The University of Tehran Press

Iranian Journal of Plant Protection Science

Online ISNN: 2008-4781

Homepage: http://ijpps.ut.ac.ir/

Toxicity of three insecticides to *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) and their selectivity for its predator, *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae)

Hasel Mesri[1] | Orouj Valizadegan[2]✉ | Asmar Soleymanzade[3]

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: hasel66.mesri@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: O.valizadegan@urmia.ac.ir
3. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: Soleymanzade.a@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 14 June 2023

Revised: 7 September 2023

Accepted: 11 September 2023

Published online: 18 September 2023

Keywords:

Lethal effect,

Sub-lethal effect,

Dinotefuran,

Flupyradifurone,

Fluxametamide.

ABSTRACT

The cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*, is a serious pest of cruciferous plants, causing worldwide economic damage, notably due to its resistance to many commonly used insecticides. Therefore, the development of integrated pest management (IPM) approaches that include novel insecticides effective against this pest is essential. This study evaluated the toxicity of insecticides flupyradifurone, fluxametamide, and dinotefuran against adults of *B. brassicae* after 24 hours using the leaf-dipping method. Probit analysis revealed flupyradifurone as the most effective insecticide against the pest, with an LC_{50} value of 58.16 mg/L. However, this novel insecticide's sublethal concentration (LC_{25}) effect on population growth parameters was estimated using the age-stage, two-sex life table theory method. The sublethal concentration (LC_{25}= 21.65 mg/L) of flupyradifurone reduced female adult longevity and fecundity compared to the control treatment. The values of the intrinsic rate of increase were 5.236 and 24.345 nymphs per female, the net reproductive rate was 0.125 and 0.277 per day, and the finite rate of increase was 1.134 and 1.319 per day with LC_{25} of flupyradifurone treatment and control, respectively. Dinotefuran with LC_{50} values of 244.50 and 1005.17 mg/L, had the highest toxicity on third instar larvae and adults of *Hippodamia variegata*, respectively. The selectivity ratio and hazard quotient values indicated that all three insecticides are selective and safe for the predator *H. variegata*. By conducting more experiments in the future, simultaneous use of insecticides flupyradifurone, dinotefuran fluxametamide and H. variegate can be recommended in the integrated management of *B. brassicae*.

Cite this article: Mesri, H., Valizadegan, O., Soleymanzade, A. (2023). Toxicity of three insecticides to *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) and their selectivity for its predator, *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 54 (1), 165-186. DOI: http//doi.org/10.22059/IJPPS.2023.360644.1007032

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJPPS.2023.360644.1007032

Extended Abstract

Introduction

The cabbage aphid, Brevicoryne brassicae L. is a serious pest of various crop plants from the family Brassicaceae, stunting plant growth, transmitting at least 20 viruses, and causing 85% yield losses. The indiscriminate use of conventional insecticides has caused unwanted consequences, such as environmental pollution, harm to pests' natural enemies, and insecticide residue. Accordingly, developing and using insecticides that are selective to pests has received more attention in recent decades. As part of integrated pest management (IPM) programs, choosing a selective insecticide with minimal effect on the natural predators and non-target insects may be the most suitable option to control a pest. On the other hand, in addition to direct mortality induced by insecticides, insect pests that survive exposure to these products may experience

behavioral and/or physiological modifications. Life table analysis makes it possible to comprehend the overall toxicity of insecticides on the pests. The variegated lady beetle, Hippodama variegata Goeze is considered one of the most active aphidophagous predators. Therefore, the current study aimed to evaluate the toxicity of insecticides flupyradifurone, fluxametamide, and dinotefuran against adults of B. brassicae and adults and third instar larvae of H. variegata. Also, the sublethal concentration (LC25) effect of the most effective insecticide was studied on B. brassicae population growth parameters.

Materials and Methods

The trials were conducted in a completely randomized design, with five concentrations of treatment and three replications. Distilled water was used as a control. Mortality was recorded after 24 h. To estimate the toxicity of the tested insecticides on B. brassicae, the cabbage leaves were immersed in different concentrations of each of the chemical products for 10 seconds and then air-dried. These treated leaves were individually placed in a Petri dish (8 cm diameter) and 20 adult aphids were transferred to each leaf. The aphids were kept at 20 ± 1°C, 60% ± 5% RH, and a photoperiod of 16:8 h (L: D). Acute toxicity measurements for H. variegata were conducted using spray applications. The Petri dishes containing 10 adults or third instar larvae were sprayed with 1 mL of the toxic solution at different concentrations of each insecticide. Immediately after spraying, the excess runoff solution was removed from the Petri dishes, and the dishes were then covered with mesh lids. The test predators were provided with cabbage aphids as a food source. To evaluate the sublethal effect of the most effective insecticide (flupyradifurone) on adult aphids, cabbage leaf discs were treated with LC25 of insecticide for 10 seconds, following the above-mentioned method for lethal effect assessment. After the leaf discs dried, a total of 100 one-day-old adult aphids were placed on the treated leaf discs in individual Petri dishes. Distilled water was used as the control treatment. After 24-h exposure, the 55 surviving aphids were transferred to a new Petri dish without insecticide and were daily observed for progeny nymphs and parental aphid survival until the last aphid died.

Results and Discussion

Probit analysis revealed flupyradifurone as the most effective insecticide against the pest, with an LC50 value of 58.16 mg/L. The LC50 values of fluxametamide and dinotefuran on B. brassicae were estimated at 173.98 and 415.54 mg/L, respectively. When compared to the control group, sublethal concentration (LC25= 21.65 mg/L) of flupyradifurone treatment significantly reduced adult longevity from 17.65 to 13.87 days. The sublethal concentration of the insecticide also affected the progeny of treated adult aphids. The values of population growth parameters, including the intrinsic rate of increase, net reproductive rate, finite rate of increase, and gross reproductive rate, were significantly lower with the LC25 of flupyradifurone compared to the control. The 24h LC50 values of flupyradifurone, dinotefuran, and fluxametamide against adults and third instar larvae of H. variegata were determined as (1408.77, 427.79), (1005.17, 244.50) and (1287.21, 430.04) mg/L, respectively. The selectivity ratio and hazard quotient values indicated that all three insecticides are selective and safe for H. variegate.

Conclusion

Selective chemical insecticides have become the dominant approach for the management of resistant insect pests. These chemical compounds, when used in combination with an effective natural enemy, may provide more effective control in the context of an integrated pest management program than either approach alone. In this study, results indicated that flupyradifurone had significant lethal and sublethal effects on B. brassicae. The obtained selectivity ratio and hazard quotient values showed that the insecticides flupyradifurone, dinotefuran, and fluxametamide are selective and safe for H. variegate. The information from this study will guide future studies and could be used as an effective tool for B. brassicae management strategies.

نشریه دانش گیاهپزشکی ایران، دوره ۵۴، شماره ۱

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۷۸۶۸-۲۴۲۳

Homepage: http://ijpps.ut.ac.ir/

ارزیابی آزمایشگاهی سمیت چند حشره‌کش شیمیایی روی شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) و بررسی انتخابی بودن آنها برای کفشدوزک شکارگر *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae)

حاصل مصری[۱] | اروج ولیزادگان[۲]✉ | اثمر سلیمان زاده[۳]

۱. گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: hasel66.mesri@gmail.com

۲. گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: O.valizadegan@urmia.ac.ir

۳. گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: Soleymanzade.a@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

کلیدواژه‌ها:

اثر کشندگی، اثر زیرکشندگی، دینوتفوران، فلوپیرادیفوران فلوکساماتامید.

چکیده

شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* یکی از آفات مهم گیاهان خانواده چلیپاییان است که در برابر بسیاری از حشره‌کش‌های رایج مقاومت پیدا کرده و در سراسر جهان سبب ایجاد خسارت اقتصادی می‌شود. بنابراین شناسایی حشره‌کش‌های جدید و توسعه برنامه‌های مدیریت تلفیقی این آفت، امری ضروری است. در این تحقیق سمیت حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، فلوکساماتامید و دینوتفوران در برابر شته‌های بالغ با استفاده از روش غوطه‌ورسازی برگ ارزیابی شد. مرگ‌ومیر بعد از گذشت ۲۴ ساعت ثبت شد. تجزیه پروبیت داده‌ها نشان داد که فلوپیرادیفوران با مقدار LC_{50} برابر با ۵۸/۱۶ میلی‌گرم بر لیتر موثرترین ترکیب در برابر آفت است. در ادامه، اثر غلظت زیرکشنده (LC_{25}) این حشره‌کش روی پارامترهای رشدی جمعیت شته مومی کلم با استفاده از تئوری جدول زندگی دوجنسی سن–مرحله رشدی بررسی شد. غلظت زیرکشنده فلوپیرادیفوران (LC_{25}= 21/65 mg/L) طول عمر و باروری ماده‌های بالغ را نسبت به شاهد کاهش داد. مقادیر نرخ خالص تولیدمثل ۵/۲۳۶ و ۲۴/۳۴۵ پوره بر ماده، نرخ ذاتی افزایش جمعیت ۰/۱۲۵ و ۰/۲۷۷ بر روز، نرخ متناهی افزایش جمعیت ۱/۱۳۴ و ۱/۳۱۹ بر روز، به ترتیب در تیمار LC_{25} فلوپیرادیفوران و شاهد به دست آمدند. دینوتفوران با مقادیر LC_{50} برابر با ۲۴۴/۵۰ و ۱۰۰۵/۱۷ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین سمیت را برای لاروهای سن سوم و حشرات بالغ کفشدوزک *Hippodamia variegata* داشت. مقادیر نسبت انتخابی و ضریب خطر نشان دادند حشره‌کش‌ها برای کفشدوزک انتخابی و ایمن هستند. با انجام آزمایش‌های تکمیلی، می‌توان استفاده همزمان حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکساماتامید به همراه *H. variegata* را در مدیریت تلفیقی شته مومی کلم توصیه کرد.

استناد: مصری، حاصل؛ ولیزادگان، اروج؛ و سلیمان زاده، اثمر (۱۴۰۲). ارزیابی آزمایشگاهی سمیت چند حشره‌کش شیمیایی روی شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) و بررسی انتخابی بودن آنها برای کفشدوزک شکارگر *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae). *نشریه دانش گیاهپزشکی ایران*، ۵۴ (۱)، ۱۸۶-۱۶۵. DOI: http//doi.org/10.22059/IJPPS.2023.360644.1007032

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: http//doi.org/10.22059/IJPPS.2023.360644.1007032

مقدمه

گیاهان خانواده چلیپاییان شامل بسیاری از گونه‌های مهم اقتصادی هستند که نقش عمده‌ای در تولید روغن و غذا برای جوامع انسانی دارند. همچنین به‌عنوان گیاهان زینتی استفاده می‌شوند. گیاهان این خانواده دارای سطوح بالایی از انواع ویتامین‌ها، توکوفرول‌ها (خصوصا آلفا و گاما توکوفرول)، کاروتنوییدها، مواد معدنی (مانند کلسیم، آهن، فسفر، گوگرد، کلر و پتاسیم) و اسید فولیک می‌باشند. کاروتنوییدها در بدن مانع آسیب اکسیداتیو می‌شوند. اسیدفولیک نیز به‌عنوان کوآنزیم عمل کرده و می‌تواند خطر بیماری‌های عروقی و سرطان را کاهش دهد (Stefanucci *et al*., 2020). کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. در سراسر دنیا در سطح وسیعی کشت می‌شود و پس از سویا به‌عنوان دومین منبع تولید روغن در جهان شناخته شده است (Meyer & Purugganan, 2013; Raboanatahiry *et al*., 2021). کلم *Brassica oleracea* var. capitata L. نیز به‌عنوان یکی از مغذی‌ترین سبزیجات خانواده چلیپاییان، به دلیل قابلیت نگهداری طولانی‌مدت، در سراسر جهان سطح کشت زیادی دارد و به‌طور سنتی در درمان بیماری‌های مربوط به اختلالات گوارشی استفاده می‌شود (Šamec *et al*., 2017). یکی از مهم‌ترین آفات چلیپاییان که خسارت زیادی را به گیاهان این خانواده وارد می‌کند، شته مومی کلم با نام علمی *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) .L است (Lashkari *et al*., 2007). این شته که به شته کلزا نیز معروف است، علاوه بر خسارت مستقیم و تغذیه از آوندهای آبکش گیاه؛ از طریق نفوذ استایلت‌های خود به بافت‌های گیاهی، به‌طور غیرمستقیم و از طریق تولید عسلک و انتقال ویروس‌ها مستقیما موجب ایجاد خسارت می‌شود. در منابع اشاره شده است که این شته ناقل ۲۰ بیماری ویروسی در دامنه وسیعی از گیاهان است (Ellis *et al*., 1998). این شته در گیاه کلزا رشد را کند کرده و میزان روغن بذر را در حدود ۱۱ درصد کاهش می‌دهد (Aslam *et al*., 2005). کنترل این آفت، عمدتا با تکیه بر استفاده از حشره‌کش‌هاست (Mahmoodi *et al*., 2020). در ایران کشاورزان در طول یک فصل زراعی، برای کنترل آفات خانواده چلیپاییان، حدود ۲۰–۱۵ بار سمپاشی انجام می‌دهند (Soleymanzade *et al*., 2019). کنترل بیولوژیکی نیز با استفاده از دشمنان طبیعی در کاهش جمعیت شته‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد؛ اما ازآنجایی‌که فعالیت دشمنان طبیعی نمی‌تواند در انتقال بیماری‌های ویروسی توسط شته‌ها ممانعت ایجاد کند، سریع‌ترین و قاطع‌ترین روش که همان روش کنترل شیمیایی است؛ ترجیح داده می‌شود (Hulle *et al*., 2020; Ricupero *et al*., 2020). همچنین، تحرک شته‌ها و سرعت زیاد آن‌ها در باروری، باعث می‌شود که کنترل آنها تنها با تکیه بر عوامل طبیعی به‌سختی امکان‌پذیر باشد (Stark & Rangus, 1994). از طرف دیگر، استفاده بیش از حد از حشره‌کش‌های رایج منجر به مشکلات کنترلی از جمله کاهش حساسیت محل هدف، افزایش مقاومت آفت و از بین رفتن موجودات غیر هدف از جمله دشمنان طبیعی می‌شود (Saldo & Szpyrka, 2009; Mahmoodi *et al*., 2020) . همچنین با توجه به نگرانی‌های کنونی جامعه جهانی، در رابطه با «سلامت گرده‌افشان‌ها»، کاهش اثرات مضر ترکیبات روی موجودات غیر هدف از جمله بندپایان مفید، ساخت و معرفی حشره‌کش‌های کم خطر جدید الویت دارد (Colares *et al*., 2017).

شته‌ها دشمنان طبیعی فراوانی دارند، و امروزه در بیشتر مناطق دنیا کنترل بیولوژیک آنها با استفاده از کفشدوزک‌ها مورد توجه و اهمیت قرار گرفته است.در این میان کفشدوزک *Hippodamia variegata* Goeze (Coleoptera: Coccinellidae) به دلیل تراکم بیشتر آن، در کاهش جمعیت شته‌ها موثرتر واقع شده است (Madadi *et al*., 2011; Messelink *et al*., 2013). بنابراین، با توجه به ظرفیت این کفشدوزک در کنترل گونه‌های مختلف شته‌ها و همچنین همه‌جازی بودن آن، آگاهی از حساسیت آن در برابر حشره‌کش‌های مختلف قابل استفاده روی شته‌ها، امری ضروری به نظر می‌رسد.

شناسایی اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌ها برای ارزیابی دقیق‌تر کارایی آنها ضروری است. سم‌شناسی دموگرافیک، یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای بررسی اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های مختلف روی آفات و دشمنان طبیعی آنها است و در آن پارامترهای جدول زیستی جمعیت‌های شاهد و تیمار مقایسه می‌شوند (Stark *et al*., 1990; Stark & Banks, 2003).

1Brassicaceae

حشره‌کش دینوتفوران با نام تجاری Starkle® از گروه نئونیکوتینوییدها، تماسی، گوارشی و سیستمیک بوده و تأثیر بسزایی روی بسیاری از آفات مکنده مانند سن‌ها، شته‌ها و سفیدبالک‌ها از خود نشان داده است. همچنین طبق گزارش‌های موجود اثر آن روی پرندگان، پستانداران، آبزیان و موجودات غیر هدف بسیار ناچیز بوده است (Wakita *et al*., 2003). حشره‌کش فلوپیرادیفوران با نام تجاری Sivanto® یک حشره‌کش سیستمیک از گروه بوتنولیدها بوده و روی آفات مکنده مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. این حشره‌کش گیرنده‌های استیل‌کولین نیکوتینی حشرات را مورد هدف قرار می‌دهد و به‌راحتی توسط گیاهان جذب می‌شود (Chen & Stelinski, 2017). حشره‌کش فلوکسامتامید با نام تجاری Gracia® به‌عنوان یک حشره‌کش جدید از گروه ایزوکسازولین‌ها، بر سامانه عصبی موثر بوده و آنتاگونیست گیرنده‌های کانال‌های کلر در حشرات می‌باشد. این حشره‌کش روی بندپایان به‌صورت انتخابی اثر کرده و برای انسان و سایر پستانداران از ایمنی بالاتری برخوردار است (Asahi *et al*., 2018).

با توجه به اهمیت مدیریت تلفیقی آفات، حفاظت از دشمنان طبیعی و همچنین جلوگیری از مقاومت آفات مختلف خصوصا شته‌ها در برابر حشره‌کش‌های رایج (Bass & Nauen, 2023)، در این پژوهش برای اولین بار سمیت حشره‌کش‌های دینوتفوران، فلوپیرادیفوران و فلوکسامتامید روی کشندگی شته مومی کلم *B. brassicae* و شکارگر مهم آن، کفشدوزک *H. variegata* مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر اثر کشندگی، اثر زیرکشندگی موثرترین حشره‌کش از بین حشره‌کش‌های دینوتفوران، فلوکسامتامید و فلوپیرادیفوران روی پارامترهای جدول زندگی شته مومی کلم نیز ارزیابی گردید. همچنین با ارزیابی‌های آزمایشگاهی، اثر کشندگی حشره‌کش‌ها و میزان انتخابی و ایمن بودن آنها روی لاروهای سن سوم و حشرات بالغ کفشدوزک *H. variegata* بررسی شد.

پیشینه پژوهش

در ارزیابی اثرات بیولوژیکی حشره‌کش‌ها، بیشتر برآورد مرگ‌ومیر آفات مدنظر بوده، و به اثر بلندمدت حشره‌کش‌ها روی آفات کمتر توجه شده است. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها می‌توانند روی رفتار و فیزیولوژی گونه‌های بندپای هدف و غیر هدف تأثیر داشته باشند (Lashkari *et al*., 2007; Mahoodi *et al*., 2022; Rajabi *et al*., 2022). در برنامه‌های مدیریت آفات مختلف، برای تصمیم‌گیری درست در انتخاب مناسب‌ترین حشره‌کش؛ نیاز به بررسی شاخص‌های رشد جمعیت آفت، تحت اثر حشره‌کش است. این مطالعات می‌توانند اندازه جمعیت آفت را پس از استفاده از حشره‌کش‌ها پیش‌بینی کنند. برای انجام پیشگویی وضعیت جمعیت یک آفت پس از استفاده از حشره‌کش، محاسبه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) و پارامترهای زیستی و تولیدمثلی می‌تواند بسیار ارزشمند باشد (Gerami *et al*., 2007). به‌عنوان مثال در یک بررسی اثر زیرکشندگی حشره‌کش فلوپیرادیفوران روی شته خردل *Lipaphis erysimi* (Kalt) موردمطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد مقدار r_m در تیمار حشره‌کش نسبت به شاهد کمتر است و فلوپیرادیفوران روی تولیدمثل آفت مذکور نیز موثر بوده است (Hosseini *et al*., 2020).

همچنین در سال‌های اخیر استفاده از حشره‌کش‌های انتخابی یکی از رویکردهای مهم در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات مختلف بوده‌اند و ترکیب آنها با عوامل کنترل زیستی از توجه زیادی برخوردار بوده است. ترکیب حشره‌کش انتخابی و دشمن طبیعی می‌تواند نسبت به استفاده هر کدام از این عوامل به‌تنهایی موثرتر باشد (Gentz *et al*., 2008). در تحقیقی اثر کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش‌های جدید کلرانترانیلی‌پرول، تتراکلرانترانیلی‌پرول و بروفلانیلید روی کفشدوزک شکارگر *Coccinella septempunctata* L. (به‌عنوان یکی از عوامل اصلی کنترل بیولوژیک آفات مختلف) بررسی شد. نتایج نشان داد که دو ترکیب اول سمیت کمتری نسبت به بروفلانیلید روی این شکارگر دارند. آزمون‌های ارزیابی خطر کلرانترانیلی‌پرول و تتراکلرانترانیلی‌پرول نیز نشان‌دهنده انتخابی بودن آنها در برابر این گونه از شکارگر بودند، و مطابق توصیه پژوهشگران، این دو ترکیب قابلیت استفاده در برنامه‌های کنترل تلفیقی آفات را دارند (Cong *et al*., 2023).

روش‌شناسی پژوهش

پرورش شته مومی کلم و گیاه کلم

پس از جمع‌آوری کلونی اولیه شته مومی کلم از مزارع واقع در روستاهای اطراف شهرستان ارومیه، استان آذربایجان غربی و شناسایی آن، پرورش حشرات روی گلدان‌های کلم *Brassicae oleracea* L. کاشته شده در گلخانه تحقیقاتی گروه گیاهپزشکی، بخش حشره‌شناسی دانشگاه ارومیه با شرایط دمایی ۱±۲۰ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام گرفت.

پرورش کفشدوزک شکارگر *H. variegata*

کلونی اولیه کفشدوزک شکارگر از مزارع یونجه حومه شهرستان ارومیه جمع‌آوری شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی شناسایی شدند (Prakash & Sharma, 2008). سپس کفشدوزک‌ها در ظرف‌های پلاستیکی پرورش به ابعاد ۱۵×۱۵×۲۰ سانتیمتر و در شرایط گلخانه قرار گرفتند. روزانه تعدادی شته مومی کلم، روی برگ‌های تازه کلم، در اختیار شکارگر قرار گرفت. برای ایجاد تهویه و جلوگیری از افزایش رطوبت روی درب ظرف‌ها سوراخ‌هایی ایجاد و با توری ریز ۵۰ مش پوشانیده شد. برای تأمین رطوبت یک گلوله پنبه مرطوب داخل ظرف‌های پرورش قرار گرفت. مقداری کاغذ صافی چین‌خورده، به‌عنوان بستر تخم‌ریزی، درون ظرف‌های پرورش قرار گرفت، سپس تخم‌های گذاشته شده روی کاغذ و روی گیاه جمع‌آوری و به پتری‌های پلاستیکی ۸ سانتی‌متری منتقل شدند. بعد از تفریخ تخم‌ها، لاروها جمع‌آوری و به داخل پتری‌های پلاستیکی به‌طور جداگانه منتقل شدند؛ سپس برای تغذیه لاروها، برگ‌های کلم آلوده به شته مومی کلم درون پتری قرار گرفتند (Zeinadini Meymand *et al*., 2019).

تهیه حشره‌کش‌ها

در این تحقیق از حشره‌کش‌های دینوتفوران (SG 20%) با نام تجاری Starkle® ساخت شرکت میتوسویی کمیکال ژاپن[1]، فلوپیرادیفوران (SL 20%) با نام تجاری Sivanto® ساخت شرکت بایر کراپ ساینس[2] و فلوکسامتامید (EC 10%) با نام تجاری Gracia® ساخت شرکت نیسان کمیکال ژاپن[3] استفاده شد.

زیست‌سنجی شته مومی کلم *B. brassicae*

برای زیست‌سنجی حشره‌کش‌ها، از روش غوطه‌ورسازی دیسک برگی[4] استفاده شد (Lashkari *et al*., 2007). برای هم‌سن‌سازی، ابتدا شته‌های بالغ روی گیاهان کلم رهاسازی شده، و پس از ۲۴ ساعت، از روی گیاهان جدا شدند تا پوره‌های هم‌سن پرورش داده شوند. در مورد هر حشره‌کش؛ آزمایش‌های مقدماتی با پنج غلظت از محلول سمی، و یک تیمار شاهد برای تعیین غلظت‌های اصلی انجام شدند. سپس، برای تعیین دامنه کشندگی ۲۵ تا ۷۵ درصد، غلظت‌های اصلی با رعایت فاصله لگاریتمی محاسبه شدند (Moradeshaghi & Pourmirza, 1974; Robertson & Presiler, 1992). غلظت‌های موردنظر برای حشره‌کش فلوپیرادیفوران، ۲۰، ۳۲، ۵۱، ۸۱ و ۱۳۰ میلی‌گرم بر لیتر؛ برای حشره‌کش دینوتفوران ۲۵۰، ۳۲۴، ۳۹۸، ۴۹۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و برای حشره‌کش فلوکسامتامید، ۱۳۰، ۱۴۴، ۱۶۶، ۱۹۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بودند. پس از آماده‌سازی هر یک از غلظت‌ها، دیسک‌های برگی تهیه شده از برگ‌های تازه و جوان کلم، به مدت ۱۰ ثانیه درون محلول‌های سمی غوطه‌ور شده، و سپس برای خشک شدن به مدت ۳۰ دقیقه در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند. پس از خشک شدن دیسک‌های برگی،

1 Mitsui Chemicals
2 Bayer Crop Science
3 Nissan Chemical
4 Leaf-dip Method

آنها به‌صورت جداگانه درون پتری‌های پلاستیکی (۸ سانتیمتری) که در کف آنها برای تأمین رطوبت کاغذ صافی مرطوب قرار داشت؛ منتقل شدند و روی هر یک از آنها ۲۰ عدد شته بالغ بدون بال قرار گرفت. هر یک از ترکیب‌ها در پنج غلظت و در سه تکرار آزمایش شدند. در تیمار شاهد نیز از آب مقطر استفاده شد. پتری‌های پلاستیکی در شرایط گلخانه قرار گرفتند و پس از گذشت ۲۴ ساعت میزان تلفات ثبت شد. معیار مرگ‌ومیر حشرات کامل، عدم تکان دادن شاخک‌ها و پاهای آنها به هنگام تحریک با قلم‌مو بود.

اثرات زیر کشندگی موثرترین حشره‌کش روی شته مومی کلم *B. brassicae*

به‌منظور بررسی اثرات زیرکشنده حشره‌کش موثر روی حشرات بالغ شته مومی کلم، دیسک‌های برگی کلم مانند روش شرح داده شده در مورد بررسی اثرات کشندگی حشره‌کش‌ها، به مدت ۱۰ ثانیه در غلظت LC_{25} حشره‌کش غوطه‌ور شدند. بعد از خشک شدن آنها، حدود ۱۰۰ ماده بالغ بدون بال و یک روزه روی دیسک‌های برگی تیمار شده در پتری‌های پلاستیکی ۸ سانتیمتری قرار گرفتند. برای این منظور از پنج دیسک برگی استفاده شد، و بر روی هر دیسک برگی در یک پتری مجزا، ۲۰ شته بالغ بدون بال قرار گرفت. پس از گذشت ۲۴ ساعت، از میان شته‌های زنده مانده، ۵۵ عدد شته به کمک قلم‌موی نازک به‌صورت انفرادی به پتری‌های پلاستیکی جدید و حاوی دیسک‌های برگی تیمار نشده منتقل شدند. سپس به‌طور روزانه خصوصیات زیستی آنها از جمله زنده‌مانی و پوره‌زایی، تا زمان مرگ آخرین شته ثبت شد. در طول مدت آزمایش هر دو روز یکبار، دیسک‌های برگی جدید جایگزین شدند. پوره‌های جدید نیز روزانه پس از ثبت و شمارش آنها از پتری‌های پلاستیکی حذف شدند. همچنین اثرات زیرکشنده موثرترین حشره‌کش روی فراسنجه‌های زیستی نتاج حاصل از شته‌های تیمار شده (نسل اول) نیز بررسی شد. برای این آزمایش تعداد ۵۵ عدد پوره حاصل از ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش جدا شده و به دیسک‌های برگی عاری از حشره‌کش در پتری‌های پلاستیکی با قطر ۸ سانتیمتر به‌طور جداگانه منتقل شدند. میزان تلفات شته‌های نسل اول و تولیدمثل آنها تا زمان مرگ آخرین شته به‌طور روزانه ثبت شد (Lashkari *et al*., 2007).

زیست‌سنجی کفشدوزک شکارگر *H. variegate*

اثر کشندگی حشره‌کش‌های دینوتفوران، فلوپیرادیفوران و فلوکسامتامید روی لاروهای سن سوم و حشرات بالغ کفشدوزک شکارگر بررسی شدند. دلیل انتخاب سن سوم لاروی این بود که نسبت به لاروهای سن اول و دوم مرگ‌ومیر طبیعی کمتری دارند و اولین سن از مرحله لاروی شکارگر هستند که حریصانه شته‌خواری می‌کنند (Rahmani & Bandani, 2013). به‌منظور همسن‌سازی لاروها و حشرات بالغ، پس از تفریخ تخم‌ها، لاروها به‌صورت انفرادی به درون پتری‌های پلاستیکی منتقل شدند. پتری‌ها به‌طور روزانه مورد بازدید قرار گرفتند و لاروها با تراکم مناسب از شته مومی کلم تغذیه شدند. سپس از لاروهای سن سوم و کفشدوزک بالغ یک روزه برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. برای بی‌حرکت شدن لاروها و حشرات بالغ، آنها به مدت پنج دقیقه در دمای یخچال (۴ درجه سلسیوس) قرار داده شدند. سپس توسط یک محلول‌پاش دستی، مقدار یک میلی‌لیتر از محلول سمی هر یک از غلظت‌های تهیه شده از حشره‌کش موردنظر روی ۱۰ لارو سن سوم یا حشره بالغ در هر پتری پلاستیکی (۸ سانتیمتری) پاشیده شد. حشرات تیمار شده به پتری‌های پلاستیکی جدید منتقل شدند. مرگ‌ومیر بعد از گذشت ۲۴ ساعت ثبت شد (Karamaouna *et al*., 2013; Aghajanzadeh *et al*., 2021). در مورد حشرات کامل غلظت‌های موردنظر برای حشره‌کش فلوپیرادیفوران، ۹۵۷، ۱۲۵۹، ۱۵۸۵، ۱۹۹۵ و ۲۸۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بودند. برای حشره‌کش دینوتفوران، این غلظت‌ها برابر با ۶۹۸، ۹۳۳، ۱۲۳۰، ۱۶۲۲ و ۲۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و برای حشره‌کش فلوکسامتامید، برابر با ۸۷۰، ۱۱۲۲، ۱۴۷۹، ۱۹۴۹ و ۲۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بودند. همچنین غلظت‌های این سه حشره‌کش برای لارو سن سوم به ترتیب برابر با

(۳۵۰، ۴۳۶، ۵۲۵، ۶۳۱ و ۷۶۵ میلی‌گرم بر لیتر)، (۱۶۵، ۲۱۹، ۲۸۲، ۳۶۳ و ۴۷۰ میلی‌گرم بر لیتر) و (۳۲۰، ۳۸۰، ۴۵۷، ۵۴۹ و ۶۶۵ میلی‌گرم بر لیتر) بودند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش‌های این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شدند. برای تعیین مقادیر کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید از روش پروبیت در نرم افزار SPSS (ver. 17.0) استفاده شد. همچنین تجزیه داده‌های حاصل از جدول زندگی با استفاده از نرم افزار Two-sex MsChart و بر اساس تئوری جدول زندگی دوجنسی سن–مرحله رشدی، و محاسبه خطای معیار و میانگین فراسنجه‌های جدول زندگی شته مومی کلم، با استفاده از روش Bootstrap انجام گرفتند (Chi *et al*., 2020) از نرم افزار SigmaPlot (ver. 12.3) برای ترسیم نمودارها استفاده شد. برای ارزیابی ضریب خطر حشره‌کش‌ها روی کفشدوزک شکارگر *H. variegata*، از فرمول زیر استفاده شد (Preetha *et al*., 2010)

رابطه ۱)
$$HQ = \frac{\text{غلظت توصیه شده مزرعه (گرم بر هکتار)}}{\text{غلظت کشنده ۵۰ درصد برای گونه مفید (میلی‌گرم بر لیتر)}}$$

مطابق با این فرمول، اگر مقدار به‌دست‌آمده از این نسبت کمتر از ۵۰ باشد؛ حشره‌کش برای گونه مفید بی‌خطر، بین ۵۰ تا ۲۵۰۰ باشد؛ حشره‌کش برای گونه مفید نسبتا سمی و اگر بیشتر از ۲۵۰۰ باشد، بسیار خطرناک خواهد بود. نسبت انتخابی حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید برای کفشدوزک شکارگر نسبت به شته مومی کلم نیز بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (Preetha *et al*., 2010). در این فرمول، اگر مقدار نسبت به‌دست‌آمده مساوی یا کمتر از ۱ باشد، حشره‌کش برای گونه مفید (کفشدوزک) نسبت به آفت سمیت بیشتری دارد. اما اگر این مقدار بیشتر از ۱ باشد، حشره‌کش برای گونه مفید سمیت کمتری نسبت به آفت دارد.

رابطه ۲)
$$SR = \frac{\text{غلظت کشنده ۵۰ درصد برای گونه مفید (میلی‌گرم بر لیتر)}}{\text{غلظت کشنده ۵۰ درصد برای گونه آفت (میلی‌گرم بر لیتر)}}$$

یافته‌های پژوهش

اثر کشندگی حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید روی شته مومی کلم

با تجزیه پروبیت داده‌های به‌دست‌آمده از زیست‌سنجی‌های حشرات بالغ شته مومی کلم با حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید غلظت‌های کشنده ۵۰ درصد (LC_{50}) این آفت برآورد شد. مطابق با نتایج حاصل، حشره‌کش فلوپیرادیفوران با کمترین میزان LC_{50} نسبت به دو ترکیب دیگر بیشترین اثر کشندگی را روی شته‌های بالغ داشت (جدول ۱).

1 Hazard Quotient
2 Selectivity Ratio

جدول ۱. نتایج تجزیه پروبیت اثر حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید روی حشرات بالغ شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* بعد از گذشت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی

حشره‌کش‌ها	تعداد حشرات	کای اسکوئر (درجه آزادی)	شیب خط ± خطای استاندارد	غلظت کشنده ۲۵ درصد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (حدود اطمینان ۹۵ درصد)	غلظت کشنده ۵۰ درصد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (حدود اطمینان ۹۵ درصد)	نسبت غلظت کشنده ۵۰ درصد به شیب خط
فلوپیرادیفوران	۳۰۰	۱/۵۷(۳)	۱/۰±۷۵/۲۷	۲۱/۶۵ (۱۳/۲۸-۰۱/۹۴)	۵۸/۱۶ (۴۶/۷۴-۷۵/۵۶)	۳۳
دینوتفوران	۳۰۰	۱/۹۵(۳)	۲/۰±۸۵/۵۹	۲۶۹/۳۱ (۲۱۷/۳۰۵-۰۶/۷۰)	۴۱۵/۵۴ (۳۷۷/۴۶۲-۳۴/۴۳)	۱۴۶
فلوکسامتامید	۳۰۰	۲/۷۹(۳)	۳/۰±۵۲/۹۴	۱۳۱/۵۱ (۱۱۴/۱۴۲-۱۳/۶۵)	۱۷۳/۹۸ (۱۶۳/۱۸۶-۵۷/۷۹)	۴۹

نسبت LC_{50} به شیب خط برای مقایسه بهتر سمیت حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید در جدول ۱ آورده شده است. مقدار عددی این نسبت هر چقدر کوچکتر باشد، پتانسیل حشره‌کشی ترکیب شیمیایی بیشتر است. مقایسه مقادیر این نسبت برای حشره‌کش فلوپیرادیفوران نسبت به دو ترکیب شیمیایی دیگر نیز موید همین مطلب است. به‌طورکلی در مقایسه چند ترکیب سمی، مقدار عددی LC_{50} هر چقدر کمتر به دست آید، سمیت آن ترکیب شیمیایی بیشتر خواهد بود. بااین‌وجود، در مقایسه پتانسیل سمیت ترکیب‌های شیمیایی شیب خط دوز–اثر نیز از ارزش بالایی برخوردار است. زمانی که مقادیر LC_{50} چند ترکیب اختلاف کمی با هم داشته باشند؛ هر چه شیب خط بیشتر باشد، پتانسیل حشره‌کشی ترکیب بیشتر است (Lei & Sun, 2018; Hajipour Jarchelou *et al*., 2022).

اثرات زیر کشندگی حشره‌کش فلوپیرادیفوران روی شته مومی کلم *B. brassicae*

نتایج مقایسه میانگین پارامترهای زیستی افراد تیمار شده شته مومی کلم با غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و شاهد در جدول (۲) نمایش داده شده است. بیشترین مقدار میانگین طول عمر شته‌های بالغ مربوط به تیمار شاهد بود. این مقدار برای تیمار حشره‌کش و شاهد به ترتیب برابر با ۱۳/۸۷ روز و ۱۷/۶۵ روز به دست آمد. باروری نیز تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش از ۲۷/۹۰ پوره به ازای هر شته ماده در شاهد به مقدار ۵/۶۵ عدد کاهش پیدا کرد. مطابق با نتایج حاصل، غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران، طول دوره رشدی پیش از بلوغ شته مومی کلم را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داده است. میانگین طول دوره پوره‌زایی شته‌های بالغ در شاهد ۱۰/۴۸ روز و در شته‌های تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش فلوپیرادیفوران بسیار کمتر و معادل با سه روز به دست آمد. تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش، طول دوره رشدونمو سنین پورگی در مقایسه با شاهد، به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (جدول ۲).

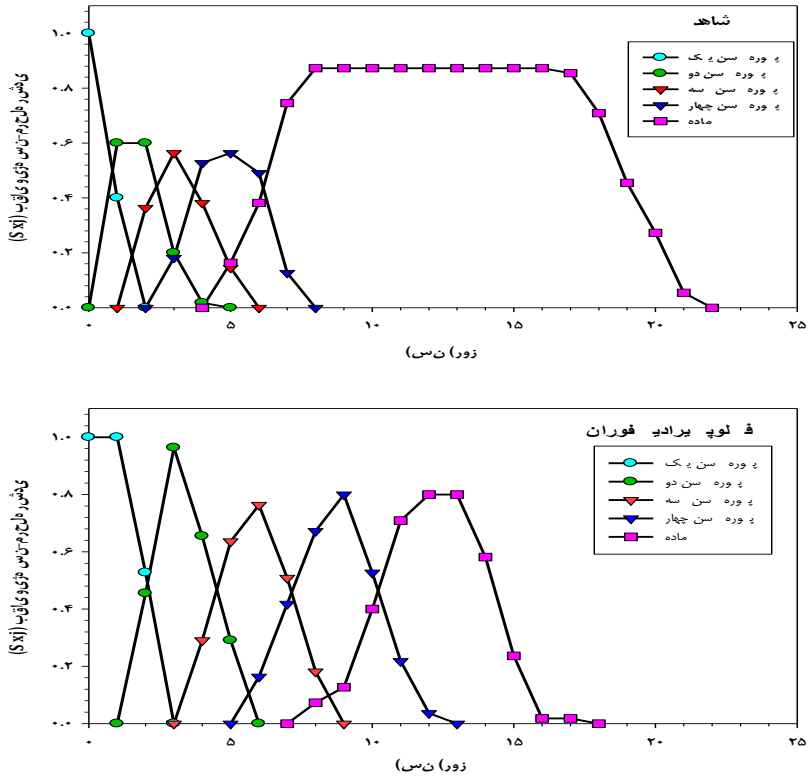
جدول ۲. پارامترهای زیستی (Means±SE) شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش فلوپیرادیفوران در مقایسه با تیمار شاهد

پارامترهای بیولوژیکی	تیمارها	
طول مراحل رشد و نموی (روز)	**شاهد**	**فلوپیرادیفوران**
پوره سن اول	۱/۰±۳۸/۰۷^{b}	۲/۰±۵۴/۰۷^{a}
پوره سن دوم	۱/۰±۴۷/۰۸^{b}	۲/۰±۴۷/۰۷^{a}
پوره سن سوم	۱/۰±۵۴/۰۷^{b}	۲/۰±۵۷/۰۷^{a}
پوره سن چهارم	۲/۰±۰۱/۰۷^{b}	۳/۰±۰۶/۱۲^{a}
دوره پیش از بلوغ	۶/۰±۵۲/۱۴^{b}	۱۰/۰±۶۳/۱۷^{a}
طول عمر (روز) و تولیدمثل افراد بالغ		
طول عمر بالغ	۱۷/۰±۶۵/۷۴^{a}	۱۳/۰±۸۷/۴۳^{b}
TPOP	۷/۰±۱۰/۱۴^{b}	۱۱/۰±۴۳/۱۸^{a}
APOP	۰/۰±۵۸/۰۷^{b}	۰/۰±۸۰/۰۶^{a}
طول دوره پوره زایی	۱۰/۰±۴۸/۶۸^{a}	۳/۰±۰۰/۰۸^{b}
باروری (پوره/ماده)	۲۷/۰±۹۰/۲۰^{a}	۵/۰±۶۵/۱۵^{b}

حروف نامشابه در هر ردیف بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار در بین تیمارها است (Paired bootstrap test, $P<0.05$).

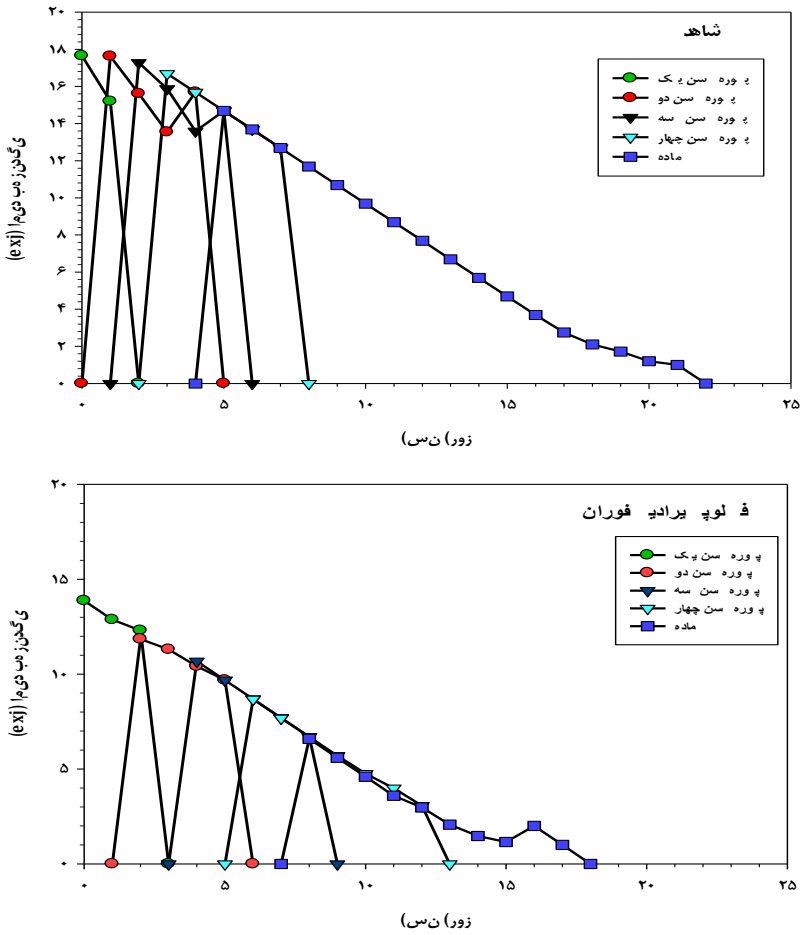
TPOP: کل دوره پیش از پوره‌زایی، APOP: دوره پیش از پوره‌زایی ماده‌های بالغ

منحنی مربوط به نرخ بقای ویژه سن–مرحله رشدی شته مومی کلم (S_{xj})، تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران، در شکل ۱ نشان داده شده است. مطابق با نتایج حاصل، ماده‌ها در تیمار شاهد سه روز زودتر از تیمار حشره‌کش فلوپیرادیفوران ظاهر شدند. طول دوره مراحل پورگی (نابالغ) شته مومی کلم در تیمار زیرکشنده حشره‌کش نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد که باعث طولانی‌تر شدن سیکل زندگی آفت و کاهش تعداد نسل آن می‌شود.



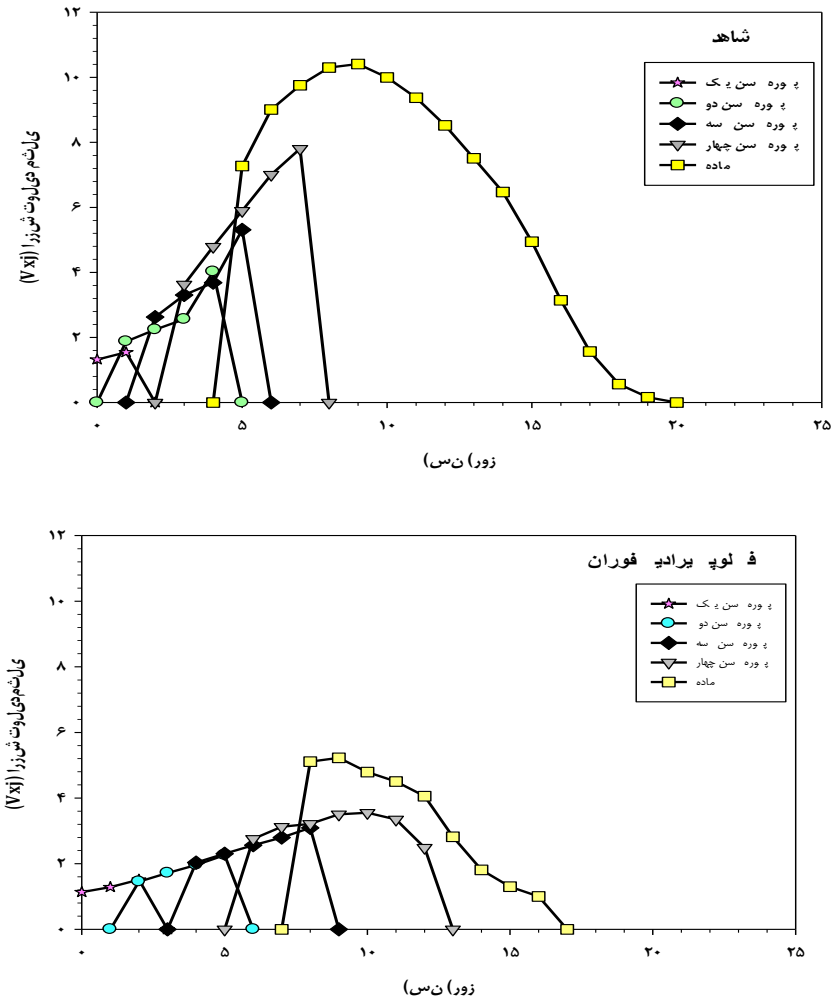
شکل ۱. نرخ بقای ویژه سن–مرحله رشدی (S_{xj}) شته مومی کلم تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و شاهد

منحنی امید به زندگی ویژه سن–مرحله رشدی (e_{xj}) شته مومی کلم در شکل ۲ نشان داده شده است. این شاخص، طول عمر پیش‌بینی شده افراد شته مومی کلم قرار گرفته در برابر غلظت زیرکشنده حشره‌کش را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده حشره‌کش فلوپیرادیفوران باعث کاهش امید به زندگی سنی–مرحله‌ای شد. به‌عنوان مثال، برای پوره سن یک، در روز صفر، امید به زندگی در تیمار شاهد ۱۸ روز بود که تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش این مقدار به ۱۴ روز کاهش یافت.



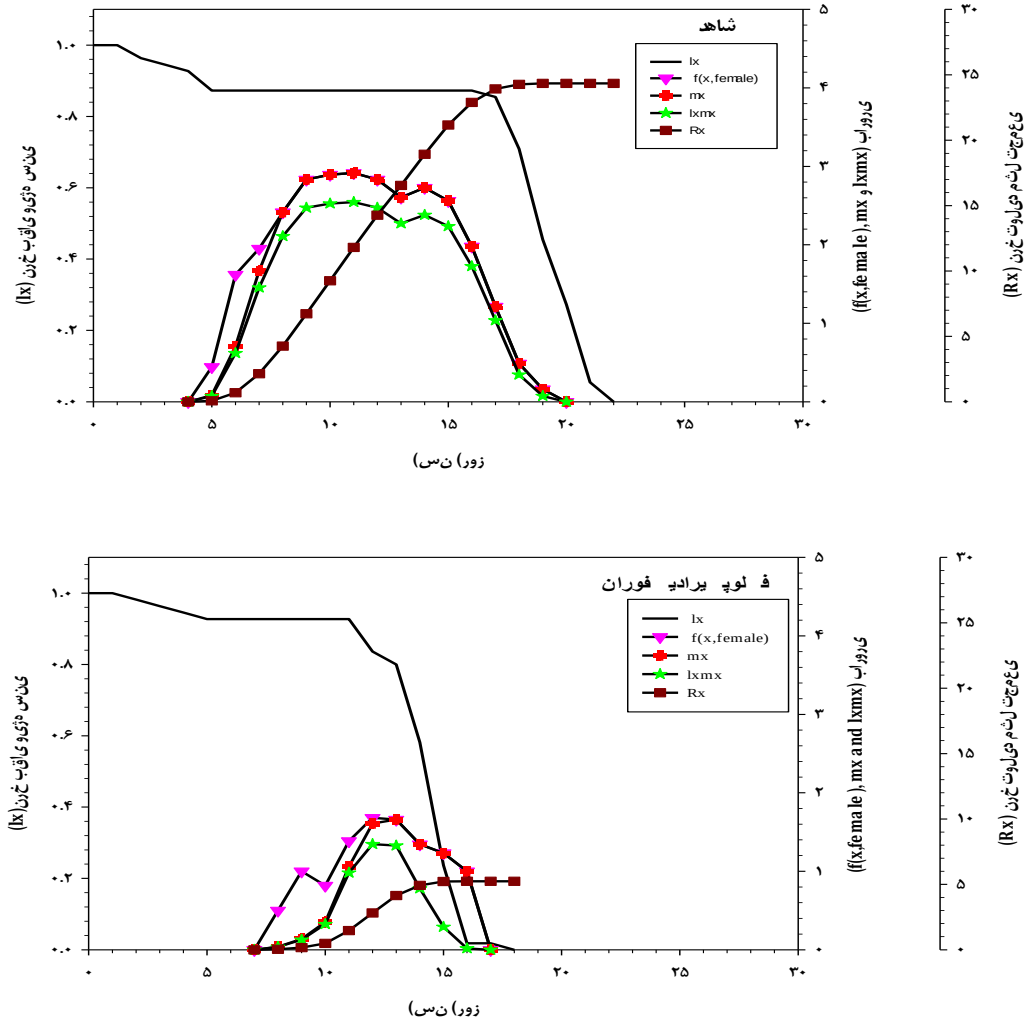
شکل ۲. امید به زندگی ویژه سن–مرحله رشدی (e_{xj}) شته مومی کلم تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و شاهد

از جمله شاخص‌های مهم دیگر، ارزش تولیدمثلی ویژه سن–مرحله رشدی (V_{xj}) است، که میزان مشارکت هر یک از افراد شته مومی کلم را در ایجاد نسل بعدی نشان می‌دهد (شکل ۳). بیشتر بودن مقدار این پارامتر در افراد ماده حاکی از آن است که این مرحله رشدی نقش بارزتری در ایجاد جمعیت نسل آینده دارد. مطابق با نتایج حاصل، تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران (LC_{25})، ارزش تولیدمثلی ماده‌های تیمار شده و مراحل نابالغ نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. بالاترین نقطه اوج ارزش تولیدمثلی در تیمار شاهد مشاهده شد (V_9=10. 1). نقطه اوج این منحنی در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد (V_9=5.22).



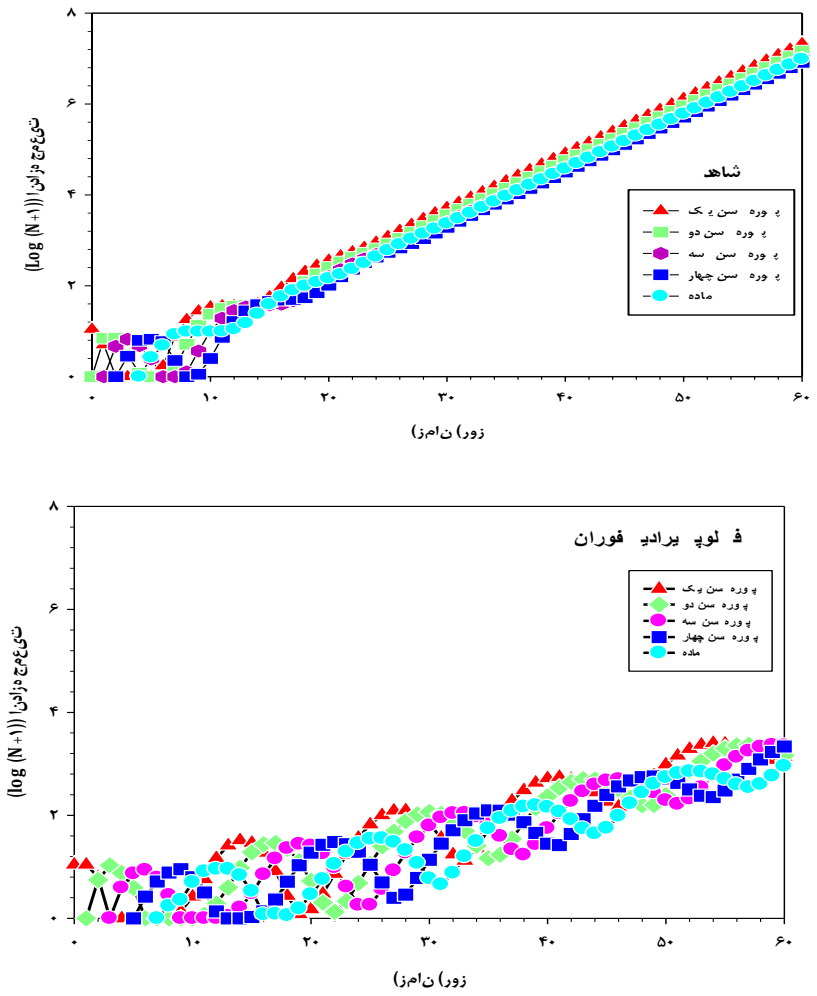
شکل ۳. ارزش تولیدمثلی ویژه سن–مرحله رشدی (V_{xj}) شته مومی کلم تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و شاهد

مطابق نتایج به‌دست‌آمده (شکل ۴) نرخ بقا (l_x) که احتمال زنده‌مانی یک فرد از تولد تا شروع سن x را نشان می‌دهد، در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش در روز بیست و دوم، ولی در تیمار شاهد، در روز شانزدهم به صفر رسید. باروری ویژه سن (m_x) برای شاهد ۲/۹۲ پوره در روز یازدهم بود که در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش به ۱/۴۸ پوره در روز دوازدهم کاهش پیدا کرد. باتوجه‌به منحنی تولیدمثل خالص روزانه (l_xm_x) که نشان‌دهنده کاهش زادوولد در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران نسبت به شاهد است، نقطه اوج منحنی در تیمارهای شاهد و حشره‌کش به ترتیب ۲/۵۹ و ۱/۲۳ بوده که در روزهای یازدهم و سیزدهم رخ داد. همچنین بیشترین مقدار نرخ تولیدمثل تجمعی (R_x) در شاهد مشاهده شد.

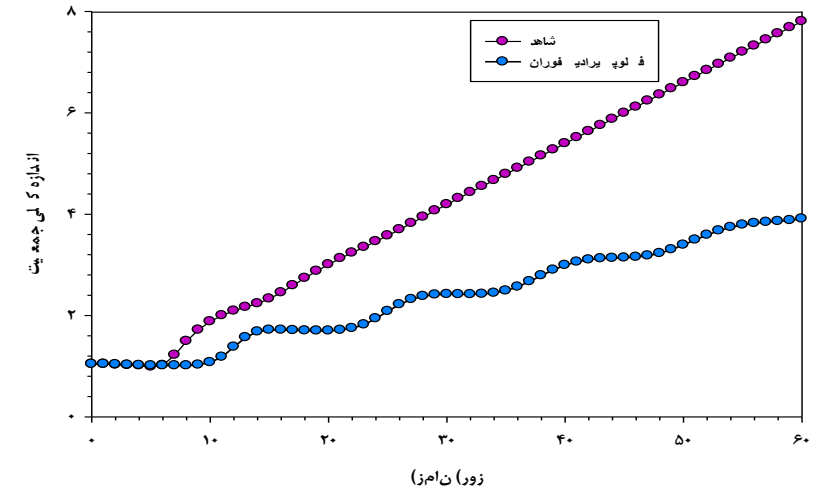


شکل ۴. منحنی نرخ بقای ویژه سنی (l_x) ، باروری ویژه سنی (m_x)، باروری ویژه سن–مرحله رشدی (F_{xj})، تولیدمثل خالص روزانه (l_xm_x) و نرخ تولیدمثل تجمعی (Rx) شته مومی کلم تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و شاهد

پیش‌بینی افزایش مراحل مختلف جمعیت شته مومی کلم در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و شاهد در بازه زمانی ۶۰ روزه نشان داد تیمار حشره‌کش به علت پایین بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت، کمترین سرعت رشدونمو را دارد (شکل ۵). پایین‌تر بودن سرعت رشدونمو در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش نشان می‌دهد که با کاهش غلظت مورد استفاده حشره‌کش؛ علاوه بر کاهش دوز مصرفی آن می‌توان از سرعت رشد جمعیت شته مومی کلم نیز کاست. روند کلی رشد جمعیت شته مومی کلم نیز حاکی از کاهش قابل توجه روند افزایشی جمعیت در غلظت زیرکشنده فلوپیرادیفوران بود (شکل ۶).



شکل ۵. پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار مرحله شته مومی کلم تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و شاهد در طول ۶۰ روز



شکل ۶. رشد جمعیت کل شته مومی کلم تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و شاهد در طول ۶۰ روز

پارامترهای رشد جمعیت نسل اول حاصل از شته مومی کلم تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و تیمار شاهد در جدول ۳ نشان داده شده است. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) که یکی از مهم‌ترین شاخص‌های زیستی و جمعیتی حشرات است؛ نشان‌دهنده نرخ تغییرات جمعیت به ازای هر فرد از جمعیت در هر روز است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده مقدار این پارامتر تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. در واقع کاهش باروری و بقای شته مومی کلم دلیل اصلی کاهش این مقدار است. بالاترین مقدار پارامتر نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) نیز در تیمار شاهد دیده شد (۱/۳۱۹ بر روز). مقدار عددی این پارامتر حاکی از آن است که جمعیت در هر روز نسبت به روز قبل چند برابر شده است و مقدار آن در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش کاهش معنی‌داری داشت. نرخ خالص تولیدمثل (R_0) نشان‌دهنده تعداد افراد اضافه شده به جمعیت به ازای هر فرد در طول یک نسل است. مقدار به‌دست‌آمده برای این پارامتر نیز در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت. همچنین بین تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران و شاهد تفاوت معنی‌داری در مقدار عددی نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) که تعداد پوره‌های اضافه شده به جمعیت در طول یک نسل را بدون در نظر گرفتن درصد تلفات نشان می‌دهد؛ وجود داشت. میانگین طول یک نسل (T) آفت نیز تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده فلوپیرادیفوران در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد.

جدول ۳. پارامترهای رشد جمعیت (میانگین ±SE) نسل اول حاصل از شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش فلوپیرادیفوران در مقایسه با تیمار شاهد

پارامترهای رشد جمعیت	تیمارها	
	شاهد	فلوپیرادیفوران
نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m)	۰/۰±۲۷۷/۰۰۶^{a}	۰/۰±۱۲۵/۰۰۴^{b}
نرخ خالص تولیدمثل (R_0)	۲۴/۱±۳۴۵/۲۶۹^{a}	۵/۰±۲۳۶/۲۴۲^{b}
نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)	۱/۰±۳۱۹/۰۰۸^{a}	۱/۰±۱۳۴/۰۰۵^{b}
نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR)	۲۸/۰±۰۹۰/۲۰۶^{a}	۸/۰±۴۳/۵۷۳^{b}
میانگین طول یک نسل (T)	۱۱/۰±۵۰۳/۱۵۵^{b}	۱۳/۰±۱۸۸/۱۶۹^{a}

اثر کشندگی حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید روی کفشدوزک شکارگر *H. variegata*

با تجزیه پروبیت داده‌های به‌دست‌آمده از زیست‌سنجی لاروهای سن سوم و حشرات بالغ کفشدوزک *H. variegata* با حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید غلظت‌های کشنده ۵۰ درصد این شکارگر برآورد شد. مطابق با نتایج حاصل، پایین‌ترین مقدار LC_{50} روی لارو سن سوم و حشرات بالغ کفشدوزک شکارگر مربوط به حشره‌کش دینوتفوران بود که نشان می‌دهد این ترکیب سمیت بیشتری برای شکارگر دارد (جدول ۴). مقایسه مقادیر نسبت LC_{50} به شیب خط برای حشره‌کش دینوتفوران نسبت به دو ترکیب شیمیایی دیگر نیز موید همین مطلب است (Lei & Sun, 2018; Hajipour Jarchelou *et al*., 2022). حساسیت لارو سن سوم کفشدوزک شکارگر نیز در برابر حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران و فلوکسامتامید یکسان بود. همپوشانی محدوده‌های اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شده برای هر حشره‌کش نیز نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین LC_{50}های به‌دست‌آمده برای آن است.

جدول ۴. نتایج تجزیه پروبیت اثر حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید روی حشرات بالغ و لارو سن سوم کفشدوزک *Hippodamia variegata* بعد از گذشت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی

حشره‌کش‌ها	مرحله رشدی	تعداد حشرات	کای اسکوئر (درجه آزادی)	شیب خط ± خطای استاندارد	غلظت کشنده ۵۰ درصد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (حدود اطمینان ۹۵ درصد)	غلظت کشنده ۹۰ درصد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر (حدود اطمینان ۹۵ درصد)	نسبت غلظت کشنده ۵۰ درصد به شیب خط
فلوپیرادیفوران	حشره بالغ	۳۰۰	۲/۲۰(۳)	۲/۰±۸۶/۴۸	۱۴۰۸/۷۷ (۱۵۸۶–/۸۴) (۱۳۷۶/۳۲	۳۹۴۶/۹۶ (۳۰۷۵/۶۳۳۰–۱۴/۳۵)	۴۹۳
	لارو سن سوم	۳۰۰	۰/۸۶(۳)	۳/۰±۹۰/۶۴	۴۲۷/۷۹ (۴۱۹/۵۲۴–۲۵/۰۵)	۹۸۸/۲۰ (۸۳۳/۱۳۴۹–۰۲/۱۸)	۱۱۰
دینوتفوران	حشره بالغ	۳۰۰	۳/۵۸(۳)	۲/۰±۶۳/۴۵	۱۰۰۵/۱۷ (۸۴۳/۱۱۴۵–۲۳/۴۳)	۳۰۰۸/۴۵ (۲۳۶۸/۵۰۹۴–۳۹/۶۱)	۳۸۲
	لارو سن سوم	۳۰۰	۱/۸۹(۳)	۲/۰±۹۰/۴۸	۲۴۴/۵۰ (۲۳۲/۲۷۴–۱۸/۹۱)	۶۷۴/۰۶ (۵۲۸/۱۰۶۶–۵۶/۰۶)	۸۴
فلوکسامتامید	حشره بالغ	۳۰۰	۲/۰۹(۳)	۲/۰±۷۶/۴۸	۱۲۸۷/۲۱ (۱۳۵۵–/۵۶) (۱۱۹۴/۶۱	۳۷۲۶/۲۶ (۲۸۸۹/۶۰۰۹–۱۱/۲۵)	۴۶۶
	لارو سن سوم	۳۰۰	۱/۱۵(۳)	۳/۰±۸۷/۷۰	۴۳۰/۰۴ (۳۹۲/۴۶۵–۵۴/۵۱)	۸۵۰/۲۹ (۷۲۰/۱۱۵۰–۸۶/۵۱)	۱۱۱

بر اساس بررسی‌های ارزیابی خطر نیز هر سه حشره‌کش فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید برای کفشدوزک شکارگر *H. variegata* در گروه حشره‌کش‌های بی‌خطر و انتخابی قرار گرفتند (جدول ۵).

جدول ۵. نتایج ارزیابی خطر حشره‌کش‌های فلوپیرادیفوران، دینوتفوران و فلوکسامتامید کفشدوزک *Hippodamia variegata*

حشره‌کش	مرحله رشدی	غلظت توصیه شده (گرم بر هکتار)	نسبت انتخابی		ضریب خطر	
			نسبت انتخابی	گروهبندی	ضریب خطر	گروهبندی
فلوپیرادیفوران	حشره بالغ	۵۰۰	۲۴/۲۲	انتخابی	۰/۳۶	ایمن
دینوتفوران	حشره بالغ	۷۵۰	۲/۴۲	انتخابی	۰/۷۵	ایمن
فلوکسامتامید	حشره بالغ	۵۰۰	۷/۴۰	انتخابی	۰/۳۹	ایمن

بحث

طبق نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق در مقایسه سمیت حشره‌کش‌های فلوکسامتامید، دینوتفوران و فلوپیرادیفوران، مورد آخر نتایج کنترلی خوب، و اثرات منفی قابل ملاحظه‌ای روی پارامترهای رشد جمعیتی شته مومی کلم داشت. با توجه به بررسی منابع قبلی، تاکنون مطالعه‌ای در مورد اثرات کشندگی و زیرکشندگی فلوپیرادیفوران روی شته مومی کلم انجام نشده است. در تحقیقی اثر زیرکشندگی حشره‌کش فلوپیرادیفوران روی شته خردل *L. erysimi* بررسی شد (Hosseini *et al*., 2020). غلظت زیرکشنده فلوپیرادیفوران نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش داد. همچنین مطابق با نتایج این مطالعات، ویژگی‌های زیستی آفت از جمله طول عمر شته بالغ، طول دوره پوره‌زایی، طول دوره بعد از پوره‌زایی و تعداد نتاج تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش قرار گرفتند

و تفاوت معنی‌داری با شاهد داشتند. در تحقیق دیگری در بررسی تأثیر غلظت زیرکشنده (LC_{25}) فلوپیرادیفوران روی آفت شته سبز هلو (Sulzer) *Myzus persicae*، حشره‌کش طول عمر شته بالغ و طول دوره پوره‌زایی را به ترتیب از ۱۴/۶۹و ۱۲/۲۹ روز در تیمار شاهد به ۱۲/۰۷ و ۹/۹۸ روز در تیمار غلظت زیرکشنده حشره‌کش کاهش داد (Tang *et al*., 2019). نتایج بررسی تأثیر غلظت زیرکشنده (LC_{25}) فلوپیرادیفوران روی نسل اول شته جالیز *A. gossypii*، نشان داد طول دوره پوره سن چهارم، دوره قبل از پوره‌زایی و دوره قبل از بلوغ در تیمار حشره‌کش نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کردند، و باروری شته‌های ماده کاهش یافت. پارامترهای رشد جمعیت نیز از جمله نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و نرخ خالص تولیدمثل (R_0) در تیمار حشره‌کش کمتر از تیمار شاهد بودند (Liang *et al*., 2019). نتایج این مطالعات با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

اثرات حشره‌کشی فلوپیرادیفوران روی چندین آفت مکنده دیگر از جمله پسیل آسیایی مرکبات *Diaphorina citri* (Kuwayama)، عسلک پنبه *Bemisia tabaci* (Gennadius) و سن *Lygus hesperus* (Knight) مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج کنترلی خوبی روی این آفات داشته است (Smith & Giurcano, 2013; Joseph & Bolda, 2016; Chen *et al*., 2017). با توجه به دوره رشدونموی کوتاه شته مومی کلم و استفاده مکرر حشره‌کش‌های شیمیایی علیه آن، این آفت به بسیاری از حشره‌کش‌های شیمیایی از گروه‌های مختلف مقاومت نشان داده است (Ahmad *et al*., 2005; Ahmad & Akhtar, 2013). با افزایش مقاومت آفات، استفاده از حشره‌کش‌ها افزایش پیدا می‌کند و به تبع آن خطرات زیست‌محیطی آنها افزایش می‌یابد، در نتیجه مطالعه و بررسی حشره‌کش‌های جدیدی مانند فلوپیرادیفوران می‌تواند توسعه مقاومت در آفت شته مومی کلم را به تأخیر بیاندازد و در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفت موثر واقع شود. در آینده، تحقیقات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی بیشتر می‌تواند در استفاده از حشره‌کش فلوپیرادیفوران در برنامه‌های مدیریت تلفیقی شته مومی کلم موثر واقع شود. در مورد سایر حشره‌کش‌ها نیز نتایج تحقیقات مختلف ثابت کرده‌اند که قرار گرفتن آفات مختلف در معرض غلظت‌های زیرکشنده آنها می‌تواند پیامدهای نامطلوب طولانی مدتی را برای آفات ایجاد کند (Desneux *et al*., 2005). طولانی شدن زمان رشدونمو مراحل مختلف زندگی، دوره تولیدمثلی و میانگین طول یک نسل، از جمله این پیامدها روی افراد در معرض قرار گرفته آفات مختلف از جمله شته جالیز *A. gossypii* و کرم قوزه پنبه *Helicoverpa armigera* (Hubner) بوده است (Zhang *et al*., 2013; Ullah *et al*., 2019)

نتایج تحقیق حاضر نشان داد قرار گرفتن جمعیت شته مومی کلم در معرض غلظت زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران طول دوره‌های رشد و نمو مراحل پورگی و دوره قبل از بلوغ آفت را افزایش و طول عمر ماده‌های بالغ و همچنین میزان پوره‌زایی آنها را کاهش داد. تحقیقات دیگری نیز در بررسی اثرات زیرکشندگی حشره‌کش کلرانترانیلی‌پرول روی بید کلم *Plutella xylostella* L. و ایندوکساکارب و بتاسایپرمترین روی شته برگ یولاف *Rhopalosiphum padi* L. به نتایج مشابهی دست یافته‌اند (Guo *et al*., 2013; Zuo *et al*., 2016) هم‌سو با نتایج تحقیق حاضر، پژوهش‌های دیگری روی آفت شته مومی کلم انجام گرفته‌اند و نشان داده‌اند که بیشتر حشره‌کش‌های مورد استفاده پارامترهای رشد جمعیتی از جمله نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و نرخ خالص تولیدمثل (R_0) را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش و میانگین طول مدت یک نسل (T) را افزایش داده‌اند (Mahoodi *et al*., 2022; Rajabi *et al*., 2022). با این حال، در تحقیقی مشاهده شد که قرار گرفتن شته مومی کلم در معرض حشره‌کش ایمیداکلوپراید باعث کاهش میانگین طول مدت یک نسل آفت می‌شود (Lashkari *et al*., 2007). همچنین افزایش مقدار نرخ خالص تولیدمثل (R_0) در شته جالیز تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش نیتن‌پیرام گزارش شده است (Wang *et al*., 2016).

حشره‌کش فلوکسامتامید حشره‌کش نسبتا جدیدی بوده که اثر کشندگی خوبی روی برخی آفات مکنده از جمله تریپس غربی گل *Frankniela occidentalis* (Pergande)، زنجرک *Laodelphax striatellus* (Fallén) و کنه تارتن دولکه‌ای *Tetranychus urticae* (Koch) داشته است (Asahi *et al*., 2018; Nateq Golestan *et al*., 2021). در تحقیق حاضر این حشره‌کش با مقدار LC_{50} برابر با ۱۷۳/۹۸ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به دو ترکیب دیگر فعالیت حشره‌کشی متوسطی روی آفت

داشت. همچنین در تحقیقی، حشره‌کش دینوتفوران و تیامتوکسام روی شته مومی کلم بررسی شدند. مقدار LC_{50} این دوحشره‌کش به ترتیب برابر با ۳۰۰/۵۰ و ۸۴/۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد (Mohamed *et al*., 2015).

کفشدوزک‌های شکارگر Coccinellid به سبب اینکه هم لارو و هم حشرات بالغ آنها رفتار شکارگری دارند، جزو مهم‌ترین عوامل کنترل بیولوژیک به حساب می‌آیند (Skouras *et al*., 2019). در تحقیق حاضر بررسی ضریب خطر و نسبت انتخابی حشره‌کش‌های فلوکسامتامید، فلوپیرادیفوران و دینوتفوران نشان داد که هر سه حشره‌کش در برابر کفشدوزک شکارگر *H. variegata* در گروه حشره‌کش‌های بی‌خطر و انتخابی قرار گرفته‌اند. در تحقیق دیگری اثر کشندگی فلوپیرادیفوران و سولفوکسوفلور روی کفشدوزک شکارگر *Hippodamia convergens* (Guerin) مورد بررسی قرار گرفت (Colares *et al*., 2017). با وجود اینکه هر دو حشره‌کش سمیت نسبتا ضعیفی برای شکارگر داشتند؛ اثرات منفی روی پارامترهای رشد و نموی و تولیدمثلی شکارگر نداشتند و مطابق توصیه آنها هر دو حشره‌کش قابل استفاده در برنامه‌های مدیریت تلفیقی شته نیشکر *Melanaphis sacchari* (Zehntner) بودند. نتایج یک بررسی نشان داد که غلظت توصیه شده حشره‌کش دینوتفوران علیه شپشک آردآلود مرکبات، سمیت بالایی روی کفشدوزک شکارگر *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) و پارازیتوئید *Leptomastix dactylopii* (Howard) دارد و در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفت، دینوتفوران قابل توصیه نبود (Cloyd & Dickinson, 2006) . تاکنون هیچ اثر سوئی از فلوکسامتامید بر روی دشمنان طبیعی آفات گزارش نشده است و طبق بررسی منابع این حشره‌کش اثر ناچیزی روی گرده‌افشان‌ها دارد (Gope *et al*., 2022).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

استفاده بیش از حد از حشره‌کش‌های رایج سبب کاهش اثر آنها و مقاومت آفات مختلف شده است. از این رو، استفاده از حشره‌کش‌های جدید با نحوه اثر متفاوت برای به حداقل رساندن دوز مصرفی حشره‌کش‌های شیمیایی و همچنین جلوگیری از مقاومت آفات می‌تواند راهکاری موثر در کنترل آفات مختلف از جمله شته‌ها باشد. براساس نتایج حاصل از این تحقیق با توجه به اثرات کشندگی و زیرکشندگی قابل توجه حشره‌کش فلوپیرادیفوران، می‌توان از آن برای تحقق اهداف ذکر شده در بالا برای کنترل شته مومی کلم استفاده کرد. استفاده از حشره‌کش‌های انتخابی به عنوان یکی از رویکردهای اساسی برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات، و استفاده هم‌زمان آنها با عوامل کنترل زیستی، اهمیت بسزایی داشته و مورد توجه مطالعات مختلفی قرار گرفته است. مطابق با نتایج تحقیق حاضر در صورت تکمیل آزمایش‌های زیرکشندگی حشره‌کش‌ها روی کفشدوزک شکارگر، آزمایش‌های مزرعه‌ای و بررسی بیشتر اثرات سمی فلوکسامتامید، فلوپیرادیفوران و دینوتفوران می‌توان در برنامه‌های مدیریت تلفیقی شته مومی کلم از این ترکیب‌ها به همراه کفشدوزک شکارگر *H. variegata* استفاده کرد.

منابع

آقاجانزاده، سیروس؛ غلام‌زاده چیتگر، مولود؛ حسن‌زاده، محمود و غلامیان، اسماعیل. (۱۴۰۰). اثر روغن‌های معدنی، پالیزین و بوپروفزین روی فراسنجه‌های جدول زیستی کفشدوزک شکارگر *Cryptolaemus montrouzieri* (Col: Coccinellidae). *دانش گیاهپزشکی ایران*، ۵۲(۲)، ۵۹-۷۱.

حاجی‌پور جارچلو، صحرا؛ ولیزادگان، اروج و سلیمان‌زاده، اثمر. (۱۴۰۰). ارزیابی آزمایشگاهی روغن بذر کلم و عصاره خارشتر در افزایش فعالیت حشره‌کشی آفت‌کش‌های کلرانترانیلی‌پرول و لامبداسای‌هالوترین روی سفیده بزرگ کلم *Pieris brassicae* (Lepidoptera: Pieridae). *نامه انجمن حشره‌شناسی ایران*، ۴۱(۴)، ۳۲۱-۳۴۰.

حسینی، سعیده؛ عباسی‌پور، حبیب؛ عسکریان‌زاده، علیرضا و نوروزی، علی. (۱۳۹۹). اثرات زیرکشنده حشره‌کش فلوپیرادیفوران روی فراسنجه‌های جدول زندگی شته خردل (Kalt) *Lipaphis erysimi*. *تحقیقات آفات گیاهی*، ۱۰(۱)، ۵۵-۶۸.

رجبی، هانیه؛ صفوی، سید علی و فروزان، مریم. (۱۴۰۱). فراسنجه‌های زیستی شته مومی کلم (L.) *Brevicoryne brassicae* در

مواجهه با غلظت زیرکشنده (LC25) کلوفلوآزورون. *تحقیقات آفات گیاهی*، ۱۲(۲)، ۲۱-۳۴.

گرامی، شادیه؛ طالبی جهرمی، خلیل؛ حیدری، احمد؛ عاشوری، احمد و رسولیان، غلامرضا (۱۳۸۶). بررسی اثرات زیرکشندگی حشره‌کش ایمیداکلوپراید روی پارامترهای جدول زیستی شته جالیز *Aphis gossypii*(Hom: Aphididae) *تحقیقات آفات گیاهی*، ۷۵(۱)، ۶۷-۸۰

مراد اسحقی، محمد جواد و پورمیرزا، علی اصغر. (۱۳۵۳). بررسی مقاومت سنین مختلف لارو شب پره هندی *Plodia interpunctella* Hb. در برابر حشره‌کش میکروبی *Bacillus thuringiensis*. *نامه انجمن حشره‌شناسی ایران*، ۲(۱)، ۲۵-۳۴.

ناطق گلستان، محمد؛ شفقی، فاطمه و شیخی گرجان، عزیز. (۱۴۰۰). کارایی چند حشره‌کش علیه تریپس غربی گل *Frankliniella occidentalis*، با ارایه دو شاخص جدید اثربخشی آن در خیار گلخانه‌ای. *پژوهش‌های کاربردی در گیاهپزشکی*، ۱۰(۴)، ۱۷-۲۳.

REFERENCES

Aghajanzadeh, S., Gholamzadeh-Chitgar, M., Hasanzadeh, M. & Gholamian, E. (2022). Effect of mineral oils, palizin and buprofezin on life table parameters of predatory ladybeetle, *Cryptolaemus montrouzieri* (Col.: Coccinellidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 52(2), 59-71. https://doi:10.22059/IJPPS.2021.318535.1006968 (In Persian).

Ahmad, M. & Akhtar, S. (2013). Development of insecticidal resistance in field populations of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) in Parkistan. *Journal of Economic Entomology*, 106, 954 -958. https://doi:10.1603/ec12233

Ahmad, M. & Aslam, M. (2005). Resistance of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) to endosulfan, organophosphates and synthetic pyrethroids. *Pakistan Journal of Zoology*, 37, 293-295.

Asahi, M., Kobayashi, M., Kagami, T., Nakahira, K. & Furukawa, Y. (2018). Fluxametamide: A novel isoxazoline insecticide that acts via distinctive antagonism of insect ligand-gated chloride channels. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 151, 67–72. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.02.002

Aslam, M., Razaq, M. & Shahzad, A. (2005). Comparison of different canola (*Brassica napus* L.) varieties for resistance against cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.). *Agricultural Research*, 33, 23-7.

Bass, C. & Nauen, R. (2023). The molecular mechanisms of insecticide resistance in aphid crop pests. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 156, 103937. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2023.103937

Chen, X. D., Seo, M. & Stelinski, L. L. (2017). Behavioral and hormetic effects of the butenolide insecticide, flupyradifurone, on Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*. *Crop Protection*, 98, 102-107. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.03.017

Chi, H., You, M., Atlihan, R., Smith, C. L., Kavousi, A., Özgökçe, M. S., Güncan, A., Tuan, S. J., Fu, J. W., Xu, Y. Y. & Zheng, F. Q. (2020). Age-stage, two-sex life table: an introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis*, 40, 103–124. https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0936

Cloyd, R. A. & Dickinson, A. (2006). Effect of insecticides on mealybug destroyer (Coleoptera: Coccinellidae) and parasitoid *Leptomastix dactylopii* (Hymenoptera: Encyrtidae), natural enemies of citrus mealybug (Homoptera: Pseudococcidae). *Journal of Economic Entomology*, 99(5), 1596-1604. https://doi.org/10.1093/jee/99.5.1596

Colares, F., Michaud, J. P., Bain, C. L. & Torres, J. B. (2017). Relative toxicity of two aphicides to *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae): implications for integrated management of sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 110(1), 52-58. https://doi.org/10.1093/jee/tow265

Cong, Y., Chen, J., Xie, Y., Wang, Y. & Cheng, C. (2023). Toxicity and sublethal effects of diamide insecticides on key non-target natural predators, the larvae of *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Toxics*, 11(3), 270. https://doi.org/10.3390/toxics11030270

Desneux, N., Fauvergue, X., Dechaume Moncharmont, F. X., Kerhoas, L., Ballanger, Y. & Kaiser,

L. (2005). Diaeretiella rapae limits *Myzus persicae* populations after applications of deltamethrin in oilseed rape. *Journal of Economic Entomology*, 98, 9-17. https://doi.org/10.1093/jee/98.1.9

Ellis, P. R., Pink, D. A. C., Phelps, K., Jukes, P. L., Breeds, S. E. & Pinnegar, A. E. (1998). Evaluation of a core collection of *Brassica oleracea* accessions for resistance to *Brevicoryne brassicae*, the cabbage aphid. *Euphytica*, 103, 149-160. https://doi.org/10.1023/A:1018342101069

Gerami, Sh., Talebi Jahromi, Kh., Heidari, A., Ashori, A. & Rasoulian, Gh. (2007). Sublethal effects of imidaclopride on the life table parameters of *Aphis gossypii* (Hom: Aphididae). *Applied Entomology and Phytopathology*, 75(1): 67-80. (In Persian).

Gentz, M. C., Murdoch, G. & King, G. F. (2010). Tandem use of selective insecticides and natural enemies for effective, reduced-risk pest management. *Biological Control*, 52(3), 208-215. http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.07.012

Gope, A., Chakraborty, G., Ghosh, S. M., Sau, S., Mondal, K., Biswas, A., Sarkar, S., Sarkar, P. K. & Roy, D. (2022). Toxicity and sublethal effects of fluxametamide on the key biological parameters and life history traits of diamondback moth *Plutella xylostella* (L.). *Agronomy*, 12(7), 1656. https://doi.org/10.3390/agronomy12071656

Guo, L., Desneux, N., Sonoda, S., Liang, P., Han, P. & Gao, X. W. (2013). Sublethal and transgenerational effects of chlorantraniliprole on biological traits of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. *Crop Protecttion*, 48, 29–34. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.02.009

Hajipour Jarchelou, S., Valizadegan, O. & Soleymanzade, A. (2022). Laboratory assessment of cabage seed oil and *Alhagi maurorum* extract in enhanced insecticidial activity of chlorantraniliprole and lambda-cyhalothrin against *Pieris brassicae* (Lepidoptera: Pieridae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 41(4), 321-340. https://doi.org/10.22117/jesi.2022.357933.1453 (In Persian).

Hosseini, S., Abbasipour, H., Askarianzadeh, A. & Noroozi, A. (2020). Sublethal effects of flupyradifurone insecticide on the life table parameters of the mustard aphid, *Lipaphis erysimi* (Kalt). *Plant Pests Research*, 10(1), 55-68. https://doi.org/10.22124/iprj.2020.4106 (In Persian).

Hullé, M., Chaubet, B., Turpeau, E. & Simon, J. C. (2020). Encyclop'Aphid: a website on aphids and their natural enemies. *Entomologia Generalis*, 40, 97–101. http://dx.doi.org/10.1127/entomologia/2019/0867

Joseph, S. V. & M. Bolda. (2016). Efficacy of insecticides against *Lygus hesperus* Knight (Hemiptera: Miridae) in the California's Central Coast Strawberry. *International Journal of Fruit Science*, 16, 178–187. https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1219293

Karamaouna, F., Kimbaris, A., Michaelakis, A., Papachristos, D., Polissiou, M., Papatsakona, P. & Tsora, E. (2013). Insecticidal activity of plant essential oils against the vine mealybug, *Planococcus ficus*. *Journal of Insect Science*, 13(142), 1-13. https://doi.org/10.1673/031.013.14201

Lashkari, M. R., Sahragard, A. & Ghadamyari, M. (2007). Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on population growth parameters of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* on rapeseed, *Brassica napus* L. *Insect Science*, 14, 207-212. http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7917.2007.00145.x

Lei, C. & Sun, X. (2018) Comparing lethal dose ratios using probit regression with arbitrary slopes. *BMC Pharmacology and Toxicology*, 19, 1-10. https://doi.org/10.1186/s40360-018-0250-1

Liang, P. Z., Ma, K. S., Chen, X. W., Tang, C. Y., Xia, J., Chi, H. & Gao, X. W. (2019). Toxicity and sublethal effects of flupyradifurone, a novel butenolide insecticide, on the development and fecundity of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 112(2), 852-858. https://doi.org/10.1093/jee/toy381

Madadi, H., Parizi, E. M., Allahyari, H. & Enkegaard, A. (2011). Assessment of the biological control capability of *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae) using functional response experiments. *Journal of Pest Science*, 84(4), 447-455. https://doi.org/10.1007/s10340-011-0387-9

Mahmoodi, L., Mehrkhou, F., Guz, N., Forouzan, M. & Atlihan, R. (2020). Sublethal effects of three insecticides on fitness parameters and population projection of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 113(6), 2713-2722.

http://dx.doi.org/10.1093/jee/toaa193

Messelink, G. J., Bloemhard, C. M., Sabelis, M. W. & Janssen, A. (2013). Biological control of aphids in the presence of *thrips* and their enemies. *BioControl*, 58(1), 45-55. https://doi.org/10.1007/s10526-012-9462-2

Meyer, R. S. & Purugganan, M. D. (2013). Evolution of crop species: genetics of domestication and diversification. *Nature Reviews Genetics*, *14*(12), 840-852. https://doi.org/10.1038/nrg3605

Mohamed, H. T., Mohamed, I. A., Abou-Elhagag, G. H. & Saba, R. M. (2015). Toxicity and field persistence of thiamethoxam and dinotefuran against cabbage aphid, *Brevicoryne brassica* L.(Homoptera: Aphididae) under laboratory and field conditions. *Journal of Phytopathology and Pest Management*, 2(2), 20-26.

Moradeshaghi, M. J. & Pourmirza, A. A. (1974). Survay on the resistance of different stages of mediterranean flour moth (*Plodia interpunctella*) to *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Entomological Society of Iran*, 2(1): 25-34. (In Persian).

Nateq Golestan, M., Shafaghi, F. & Sheikhi Gorjan, A. (2021). Efficacy of several insecticides against western flower Thrips *Frankliniella occidentalis* by introducing its two new effectiveness indices in greenhouse cucumber. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 10(4), 17-23. https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2021.12905 (In Persian).

Prakash, C. J. & Sharma, P. K. (2008). First records of *Cooinellid beetles* (Coccinellidae) from the haridwar, (Uttarakhand), India. *The Natural History Journal of Chulalongkorn University*, 8(2), 157-167.

Preetha, G., Stanley, J., Suresh, S. & Samiyappan, R. (2010). Risk assessment of insecticides used in rice on miridbug, *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter, the important predator of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal.). *Chemosphere*, *80*(5), 498-503. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.04.070

Raboanatahiry, N., Li, H., Yu, L. & Li, M. (2021). Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, utilization, and genetic improvement. *Agronomy*, *11*(9), 1776. https://doi.org/10.3390/agronomy11091776

Rajabi, H., Safavi, S. A. & Fourouzan, M. (2022). Biological parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*, encountering the sublethal concentration (LC_{25}) of chlorfluazuron. *Plant Pests Research*, 12(2), 21-34. https://doi.org/10.22124/iprj.2022.5792 (In Persian).

Rahmani, S. & Bandani, A .R. (2013). Sublethal concentrations of thiamethoxam adversely affect life table parameters of the aphid predator, *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae). *Crop Protection*, 54, 168-175. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.002

Ricupero, M., Desneux, N., Zappalà, L. & Biondi, A. (2020). Target and nontarget impact of systemic insecticides on a polyphagous aphid pest and its parasitoid. *Chemosphere*, 247, 125728. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125728

Robertson, J. L. & Preisler, H. K. (1992). *Pesticide bioassay with arthropods*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Saldo, S. & Szpyrka, E. (2009). Ecotoxicological view of protection of apple orchards against insect pests in Poland. *Pestycydy* (1-4), 15-26.

Šamec, D., Pavlović, I. & Salopek-Sondi, B. (2017). White cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata f. alba): botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry Reviews*, *16*, 117-135. https://doi.org/10.1007/s11101-016-9454-4

Skouras, P. J., Brokaki, M., Stathas, G. J., Demopoulos, V., Louloudakis, G. & Margaritopoulos, J. T. (2019). Lethal and sub-lethal effects of imidacloprid on the aphidophagous coccinellid *Hippodamia variegata*. *Chemosphere*, 229, 392-400. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.037

Smith, H. A. & Giurcanu, M. C. (2013). Residual effects of new insecticides on egg and nymph densities of *Bemisia tabac*i (Hemiptera: Aleyrodidae). *Florida Entomologist*, 96, 504–511. https://doi.org/10.1653/024.096.0216

Soleymanzade, A., Valizadegan, O. & Askari Saryazdi, G. (2019). Biochemical mechanisms and

cross resistance patterns of chlorpyrifos resistance in a laboratory-selected strain of Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(7), 1859-1870.

Stark, J. D. & Banks, J. E. (2003). Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology*, 48, 505–519. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621

Stark, J. D. & Rangus, T. M. (1994). Lethal and sublethal effects of the neem insecticide formulation,'Margosan-O', on the pea aphid. *Pesticide Science*, 41(2), 155-160. https://doi.org/10.1002/ps.2780410212

Stark, J. D., Vargas. R. I. & Thalman, R. K. (1990). Azadirachtin: effects on metamorphosis, longevity and production of three Tephritid fruit fly species (Dip: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 83, 2168-2174. https://doi.org/10.1093/jee/83.6.2168

Stefanucci, A., Zengin, G., Llorent-Martinez, E. J., Dimmito, M. P., Della Valle, A., Pieretti, S., Gunes, A. k., Sinan, K. I. & Mollica, A. (2020). Chemical characterization, antioxidant properties and enzyme inhibition of Rutabaga root's pulp and peel (*Brassica napus* L.). *Arabian Journal of Chemistry*, 13(9), 7078-7086. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.07.013

Tang, Q., Ma, K., Chi, H., Hou, Y. & Gao, X. (2019). Transgenerational hermetic effects of sublethal dose of flupyradifurone on the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Plos One*, 14(1), 0208058. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208058

Ullah, F., Gul, H., Yousaf, H. K., Xiu, W., Qian, D., Gao, X., Tariq, K., Han, P., Desneux, N. & Song, D. (2019). Impact of low lethal concentrations of buprofezin on biological traits and expression profile of chitin synthase 1 gene (chs1) in melon aphid, *Aphis gossypii*. *Scientific Reports*, 9, 1-13. https://doi.org/10.1038/s41598-019-48199-w

Wakita, T., Kinoshita, K., Yamada, E., Yasui, N., Kawahara, N., Naoi, A., Nakaya, M., Ebihara, K., Matsuno, H. & Kodaka, K. (2003). The discovery of dinotefuran: a novel neonicotinoid. *Pest Management Science*, 59(9), 1016-1022. https://doi.org/10.1002/ps.727

Wang, L., Zhang, Y., Xie, W., Wu, Q. & Wang, S. (2016). Sublethal effects of spinetoram on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 132, 102–107. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.02.002

Zeinadini, M., Sahebzadeh, N., Ravan, S. & Basirat, M. (2019). Side effects of spirotetramat and imidacloprid on *Hippodamia variegata* Goezee feeding on *Agonoscena pistaciae* Burckhardt & Lauterer. *Journal of Nuts*, 10(1), 35-45. https://doi.org/10.22034/jon.2019.664207 (In Persian)

Zhang, R. M., Dong, J. F., Chen, J. H., JI, Q. E. & Cui, J. J. (2013). The Sublethal Effects of Chlorantraniliprole on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Integrative Agriculture*, 12, 457–466. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60246-4

Zuo, Y. Y., Wang, K., Lin, F. F., Li, Y. T., Peng, P., Pinero, J. C. & Chen, M. H. (2016). Sublethal effects of indoxacarb and beta-cypermethrin on *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. *Florida Entomologist*, 99, 445–450. https://doi.org/10.1653/024.099.0316