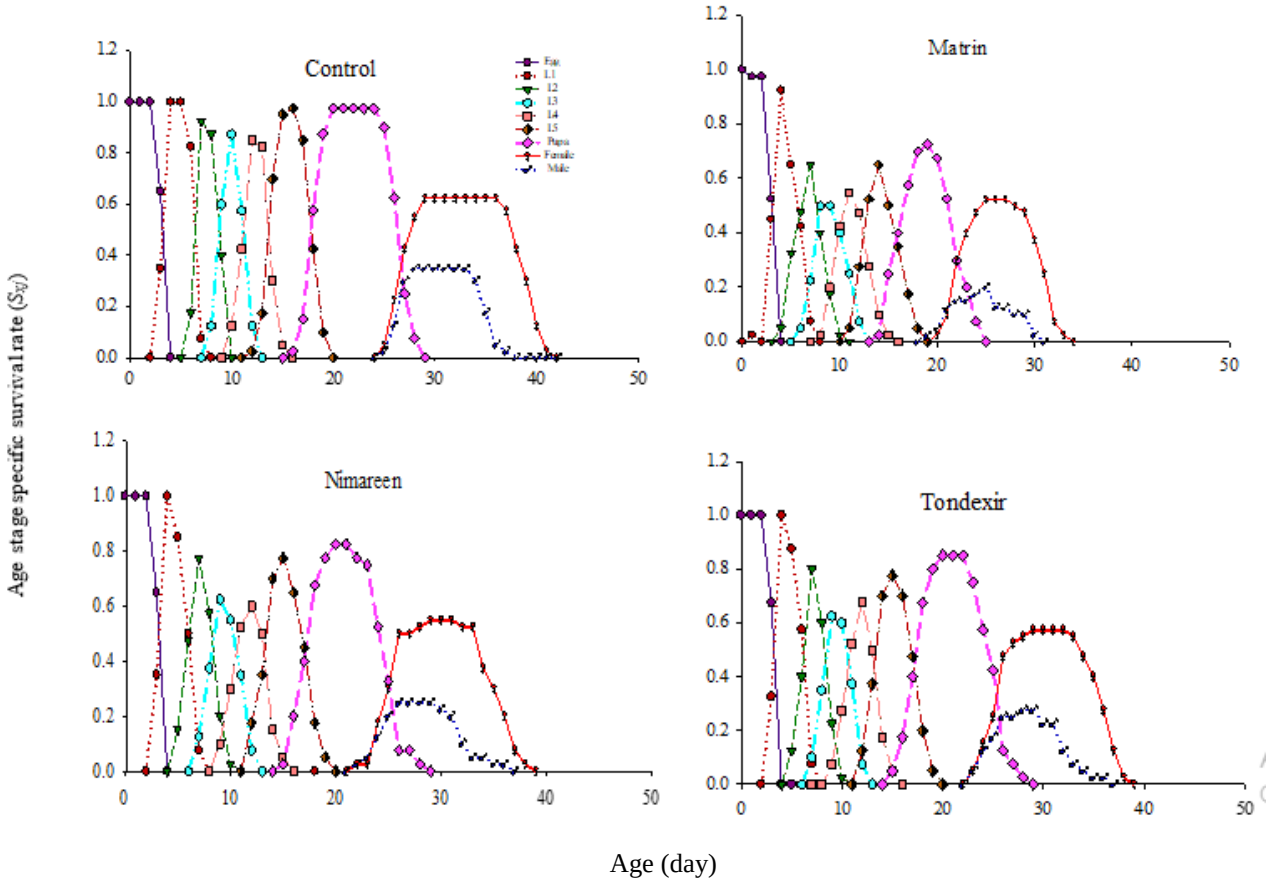
جدول ۴- فراسنجه‌های جدول زندگی پروانه برگ‌خوار چغندرقند (***Spodoptera exigua***) تیمارشده با غلظت $LC_{25}$ ماترین، نیمارین و تنداکسیر در مقایسه با شاهد

**Table 4. Life table parameters of *Spodoptera exigua* treated with $LC_{25}$ concentration of matrine, neemarin, and tondexir in comparison with control**

| Parameter | Mean ± SE | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Matrine | Neemarin | Tondexir | Control |
| $R_0$ (Offspring/individual) | 80.5$^{c}$±12.53 | 162.57$^{b}$±23.96 | 184.22$^{b}$±26.01 | 283.60$^{a}$±35.17 |
| GRR | 133.86$^{c}$±13.41 | 276.61$^{b}$±26.73 | 291.89$^{b}$±26.30 | 392.36$^{a}$±29.54 |
| $r_m$ (day$^{-1}$) | 0.159$^{b}$±0.006 | 0.164$^{a}$±0.005 | 0.165$^{a}$±0.004 | 0.167$^{a}$±0.004 |
| $\lambda$ (day$^{-1}$) | 1.17$^{a}$±0.01 | 1.17$^{a}$±0.007 | 1.18$^{a}$±0.005 | 1.18$^{a}$±0.004 |
| $T$ (day) | 27.502$^{c}$±0.34 | 31.00$^{b}$±0.36 | 31.45$^{b}$±0.30 | 33.78$^{a}$±0.25 |

GRR: Gross reproductive rate (eggs laid), $R_0$: Net reproductive rate (eggs laid/mite), $r_m$: Intrinsic rate of increase (day$^{-1}$), $\lambda$: Finite rate of increase (day$^{-1}$), and $T$: Generation time (day)
Means (± SE) followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level (Paired bootstrap test). The estimation of standard errors was performed using the bootstrap technique, involving 100,000 resampling iterations.

نرخ ذاتی افزایش جمعیت ($r_m$) نشان‌دهنده نرخ تغییرات روزانه جمعیت به ازای هر فرد از آن جمعیت است که در مقدار آن در تیمار ماترین (۰/۱۵۹ روز) نسبت به شاهد (۰/۱۶۷ روز) کاهش داشت. نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) که نشان‌دهنده تعداد پوره‌های اضافه شده به جمعیت در طول یک نسل بدون در نظر گرفتن درصد تلفات است و مقدار آن تفاوت معنی‌داری را بین تیمارهای ماترین (۱۳۳/۸۶)، نیمارین (۲۷۶/۶۱) و تنداکسیر (۲۹۱/۸۹) در مقایسه با شاهد (۳۹۲/۳۶) نشان داد. منحنی نرخ بقای ویژه سنی- مرحله‌ای ($S_{xj}$) در شکل ۱ نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده، ماده‌ها در شاهد، ماترین، نیمارین و تنداکسیر به ترتیب در روزهای ۲۵، ۲۰، ۲۲ و ۲۳ ظاهر شدند. طول دوره نابالغ در تیمارهای زیرکشنده نسبت به شاهد کمتر بود.

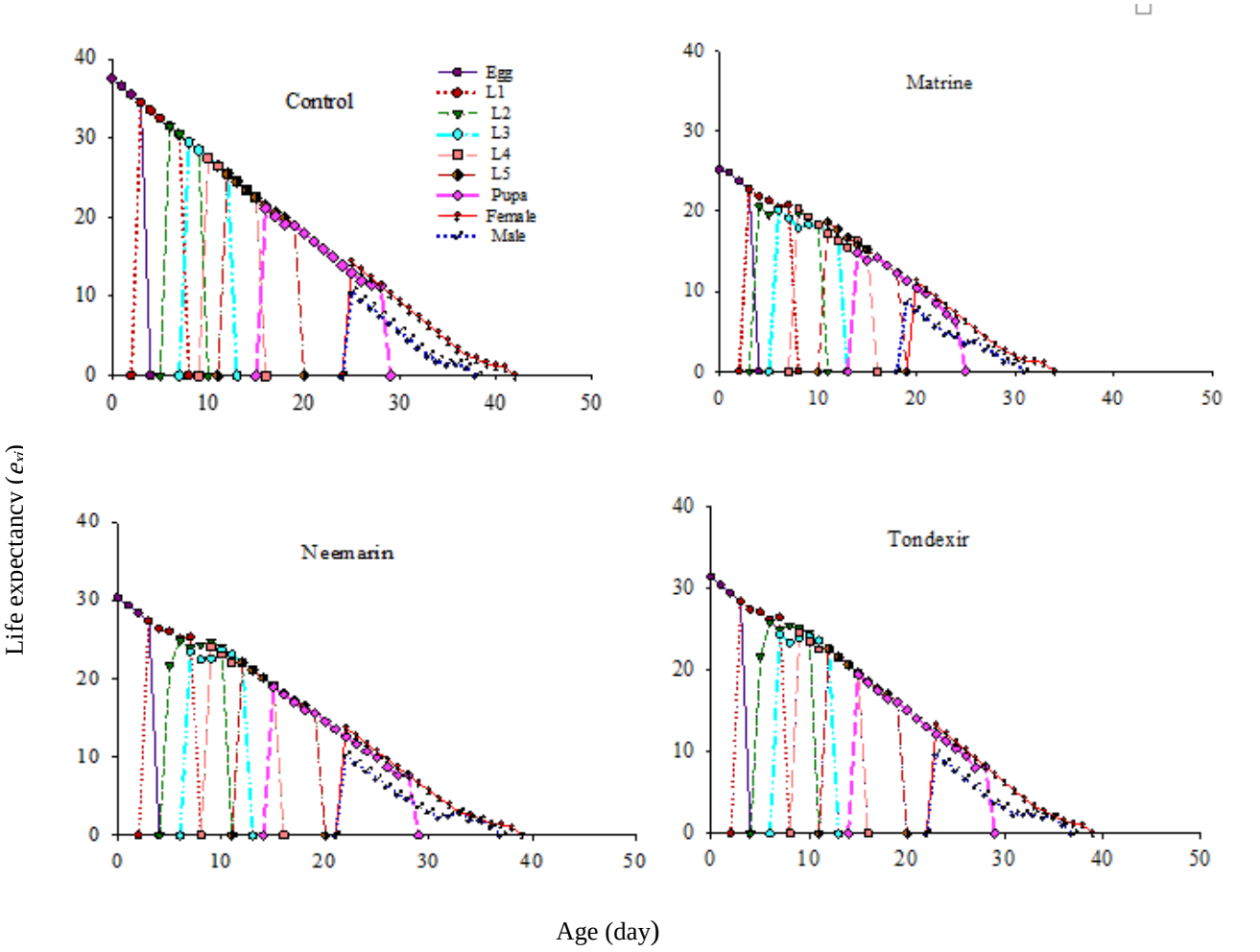



شکل ۱- منحنی بقای ویژه سنی-مرحله‌ای ($S_{xj}$) پروانه برگ‌خوار چغندرقند (***Spodoptera exigua***) تیمارشده با غلظت $LC_{25}$ ماترین، نیمارین و تنداکسیر در مقایسه با شاهد

**Figure 1. Age stage specific survival rate value ($S_{xj}$) curve of *Spodoptera exigua* treated with $LC_{25}$ concentration of matrine, neemarin, and tondexir in comparison with control**
**L1: First instar larva, L2: Second instar larva, L3: Third instar larva, L4: Fourth instar larva, and L5: Fifth instar larva.**

امید به زندگی ویژه سنی مرحله‌ای ($e_{xj}$)، طول عمر پیش‌بینی شده پروانه برگ‌خوار چغندرقند در شاهد و غلظت زیرکشنده حشره کش‌های گیاهی را نشان می‌دهد. روز صفر امید به زندگی تخم در شاهد ۳۷/۵۰ روز بود. در صورتی که در غلظت زیرکشنده میزان امید به زندگی پایین آمده و در روز صفر در تیمارهای ماترین، نیمارین و تنداکسیر به ترتیب

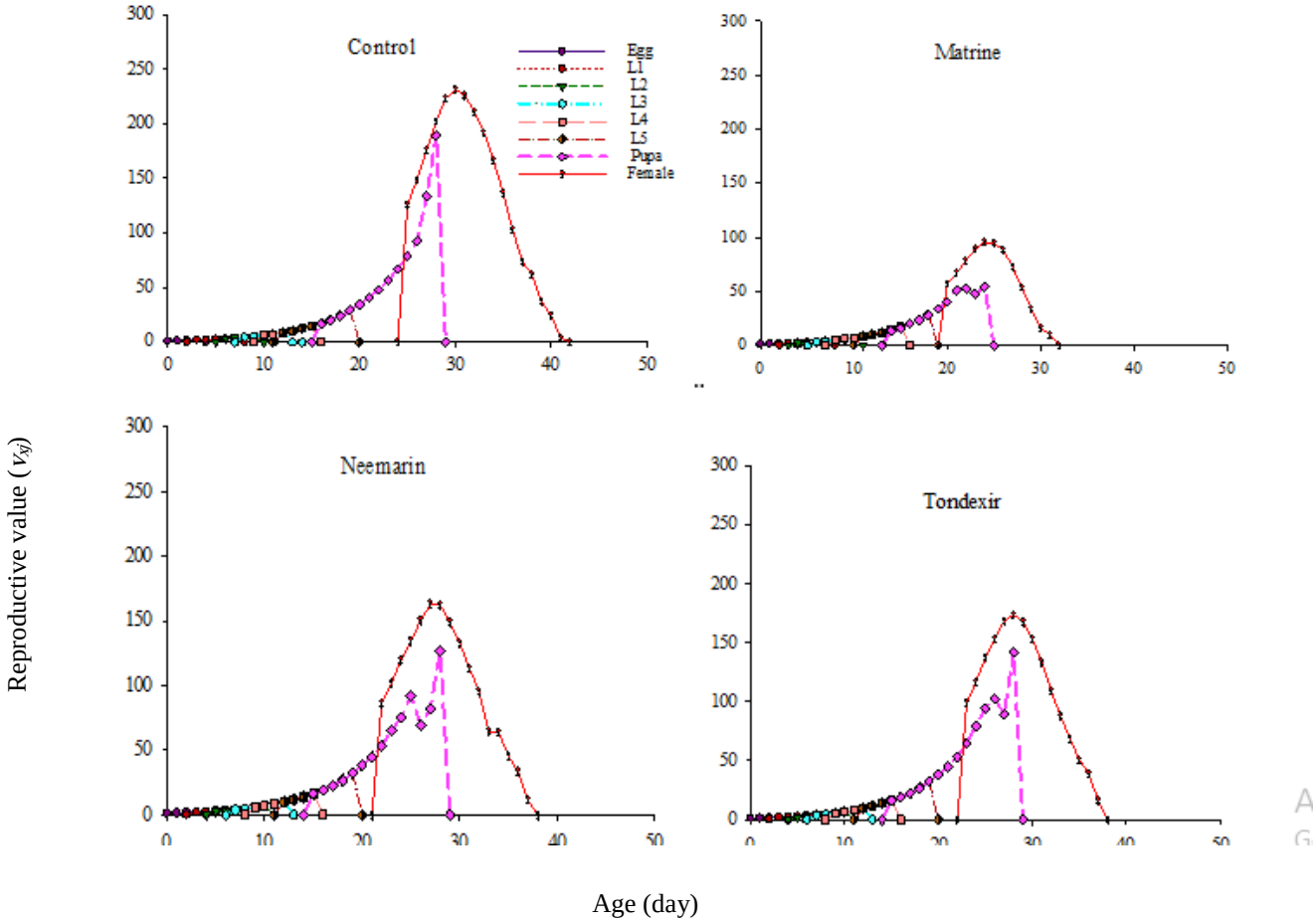
۲۵/۱۵، ۳۰/۳۵ و ۳۱/۴۲ روز بود. در شاهد اولین فرد ماده ۱۴/۳۲روز امید به زندگی داشت، در حالی که در تیمار ماترین این رقم به ۱۱/۲۳ روز کاهش یافت. مراحل نابالغ در تیمارهای زیرکشنده نسبت به شاهد تحت تأثیر حشره‌کش قرار گرفتند و کاهش طول دوره را نشان دادند.




شکل ۲- منحنی امید به زندگی سنی-مرحله‌ای ($e_{xj}$) پروانه برگ‌خوار چغندرقند (***Spodoptera exigua***) تیمارشده با غلظت $LC_{25}$ ماترین، نیمارین و تنداکسیر در مقایسه با شاهد

**Figure 2. Life expectancy value ($e_{xj}$) curve of *Spodoptera exigua* treated with $LC_{25}$ concentration of matrine, neemarin, and tondexir in comparison with control**
**L1: First instar larva, L2: Second instar larva, L3: Third instar larva, L4: Fourth instar larva, and L5: Fifth instar larva.**

شاخص ارزش تولیدمثل ویژه سنی مرحله‌ای ($v_{xj}$)، میزان سهم هر فرد در ایجاد نسل بعد می‌باشد (شکل ۳). با توجه به نتایج بدست آمده، ارزش تولیدمثلی در ماده‌های تیمار شده با غلظت‌های زیرکشنده تیمارها نسبت به شاهد کاهش داشته و تحت تأثیر حشره‌کش‌ها قرار گرفت. ارزش تولیدمثلی مراحل نابالغ نیز در تیمارهای زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. با کاهش میزان باروری و بقا، به تدریج از مقدار این فراسنجه نیز کاسته شده و با رسیدن به مرحله پس از پوره‌زایی این مقدار به صفر رسید.

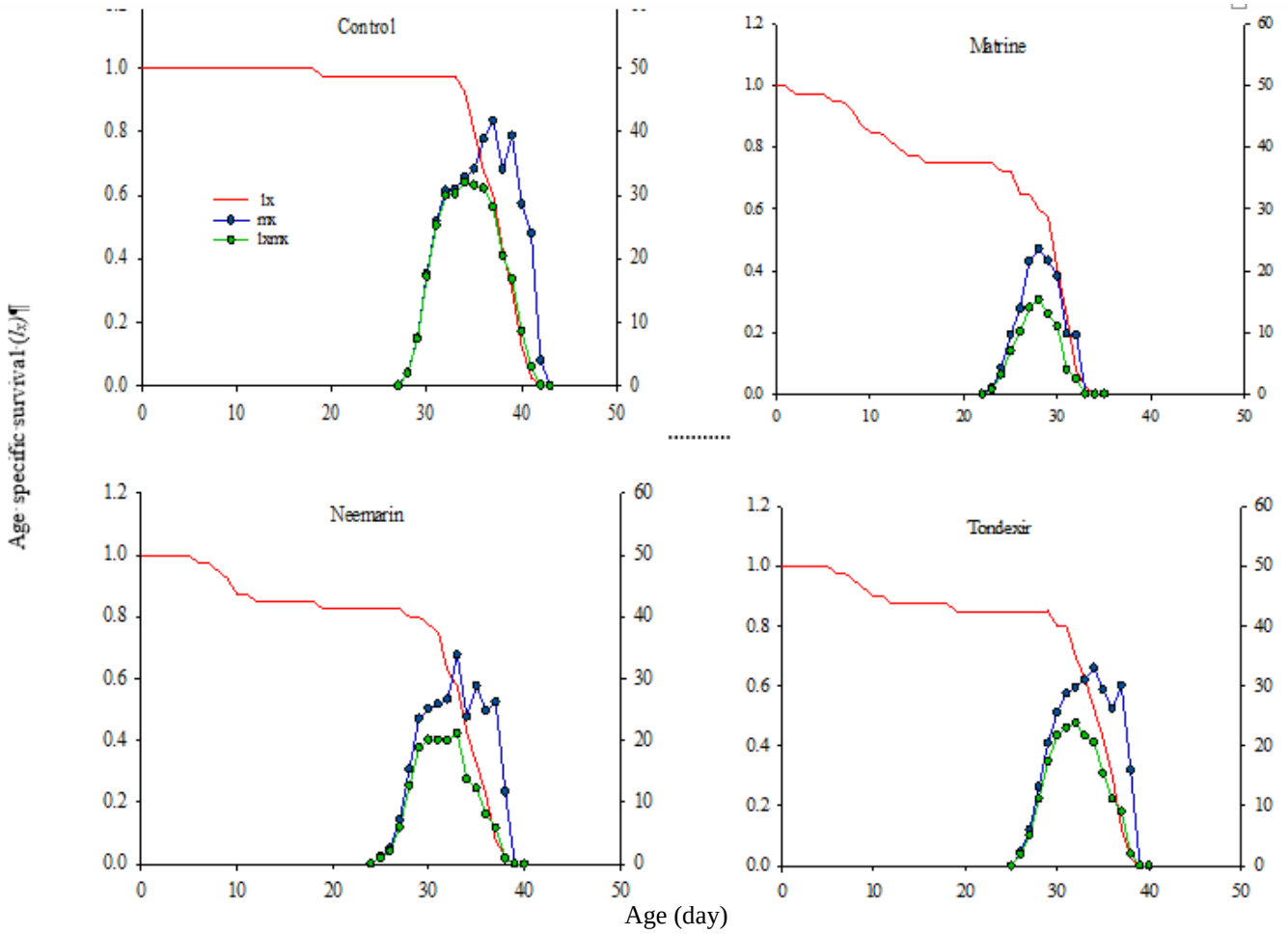



شکل ۳- منحنی ارزش تولیدمثل سنی-مرحله‌ای ($v_{xj}$) پروانه برگ‌خوار چغندرقند (***Spodoptera exigua***) تیمارشده با غلظت $LC_{25}$ ماترین، نیمارین و تنداکسیر در مقایسه با شاهد

**Figure 3. Age-stage reproduction value ($v_{xj}$) curve of *Spodoptera exigua* treated with $LC_{25}$ concentration of matrine, neemarin, and tondexir in comparison with control**

**L1: First instar larva, L2: Second instar larva, L3: Third instar larva, L4: Fourth instar larva, and L5: Fifth instar larva.**

میزان بقا ($l_x$)، زادآوری ویژه سنی ($m_x$) و تولیدمثل خالص روزانه ($l_xm_x$) در تیمارهای زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت. احتمال بقا در تیمار $LC_{25}$ ماترین در روز سی و سوم و در شاهد در روز چهل و دوم به صفر رسید. مقدار باروری برای شاهد ۴۱/۷۴ پوره در روز سی و ششم ثبت شد. باروری در تیمار ماترین، ۲۳/۵۷ پوره در روز بیست و هشت بود (شکل ۴).




شکل ۴- منحنی بقای ویژه سنی ($l_x$)، زادآوری ویژه سنی ($m_x$) و تولیدمثل خالص روزانه ($l_xm_x$) پروانه برگ‌خوار چغندرقند (*Spodoptera exigua*) تیمارشده با غلظت $LC_{25}$ ماترین، نیمارین و تنداکسیر در مقایسه با شاهد

**Figure 4. Age-specific survival ($l_x$), age-specific fertility ($m_x$), and age-specific maternity ($l_xm_x$) curves of *Spodoptera exigua* treated with $LC_{25}$ concentration of matrine, neemarin, and tondexir in comparison with control**

**L1: First instar larva, L2: Second instar larva, L3: Third instar larva, L4: Fourth instar larva, and L5: Fifth instar larva.**

## شاخص‌های تغذیه

در ارزیابی شاخص‌های تغذیه‌ای روی لاروهای سن سوم پروانه برگ‌خوار چغندرقند تغذیه شده با تیمارهای ماترین، نیمارین، تنداکسیر و تیمار شاهد نتایج نشان داد که بیشترین شاخص نرخ نسبی رشد RGR در لاروهای تیمار شاهد مشاهده گردید. نرخ نسبی مصرف RCR، کارآیی تبدیل غذای خورده شده ECI و کارآیی تبدیل غذای هضم شده ECD در لاروهای تیمار شده در مقایسه با شاهد کاهش داشت. البته بین تیمارها ماترین بهترین عملکرد را نشان داد (جدول ۵).

**جدول ۵- شاخص‌های تغذیه لاروهای سن سوم پروانه برگ‌خوار چغندرقند (*Spodoptera exigua*) تیمارشده با غلظت $LC_{25}$ ماترین، نیمارین و تنداکسیر در مقایسه با شاهد**

**Table 5. Feeding indices of *Spodoptera exigua* 3rd instar larvae treated with $LC_{25}$ concentration of matrine, neemarin, and tondexir in comparison with control**

| Treatment | Mean ± SE | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Related growth rate ($mg.mg^{-1}.day^{-1}$) | Related consumption rate ($mg.mg^{-1}.day^{-1}$) | Conservation efficiency of ingested food (%) | Conservation efficiency of digested food (%) |
| Matrine | $0.37^{c}$±0.004 | $6.86^{c}$±0.55 | $4.17^{d}$±0.0.3 | $6.89^{d}$±0.03 |
| Neemarin | $0.44^{b}$±0.004 | $8.88^{b}$±0.39 | $5.16^{c}$±0.01 | $7.92^{c}$±0.03 |
| Tondexir | $0.43^{b}$±0.006 | $8.91^{b}$±0.71 | $5.88^{b}$±0.01 | $9.65^{b}$±0.04 |
| Control | $0.94^{a}$±0.006 | $12.64^{a}$±0.87 | $7.57^{a}$±0.05 | $10.68^{a}$±0.05 |

Means (± SE) followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level (Paired bootstrap test). The estimation of standard errors was performed using the bootstrap technique, involving 100,000 resampling iterations.

## بحث

حشره‌کش‌های گیاهی، اثرهای سوء آفت‌کش‌های مصنوعی را ندارند و به‌عنوان راهکاری امن در برنامه‌های کنترل تلفیقی آفات جنگلی و باغی هستند (Geraldin *et al*., 2020; Rahman *et al*., 2016). مزایای متعدد آفت‌کش‌های گیاهی ازجمله امنیت بالا نسبت به انسان و محیط‌زیست، نبود بقایای مضر و قابلیت تلفیق با سایر روش‌های کنترل، آنها را به‌عنوان جایگزین مناسب برای حشره‌کش‌های شیمیایی در برنامه‌های مدیریت آفات قرار داده است (Souto *et al*., 2021; Göldel *et al*.,2020). این ترکیبات گیاهی برای کنترل آفات مختلف در محصولات مختلف استفاده شده است (Kordestani *et al*., 2021; Liu *et al*., 2007; Sharifi *et al*., 2019).

در بررسی تأثیر دو آفت‌کش گیاهی ماترین و نیمارین روی آفت سرخرطومی برگ یونجه (*Hypera postica* Gyllenhal) نتایج نشان داد که ترکیب این دو ماده موجب کنترل مراحل حشره کامل و لاروی این آفت می‌گردد (Hosseini *et al*., 2024). این تحقیق نشان داد که ترکیبات گیاهی ماترین، نیمارین و تنداکسیر با غلظت ۴۷۶/۱۲، ۱۵۳۸/۳۴ و ۲۲۱۱/۴۸ ppm، قادر به ایجاد ۵۰ درصد تلفات ($LC_{50}$) در جمعیت لاروهای سن سوم پروانه برگ‌خوار چغندرقند است. در مطالعه تأثیر چندین حشره‌کش روی شب‌پره پشت الماسی *P. xylostella* نتایج نشان داد که حشره‌کش ماترین جزء حشره‌کش‌های سمیت حاد با $LC_{50}$ کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر قرار گرفت (Wang *et al*., 2022). در بررسی اثر آلکالوئیدهای *Sophora alopecuroides* L. روی شته مومی کلم مشخص شد که تمام هفت آلکالوئید این گیاه علیه آفت مؤثر بودند و مقدار $LC_{50}$ آلکالوئیدهای ماترین روی شته مومی کلم ۰/۷۱ میکروگرم بر شته بود (Ma *et al*., 2017). در بررسی تأثیر حشره‌کش‌های گیاهی تنداکسیر و پالیزین میزان غلظت کشنده $LC_{50}$ برای شته مومی کلم به ترتیب ۲۳۳۱/۵۲ و ۲۱۹۰/۶۰ میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد (Romasi *et al*., 2021). در پژوهش دیگری اثربخشی چند حشره‌کش روی جمعیت شته سبز هلو (*Myzus persicae* Sulzer) بررسی شد. به‌طوری‌که حشره‌کش ماترین ۸۹/۶۴ درصد کاهش را در جمعیت شته‌ها نشان داد (Khan *et al*., 2019). در مطالعه حساسیت لاروهای شب‌پره شمشاد (*Cydalima perspectalis* Walker) به برخی حشره‌کش‌های کم خطر در زیست‌سنجی آزمایشگاهی براساس تجزیه‌وتحلیل پروبیت، بالاترین کارایی را حشره‌کش ماترین با غلظت کشنده ۲/۸۷

میکرولیتر بر لیتر در لاروهای سن سوم نشان داد (Moradi Afrapoli *et al*., 2022). به‌نحوی‌که در تحقیق ما نیز حشره‌کش ماترین بالاترین کارایی را دارد.

یکی از مشکلات سم‌شناسی، چگونگی بررسی اثر کلی یک آفت‌کش روی جمعیت حشره هدف است. ارزیابی اثر بیولوژیکی آفت‌کش‌ها روی آفات بیشتر روی برآورد تلفات متمرکز شده است و به اثرهای درازمدت آفت‌کش‌ها روی آفات توجه کمتری شده است، اما بهترین روش برای ارزیابی اثر کلی یک آفت‌کش، تجزیه‌وتحلیل جدول‌های زیستی یا سم‌شناسی دموگرافیک است (Walthall & Stark, 1997; Akbari *et al*., 2024).

بررسی جدول زندگی به عنوان روش قابل اطمینان برای تعیین بهترین زمان مبارزه با آفات و ابزار مهم در مطالعه پویایی جمعیت است (Desneux *et al*., 2007). در این بررسی مشخص شد که ترکیبات گیاهی ماترین، نیمارین و تنداکسیر تأثیر معنی‌داری روی ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های رشد جمعیت پروانه برگ‌خوار چغندرقند داشتند. طول عمر و باروری حشرات تیمار شده با غلظت $LC_{25}$ ماترین، نیمارین و تنداکسیر در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طور مشابه، در بررسی اثر زیرکشنده حشره‌کش‌های گیاهی تنداکسیر و پالیزین روی شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae* L.) نتایج نشان داد که طول عمر حشرات تیمار شده با غلظت زیرکشنده $LC_{30}$ تنداکسیر و پالیزین به ترتیب ۱۸/۶۸ و ۱۸/۳۱ روز ثبت شد که نسبت به شاهد ۲۵/۰۲ روز کمتر بود. همچنین، مقدار باروری نیز در غلظت‌های زیرکشنده تنداکسیر و پالیزین به ترتیب ۱۸/۴۱ و ۲۰/۵۰ پوره به ازای هر ماده ثبت شد که نسبت به شاهد ۵۸/۶۵ پوره به ازای هر ماده، به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر بود (Romasi *et al*., 2021).

در تحقیقی که روی آفت‌کش‌های تنداکسیر و امامکتین بنزوات بر سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus* F.) انجام شد، نتایج نشان داد که تنداکسیر در کنترل آفت *C. maculatus* مؤثر بوده است. آفت‌کش‌های تنداکسیر و امامکتین بنزوات تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش تخم‌ریزی و جلوگیری از تفریخ تخم‌های سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات داشتند و در غلظت‌های مختلف این ترکیبات، میزان تخم‌گذاری و تفریخ تخم این آفت کاهش یافت. این در حالی است که در گروه کنترل، نرخ تفریخ بسیار بالا (۹۰ تا ۹۳ درصد) بود (Shneen *et al*., 2024). در تحقیقی، تأثیر روغن نیم خالص روی آفت برگ‌خوار (*Spodoptera eridania* stoll) بررسی شد. تیمار برگ‌ها با این آفت‌کش‌ها باعث طولانی شدن دوره‌های لاروی، افزایش مرگ‌ومیر، اختلال در فرایند دگردیسی و کاهش معنی‌دار در طول عمر و زادآوری حشرات بالغ گردید (Shannag *et al*., 2014). یافته‌های این مطالعه نیز هم‌راستا با این تحقیق نشان داد که استفاده از ترکیبات گیاهی ماترین، نیمارین و تنداکسیر موجب افزایش مرگ و میر، کاهش معنادار در طول عمر و زادآوری حشرات می‌گردد.

در بررسی تأثیر آزادیرختین و متوکسی‌فنوزاید بر طول عمر، باروری و زادآوری *S. littoralis*، نتایج نشان داد هر دو ترکیب باعث کاهش ۲ و۳ روزه در طول عمر بالغین در بالاترین غلظت‌های آزمایش‌شده شدند و باروری و زادآوری به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر هر دو حشره‌کش قرار گرفت. کاربرد آزادیرختین روی گیاهان فلفل فعالیت بازدارندگی تخم‌ریزی قابل‌توجهی بر بالغین *S. littoralis* نشان داد. این نتایج نشان می‌دهد که آزادیرختین و متوکسی‌فنوزاید می‌توانند تغییراتی در پویایی جمعیت این آفت در مزارع تیمارشده با این حشره‌کش‌ها ایجاد کنند (Pineda *et al*., 2009).

در بررسی فراسنجه‌های جدول زیستی شته مومی کلم *B. brassicae* تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش ماترین در شرایط آزمایشگاهی، نتایج نشان داد که این حشره‌کش اثر کشنده و زیرکشنده قابل ملاحظه‌ای روی شته مومی کلم دارد (Amirfanak *et al*., 2023). مطالعه‌ای به بررسی تأثیر آزادیرختین/نیم‌آزال بر بالغین، ظهور و فراسنجه‌های جدول زندگی *Trichogramma cacoeciae*

Marchal پرداخت. در این پژوهش، مقدار $LC_{50}$ برابر با ۱۳/۳ میکروگرم (ماده مؤثره) در میلی‌لیتر تعیین شد. تأثیر نیم‌آزال بر سه مرحله رشدی پارازیتوئید با غوطه‌ور کردن تخم‌های پارازیته شده *Sitotroga cerealella* Olivier و *Cydia pomonella* L. در غلظت توصیه‌شده میدانی، نشان داد که ظهور بالغین پارازیتوئید در هر دو میزبان در مقایسه با کنترل کاهش یافت. اما این تأثیر در تخم‌های *S. cerealella* بیشتر از *C. pomonella* بود. نیم‌آزال فراسنجه‌های پایدار جمعیت (T،$r$ و DT) را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (Saber *et al*., 2004). نرخ ذاتی افزایش جمعیت ($r_m$)، مهمترین فراسنجه در تعیین نوع و میزان رشد جمعیت است. در این تحقیق نرخ ذاتی افزایش جمعیت ($r_m$) در حشرات تیمار شده با غلظت زیرکشنده ماترین، نیمارین و تنداکسیر به دلیل افزایش تلفات و کاهش طول عمر و تولیدمثل حشرات بالغ، در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری را نشان داد که مقدار آن در ماترین، نیمارین، تنداکسیر و شاهد به ترتیب ۰/۱۵۹، ۰/۱۶۴، ۰/۱۶۵ و ۰/۱۶۷ بر روز برآورد شد. در بررسی اثر زیرکشنده ماترین روی تریپس گل غربی (*Frankliniella occidentalis* Pergande) مشخص شد که نرخ ذاتی افزایش جمعیت ($r_m$) در غلظت زیرکشنده $LC_{25}$ ماترین برابر ۰/۱۱ و در شاهد ۰/۱۴ بر روز بود (Kordestani *et al*., 2021). در بررسی اثر کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش گیاهی تنداکسیر روی شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی (*Tuta absoluta* Meyrickn)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت ($r_m$) در تیمار تنداکسیر به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمار شاهد بود. کمترین میزان نرخ متناهی افزایش جمعیت ($\lambda$) ۱/۱۰۵ بر روز و در تیمار تنداکسیر مشاهده شد (Kabiri Raeisabad, 2019).

کمیت و کیفیت غذای خورده شده می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر نشو و نما، فرایندهای فیزیولوژیک و ایمنی حشرات داشته باشد. پژوهشگران متعددی گزارش کرده‌اند که مؤلفه‌های زیستی حشرات می‌توانند تحت تأثیر نوع ماده غذایی مورد تغذیه آن‌ها قرار گیرند (Borzoui *et al*. 2017; Safa *et al*. 2014; Mason *et al*. 2014). رژیم غذایی یک فراسنجه مهم در این راستا است. در این تحقیق ترکیبات گیاهی شاخص‌های رشد، ایمنی، میزان زنده‌مانی و تولیدمثل را تحت تأثیر قرار دادند. شاخص نرخ نسبی رشد RGR کمترین مقدار را در تیمار ماترین با مقدار ۰/۳۷ میلی‌گرم روز نسبت به شاهد (۰/۹۴) دارا بود. کمترین کارایی تبدیل غذای خورده شده ECI نیز در ماترین (۶/۸۹) مشاهده گردید و دو تیمار نیمارین (۷/۹۲) و تنداکسیر(۹/۶۵) نیز نسبت به شاهد (۱۰/۶۸) کاهش معنی‌داری داشتند. مطالعات نشان داده‌اند که عصاره‌های گیاه نیم (*A. indica*) تأثیرات منفی بر تغذیه و رشد برخی آفات دارند. برای نمونه، در مطالعه‌ای تأثیر عصاره‌های آبی، متانولی و هگزانی نیم بر آفت نخود (*Clavigralla scutellaris* Westwood) بررسی شد. نتایج نشان داد که تیمار دانه‌های نخود با این عصاره‌ها منجر به کاهش فعالیت‌های تغذیه‌ای و آسیب به دانه‌ها توسط لاروهای سن پنجم آفت گردید. همچنین، غوطه‌ورسازی لاروهای سن چهارم در عصاره آبی نیم، منجر به بروز ناهنجاری‌های بالی و کاهش باروری در غلظت‌های بالا شد (Mitchell *et al*., 2004). نتایج مطالعات آزمایشگاهی پیشین نشان داده‌اند که فرمولاسیون‌های تجاری مبتنی بر روغن نیم، ازجمله روغن نیم خالص و آزارترول، دارای اثر قابل‌توجهی بر جنبه‌های زیستی *S. eridania* می‌باشند. این ترکیبات با القای تغذیه‌گریزی شدید (تا ٪۹۶) منجر به کاهش چشمگیر مصرف غذایی در مراحل مختلف لاروی شدند (Shannag *et al*., 2014). در تحقیقی روی لیسک (*Agriolimax agrestis* L.)، استفاده از نیمارین و چریش (محلول حاوی ماترین) منجر به کاهش میزان تغذیه و افزایش مرگ‌ومیر این آفت شد (Ahmadi *et al*., 2020). در این تحقیق نیز شاخص‌های تغذیه ازجمله شاخص نرخ نسبی رشد، نرخ نسبی مصرف، کارآیی تبدیل غذای خورده شده و کارآیی تبدیل غذای هضم شده در حضور ماترین، نیمارین و تنداکسیر کاهش یافت.

## نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اثرهای زیان‌بار آفت‌کش‌های شیمیایی بر سلامت انسان، کیفیت محصولات کشاورزی و پایداری محیط‌زیست، بهره‌گیری از ترکیبات گیاهی به‌عنوان جایگزین‌های ایمن و سازگار محیط‌زیست، از جایگاه ویژه‌ای در مدیریت تلفیقی آفات برخوردار است. در این پژوهش، حشره‌کش‌های گیاهی ماترین، نیمارین و تنداکسیر تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص‌های تغذیه‌ای، میزان مرگ‌ومیر و فراسنجه‌های جدول زندگی آفت برگ‌خوارچغندرقند نشان دادند، به‌طوری‌که ماترین بالاترین میزان اثربخشی را در مقایسه با سایر ترکیبات از خود نشان داد. بر این اساس،می‌توان استفاده از این حشره‌کش‌های گیاهی، به‌ویژه ماترین را به‌عنوان بخشی مؤثر از راهبردهای مدیریت تلفیقی آفت برگ‌خوار چغندرقند توصیه نمود.

**References**


- Ahmadi, E., Gholamzadeh Chitgar, M., Mojib Hagh Ghadam, Z. and Heidari, A., 2020. Efficacy of the EC formulations of Neem (1.28%) and Neemarin (1%) on slug *Agriolimax agrestis* in laboratory and greenhouse conditions. Plant Pest Research, 10(3):61–76. https://doi.org/10.22124/IPRJ.2020.4429
- Akbari, S., Aramideh, Sh., Mirfakhraie, Sh. and Safaralizadeh, M.H., 2024. 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, 44: 2927–2938. https://doi.org/10.1007/s42690-024-01389-0
- Akdeniz, D. and Ozmen, A., 2011. Antimitotic effects of the biopesticide oxymatrine. Caryologia,64(1):117–120. https://doi.org/10.1080/00087114.2011.10589771
- Amirfanak, V., Safavi, S.A. and Forouzan, M., 2023. Study on the life table parameters of the cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) influenced by sublethal concentrations of the matrine. Journal of Plant Protection, 45(4): 19–35. (In Persian) https://www.magiran.com/paper/2539107/
- Amiri-Besheli, B., 2009. Toxicity evaluation of Tracer, Palizin, Sirinol, Runner and Tondexir with and without mineral oils on *Phylocnistis citrella* Stainton. African Journal of Biotechnology,8(14):3382–3386. https://doi.org/10.5897/AJB09.616
- Ansari, A., Gheibi, M. and Hesami, Sh., 2013. Effects of Azadirachtin on reproductive parameters of aphid rose, *Macrosiphum rosae* (Hemiptera: Aphididae) in laboratory conditions. Plant Protection Journal, 6(3): 225–240. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20163403359
- Ayil-Gutiérrez, B.A., Sánchez-Teyer, L.F., Monforte, M. and Vasquez-Flota, F., 2018. Biological effects of natural products against *Spodoptera* spp. Crop Protection, 114: 195–207. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.032
- Babu, R. and Singh, B., 2021. Population dynamics of *Spodoptera exigua* (F.) and *S. litura* (F.) in soybean. Indian Journal of Entomology, 84(4): 819–823. https://doi.org/10.55446/IJE.2021.93
- Bagheri, N., Mohammadi Sharif, M. and Golmohammadi, G.H., 2021. 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), 44(3): 135–141. https://doi.org/10.22055/ppr.2021.17132
- Bakr, E.M., Soliman, Z.R., Hassan, M.F. and Tawadrous, S.S.D., 2012. Biological activity of the organic pesticide Baicao No. 1 against the red spider mite *Tetranychus urticae* Koch. Journal of the Egyptian Society of Acarology, 6(1): 35–39. https://doi.org/10.21608/AJESA.2012.163624
- Borzoui, E., Naseri, B. and Nouri-Ganbalani, G., 2017. Effects of food quality on biology and physiological traits of *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). Journal of Economic Entomology,110(1):266–273. https://doi.org/10.1093/jee/tow284
- Chi, H., 2024. TWOSEX-MSChart [Computer software]. National Chung Hsing University. Available at: http://140.120.197.173/Ecology/
- Demirak, M.Ş.Ş. and Canpolat, E., 2022. Plant-

based bioinsecticides for mosquito control: Impact on insecticide resistance and disease transmission.Insects,13(2):162. https://doi.org/10.3390/insects13020162
- Desneux, N., Decourtye, A. and Delpuech, J.M., 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. Annual Review of Entomology,52:81–106. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440
- Geraldin, M.W.L., James, W.M. and Ernest, R.M., 2020. Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. ScientificAfrican,7:e00239. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00239
- Göldel, B., Lemic, D. and Bažok, R., 2020. Alternatives to synthetic insecticides in the control of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) and their environmental benefits. Agriculture, 10(12): 611. https://doi.org/10.3390/agriculture10120611
- Hafeez, M., Ullah, F., Khan, M.M., Li, X., Zhang, Z., Shah, S., Imran, M., Assiri, M.A., Fernández-Grandon, G.M., Desneux, N., Rehman, M., Fahad, S. and Lu, Y., 2022. Metabolic-based insecticide resistance mechanism and ecofriendly approaches for controlling of beet armyworm *Spodoptera exigua*: A review. Environmental Science and Pollution Research, 29: 1746–1762. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16974-w
- Hikal, W.M., Baeshen, R.S. and Said-Al Ahl, H.A.H., 2017. Botanical insecticide as simple extractives for pest control. Cogent Biology, 3(1): 1404274. https://doi.org/10.1080/23312025.2017.1404274
- Hosseini, E., Aramideh, Sh. and Hosseinzadeh, A., 2024. Effects of two botanical pesticides on second instar larvae and adult of *Hypera postica* Gyllenhal (Col.: Curculionidae) in laboratory and field conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 40(3): 506–520. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2024.131924
- Hwang, I.C., Kim, J., Kim, H.M., Kim, D.I., Kim, S.G., Kim, S.S. and Jang, C., 2009. Evaluation of toxicity of plant extract made by neem and matrine against main pests and natural enemies. Korean Journal of Applied Entomology, 48(1): 87–94. https://doi.org/10.5656/KSAE.2009.48.1.087
- IBM Corp., 2020. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0 [Computer software]. IBMCorp. https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-27010
- Isman, M.B., 2006. Botanical Insecticides, Deterrents, and Repellents in Modern Agriculture and an Increasingly Regulated World. Annual Review of Entomology, 51: 45–66. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146
- Isman, M.B., 2020. Botanical Insecticides in the Twenty-First Century—Fulfilling Their Promise? Annual Review of Entomology, 65: 233–249. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025010
- Kabiri Raeisabad, M., 2019. Lethal and sublethal effects of botanical insecticide, Tondexir (Tondexir®) and chemical insecticide, indoxacarb (Avaunt®) on the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lep.: Gelechiidae). Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture),42(1):45–64. https://doi.org/10.22055/ppr.2019.14443
- Khan, M. Sh., Akbar, M.F., Sultan, A., Saleem, M.S. and Gul, C., 2019. Testing the effect of different insecticides on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) in field mustard (*Brassica campestris* L.) Czern for possible consideration in an IPM strategy. International Journal of Tropical Insect Science, 40(1): 225–231. https://link.springer.com/article/10.1007/s42690-019-00065-y
- Kordestani, M., Mahdian, K., Baniameri, V. and Sheikhi Garjan, A., 2021. Lethal and sublethal effects of proteus, matrine, and pyridaben on *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Environmental Entomology, 50(2): 1137–1144. https://doi.org/10.1093/ee/nvab071
- Liu, Z.L., Goh, S.H. and Ho, S.H., 2007. Screening of Chinese medicinal herbs for bioactivity against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). Journal of Stored Products Research,43(3):290–296. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.06.010
- Ma, T., Yan, H., Shi, X., Liu, B., Ma, Z. and Zhang, X., 2017. Comprehensive evaluation of effective constituents in total alkaloids from *Sophora alopecuroides* L. and their joint action against aphids by laboratory toxicity and field efficacy. Industrial Crops and Products, 111: 149–157. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.021
- Mao, L. and Henderson, G., 2007. Antifeedant activity and acute and residual toxicity of

2022. *Spodoptera exigua* fitness and resistance stability to diamide and pyrethroid insecticides in the United States. Insects, 13(4): 365. https://doi.org/10.3390/insects13040365

- Rahman, S., Biswas, S.K., Barman, N.C. and Ferdus, T., 2016. Plant extract as selective pesticide for integrated pest management. Biotechnological Research, 2(1): 6–10. https://br.biomedpress.org/index.php/br/article/view/706
- Rajesh Chowdary, L., Suneel Kumar, G.V., Bharathi, S., Sarada, O., Nagaraju, Y., Chandrashekara, K.M. and Harish, G.N., 2024. Off-season survival and life history of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner) on various host plants. Scientific Reports, 14: 13721. https://doi.org/10.1038/s41598-024-13721-8
- Romasi, F., Vahedi, H., Moeeni Naghadeh, M. and Mahmoudvand, M., 2021. Effects of botanical insecticides Palizin and Tondexir on cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* under laboratory conditions. Plant Protection, 43(4): 71–91. https://doi.org/10.22055/ppr.2021.16763
- Saber, M., Hejazi, M.J. and Hassan, S.A., 2004. Effects of azadirachtin/Neemazal on life table parameters of *Trichogramma cacoeciae*. Journal of Economic Entomology, 97(3): 905–910. https://doi.org/10.1093/jee/97.3.905
- Safa, M., Yazdanian, M. and Sarailoo, M.H., 2014. Larval feeding from some artificial diets and its effects on biological parameters of the Mediterranean flour moth. Munis Entomology & Zoology,9(2):678–686. https://www.munisentzool.org/Issue/abstract/larval-feeding-from-some-artificial-diets-and-its-effects-on-biological-parameters-of-the-mediterranean-flour-moth_842
- Salmani-Moghanlou, J., Valizadegan, O. and Naseri, B., 2021. Spatial distribution pattern of *Spodoptera exigua* on sugar beet and advantage of site-specific spraying. Journal of Entomological Society of Iran, 41(2): 135–149. https://doi.org/10.22117/jesi.2021.355128.1420
- Sharifi, M., Mobasheri, M.T., Ghaderi, K. and Malek Shahkoei, S., 2019. Comparison of the efficiency of Rui Agro as w insecticides with Malathion and Hexaflumuron for control of Cereal leaf beetle Lema melanopa (Col.: Chrysomelidae) in field conditions. Journal of Entomological Research, 1(12): 51–60. https://sanad.iau.ir/en/Journal/jer/Article/915464/FullText
- Sheibani Tezerji, Z., 2010. Effect of *Bacillus* alkaloids from *Sophora flavescens* (Leguminosae) against *Formosan subterranean* termites (Isoptera: Rhinotermitidae). Journal of Economic Entomology,100(3):866–870. https://doi.org/10.1093/jee/100.3.866
- Mason, A.P., Smilanich, A.M. and Singer, M.S., 2014. Reduced consumption of protein-rich foods follows immune challenge in a polyphagous caterpillar. Journal of Experimental Biology, 217(13):2250–2260. https://doi.org/10.1242/jeb.093716
- Mehrkhou, F., 2015. Comparative demographic parameters of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lep.: Noctuidae) on four commercial sugar beet cultivars. Journal of Entomological Society of Iran,35(1):11–18. https://jesi.areeo.ac.ir/article_106365_5fb853835bc2a1fc944cea3d31b20965.pdf
- Mitchell, P.L., Gupta, R., Singh, A.K. and Kumar, P., 2004. Behavioral and developmental effects of neem extracts on *Clavigralla scutellaris* and its egg parasitoid *Gryon fulviventre*. Journal of Economic Entomology, 97(3): 916–923. https://doi.org/10.1093/jee/97.3.916
- Moradi Afrapoli, F., Mohammadi Sharif, M., Barimani Varandi, H. and Shayanmehr, M., 2022. Susceptibility of *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae) larvae to some reduced-risk insecticides in laboratory bioassays. Journal of Forest Science, 68(7): 253–262. https://doi.org/10.17221/67/2022-JFS
- Nikakhtar, S., Aramideh, Sh., Mirfakhraie, Sh. and Frouzan, M., 2022. Effect of three commercial formulations including Nimbecidine, Neem Azal T/S and Kofa from neem plant compounds on the biological stages of *Trialeurodes vaporariorum* (Hem.: Aleyrodidae) and its parasitoid, *Encarsia formosa*. Plant Pest Research, 12(1): 59–72. https://doi.org/10.22124/iprj.2022.5608
- Pavela, R., Barnet, M. and Kocourek, F., 2004. Effect of azadirachtin applied systemically through roots on mortality, development and fecundity of the cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*). Phytoparasitica, 32(3): 286–294. https://doi.org/10.1007/BF02981414
- Pineda, S., Martínez, A.M., Figueroa, J.I., Schneider, M.I., Del Estal, P., Viñuela, E., Gómez, B., Smagghe, G. and Budia, F., 2009. Influence of azadirachtin and methoxyfenozide on life parameters of *Spodoptera littoralis*. Journal of Economic Entomology, 102(4): 1490–1496. https://doi.org/10.1603/029.102.0413
- Rabelo, M.M., Santos, I.B. and Paula-Moraes, S.V.,

*thuringiensis* var. kurstaki on the first, second and third larval instars of pistachio white leaf moth *Ocneria terebinthina* (Lep.: Lymanteridae). Journal of Research in Agricultural Science, 6(11):83–92. https://www.sid.ir/journal/issue/12174/en

- Shneen, S.Y., Jassem, M.I. and Hussain, K.A.M., 2024. Studying the effect of the pesticides Tondexir and Emamectin benzoate on some biological aspects of the southern cowpea beetle *Callosobruchus maculatus*. Journal of Kerbala for Agricultural Sciences, 11(1): 114-125. https://iasj.rdd.edu.iq/journals/uploads/2024/12/09/e5bfecd14b59017c0bb1c7f0f2bc6a8a.pdf
- Souto, A.L., Sylvestre, M., Tölke, E.D., Tavares, J.F., Barbosa-Filho, J.M. and Cebrián-Torrejón, G., 2021. Plant-derived pesticides as an alternative for pest management. Molecules, 26(16):4835. https://doi.org/10.3390/molecules26164835
- Walthall, W.K. and Stark, J.D., 1997. Comparison of acute mortality and population growth rate as toxicological endpoints. Ecotoxicology and Environmental Safety, 37: 45–52. https://doi.org/10.1006/eesa.1997.1531
- Wang, D., Lv, W., Yuan, Y., Zhang, T., Teng, H., Losey, J.E. and Chang, X., 2022. Effects of insecticides on malacostraca when managing diamondback moth (*Plutella xylostella*) in combination planting-rearing fields. Ecotoxicology and Environmental Safety, 229: 1–7. https://www.sciencedirect.com/journal/ecotoxicology-and-environmental-safety/vol/229/suppl/C
- Younes, A.A., Zohdy, N.Z.M., Abul Fadi, H.A. and Fathy, R., 2018. Microbial biopesticides affected age-stage life table of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera – Gelechiidae). Egyptian Journal of Biological Pest Control, 28(10): 1–8. https://doi.org/10.1186/s41938-017-0013-0
- Zhao, Y., Wang, Q., Ding, J., Wang, Y., Zhang, Z., Liu, F. and Mu, W., 2018. Sublethal effects of chlorfenapyr on life table parameters and physiology of *Bradysia odoriphaga*. Pesticide Biochemistry and Physiology, 148: 93–102. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.05.009