



Research Article

Vol. 39, No. 2, 2025, p. 133-152



Sublethal Effects of Thiocyclam hydrogen oxalate and Spiromesifen on Life Table and Population Projection of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae)

Mahsa Abdollahzadeh-Bovani¹, Fariba Mehrkhrou^{2*}, Maryam Forouzan³

1 and 2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

3- Plant Protection Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran

(*Corresponding author's Email: f.mehrkhrou@urmia.ac.ir)

Received: 22-12-2024
Revised: 20-01-2025
Accepted: 25-01-2025
Available Online: 09-07-2025

How to cite this article:

Abdollahzadeh-Bovani, M., Mehrkhrou, F., & Forouzan, M. (2025). Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen, on life table and population projection of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Iranian Plant Protection Research*, 39(2), 133-152. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2024.91255.1214>

Introduction

Greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae) is one of the most serious pests of many horticultural and greenhouse crops that causes quantitative and qualitative damages in the yield of greenhouse products. However, various controlling methods (e.g., agronomic, mechanical, behavioral, and biological) are used for management of greenhouse whitefly pest, but usage of synthetic insecticides is the only easy and cost-effective strategy for dealing with arthropod pests in many crop production systems, which is more common controlling method in Iran. Due to the extensive usage of non-selective insecticides against *T. vaporariorum*, and their side effects on natural enemies, we used in the present study, selective, harmless, and eco-friendly insecticides. In this research, we evaluated the lethal and sublethal efficiency of two insecticides, thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen. Thiocyclam hydrogen oxalate is a broad-spectrum systemic as well as a contact insecticide. It is highly effective against a wide range of insect pests, particularly sucking mouth parts (e. g., aphids, leafhoppers, and whiteflies). Spiromesifen, is known as a non-systemic insecticide which belongs to the spirocyclic pheny substituted tetroneic acid class. It is effective against a broad spectrum of pests and it disrupts the biosynthesis of lipids including triglycerides and free fatty acids. Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen were studied by considering the biological properties and life table parameters of *T. vaporariorum*. Our results may improve *T. vaporariorum* control efficiency in greenhouses meanwhile using reduced concentrations of these insecticides, which may be resulted in hindered host resistance to aforementioned insecticides and reduced their residuals on greenhouse crops.

Materials and Methods

The colony of whitefly was collected on ornamental crops (vervain and hollyhocks) at the greenhouse in Department of Horticulture at Urmia University during September 2023. The gathered whitefly population was reared on bean (var. MINA) in plastic pots (15 × 19 cm) under controlled greenhouse conditions (27 ± 2°C, 65% ± 5% RH, and a photoperiod of 16: 8 L: D h).

The dipping method was used for bioassay and life table studies against third instar nymphs of *T.*



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2024.91255.1214>

vaporariorum. The LC_{50} value of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen insecticides for third instar nymphs of the whitefly were obtained 392.627 and 854.871 ppm, respectively after 24 hours. The obtained LC_{25} concentrations (117.520 and 731.548 ppm), were used to estimate the sub-lethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen on the biological parameters of third instar nymphs of the greenhouse whitefly. To study the sublethal effects of both used insecticides, 50 same-aged of the third instar nymphs of the greenhouse whitefly were selected from the insect colony and then dipped in above mentioned sublethal concentrations of insecticides. The treated nymphs were transferred into petri dishes until the adults were appear. After adult emergence their eggs were used to life table studies. The age stage, two-sex life table method was used to analyze the collected data. We used the bootstrap technique with 100,000 iterations to estimate the variance and standard errors of the biological and population parameters and Sigma Plot software used to draw graphs. The growth of the pest population in a period of 60 days was done with Timing-MsChart software.

Results and Discussion

The present study demonstrated that thiocyclam hydrogen oxalate insecticide showed more acute toxicity on third instar nymphs of the greenhouse whitefly. Moreover, exposure of third instar nymphs to sublethal concentrations (LC_{25}) negatively affected the development, survival, and reproductive characteristics and demographic factors. According to our findings, sublethal concentration of examined insecticides showed a significant increase in pre-adult duration of the pest on thiocyclam hydrogen oxalate treatment compared to spiromsifen and control treatments. The female adult's lifespan/longevity was affected due to the usage of sublethal concentration of mentioned insecticides. The lowest duration of pre-reproductive period (APOP) in control treatment was recorded as 1.33 days, while this parameter increased in treatments exposed to insecticides. Fecundity was reduced significantly in sublethal concentration of the insecticides compared to the control. The highest value of fecundity in control treatment was recorded 11.85 eggs per female and the lowest value in thiocyclam hydrogen oxalate was obtained 1.7 eggs per female. The mean oviposition period of greenhouse whitefly decreased from 4.44 days in control to 1.4 and 1.38 days in LC_{25} concentration of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen, respectively. All biological table parameters (R_0 , r and λ) of *T. vaporariorum* treated with sublethal concentration of the used insecticides were significantly affected compared to the control. The sublethal concentration of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen reduced the net reproductive rate (R_0) from 4.21 eggs per female in each generation in the control treatment to 0.29 and 0.54 egg in LC_{25} concentration of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen, respectively. The intrinsic rate of increase (r) in sublethal concentration mention insecticides were recorded 0.0176 and -0.0271(day^{-1}) and in control (0.0525 day^{-1}). Other parameters, such as finite rate of increase (λ) and gross reproductive rate (GRR), in spiromsifen and thiocyclam hydrogen oxalate treatments were also significantly lower than the control treatment. The mean generation time (T) of the greenhouse whitefly affected by the LC_{25} concentration of spiromsifen compared to the control treatment.

Conclusions

The overall results demonstrated that both of the used insecticides could be considered as effective insecticides in management of *T. vaporariorum*.

Keywords: Biological properties, Greenhouse whitefly, Insecticides, Population growth

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی جدول زندگی و پیش‌بینی روند جمعیتی سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae)

مه‌سا عبدالله زاده بوانی^۱ - فریبا مهرخو^{۲*} - مریم فروزان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

چکیده

سفیدبالک گلخانه، (*Trialeurodes vaporariorum*)، آفتی پلی‌فاژ با تعداد نسل زیاد است و از نظر اقتصادی آفت مهم گیاهان جالیزی و گلخانه‌ای می‌باشد. در این پژوهش، اثر غلظت‌های کشنده و زیرکشنده دو حشره‌کش تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات ($LC_{25}=58/76$ میلی‌گرم ماده موثره بر لیتر) و اسپیرومسیفن ($LC_{25}=175/57$ میلی‌گرم ماده موثره بر لیتر) بر فراسنجه‌های جدول زندگی و پیش‌بینی روند رشد جمعیت *T. vaporariorum* در شرایط آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. روش مورد استفاده در زیست‌سنجی‌ها، غوطه‌ور کردن برگ‌های لوبیا حاوی پوره به مدت ۲۰ ثانیه در ترکیب حشره‌کش‌های مذکور بود. مطالعات جدول زندگی با ۵۰ عدد تخم هم‌سن انجام یافت. تجزیه داده‌ها با استفاده از تئوری جدول زندگی دو جنسی ویژه سن-مرحله رشدی و با استفاده از برنامه TWOSX-MSChart انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از غلظت زیرکشنده تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات منجر به طولانی شدن مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه گردید. همچنین، هر دو حشره‌کش تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن باعث کاهش طول عمر حشرات کامل و میزان باروری *T. vaporariorum* نسبت به شاهد شد. استفاده از غلظت زیرکشنده حشره-کش‌ها منجر به کاهش فراسنجه‌های رشد جمعیت (r ، λ و R_0) سفیدبالک گلخانه گردید. میزان نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت و نرخ خالص تولیدمثل ترتیب در شاهد، تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن شامل $0/0525 \pm 0/006$ بر روز، $0/05 \pm 0/006$ بر روز و $0/97 \pm 0/009$ بر روز و $4/21 \pm 0/73$ (نتاج)، $0/176 \pm 0/004$ بر روز، $0/95 \pm 0/01$ بر روز و $0/29 \pm 0/10$ (نتاج) و $0/271 \pm 0/002$ بر روز، $0/97 \pm 0/009$ بر روز و $0/54 \pm 0/11$ (نتاج) به دست آمد. همچنین، نتایج حاصل از پیش‌بینی روند جمعیتی سفیدبالک گلخانه با فراسنجه‌های رشد جمعیت مطابقت داشت. به عنوان مثال، با افزایش مدت زمان یک نسل حشره (T)، در نتایج که والدین آنها با غلظت زیرکشنده تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات تیمار شده بودند، سرعت رشد جمعیتی کمتری داشتند. مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که هر دو حشره‌کش مورد استفاده می‌توانند به عنوان حشره‌کش‌های موثر در مدیریت سفیدبالک گلخانه مدنظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: حشره‌کش‌ها، رشد جمعیت، سفیدبالک گلخانه، ویژگی‌های زیستی

مقدمه

پلی‌فاژ هست که سبب کاهش کمی و کیفی تولید محصولات گلخانه‌ای می‌شود (Lahiri et al., 2022). پوره‌ها و حشرات کامل این آفت به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به گیاه آسیب می‌رسانند، در خسارت مستقیم، با تغذیه از شیر گیاهی منجر به کلروز، ضعف کلی گیاه میزبان و کاهش شادابی و بهره‌وری گیاه می‌شود (Alegbejo & Banwo, 2005; Colvin et al., 2006; Prijović et al., 2013). در خسارت غیرمستقیم، با دفع عسلک، منجر به رشد قارچ دوده‌ای می‌شود و این بر روند فیزیولوژی گیاه تأثیر می‌گذارد (Bi et al., 2002). همچنین این حشره می‌تواند ناقل ویروس‌های گیاهی همچون ویروس پیچیدگی و زردی برگ گوجه‌فرنگی (TYLCV)،

با توجه به شرایط دما و رطوبت حاکم بر گلخانه‌ها، آفات زیادی در این محیط فعالیت دارند، سفیدبالک گلخانه یکی از آفات مهم و

۱ و ۲- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
(Email: f.mehrkhrou@urmia.ac.ir)

*- نویسنده مسئول: https://doi.org/10.22067/jpp.2024.91255.1214_

باشد ضروری است (Avery *et al.*, 2015). مطالعات متعددی پیرامون اثرات جانبی حشره‌کش‌های مختلف روی این حشره انجام شده است (Omer & Leigh, 1995; Simmonds *et al.*, 2002; Heidari *et al.*, 2005) اگرچه مواردی از اثرات جانبی حشره‌کش‌های سوپروفرزین (Kumar & Singh, 2014)، آزادیراختین (Nikakhtar *et al.*, 2022)، کالیپسو (Safavi & Bakhshaei, 2017) و آبامکتین (Beheshti *et al.*, 2022) بر ویژگی‌های رفتاری، فراسنجه‌های زیستی و تولیدمثلی *T. vaporariorum* وجود دارد، با این حال تاکنون اطلاعات جامع و کاملی در خصوص اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی گونه مذکور موجود نمی‌باشد. اسپیرومسیفن یک ترکیب جدید و متعلق به گروه شیمیایی کتونول‌ها است که در سراسر جهان برای کنترل کنه و سفیدبالک روی سبزیجات، میوه‌ها، پنبه و چای استفاده می‌شود. این حشره‌کش روی تمام مراحل رشد کنه‌ها و سفیدبالک موثر بوده و منجر به کنترل طولانی مدت این آفات می‌شود. این حشره‌کش برای حشرات مفید بی‌خطر است (Saidi & Ziaei, 2017). اسپیرومسیفن به‌عنوان یک حشره‌کش و کنه‌کش با عملکرد خاص در مزارع و گلخانه‌ها استفاده می‌شود (Asadi *et al.*, 2019; Sarbaz *et al.*, 2017). این ترکیب به‌عنوان مهار کننده سنتز لیپید عمل می‌کند و به‌دلیل نحوه اثر آن می‌تواند به‌عنوان یک ترکیب ایمن در مواردی که سفیدبالک‌ها به ترکیبات دیگر مقاومت نشان داده‌اند استفاده شود (Rakhshani, 2005; Abdollahzadeh-Bovani *et al.*, 2017; Hosseininia *et al.*, 2024). حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات حشره‌کشی با منشأ بیولوژیک است که دارای خاصیت حشره‌کشی تماسی-گوارشی و سیستمیک خفیف بوده و با مهار کردن گیرنده نیکوتینی استیل کولین در سامانه عصبی مرکزی حشره باعث فلج و در نهایت مرگ حشره می‌شود (Ebneabbasi *et al.*, 2023). این حشره‌کش کارایی قابل قبولی برای کنترل آفاتی نظیر مگس‌های مینوز جالیز (Sheikhgjarjan *et al.*, 2021)، پروانه مینوز گوجه‌فرنگی، تریپس و سفیدبالک گلخانه دارد (Zawrah *et al.*, 2020; Sheikhgjarjan *et al.*, 2021). از جمله راهکارهایی که در کشاورزی نوین به‌منظور کاهش اثرات نامطلوب آفت‌کش‌های مصرفی در زیست‌بوم‌های مختلف کشاورزی مورد توجه قرار گرفته، استفاده از غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مصرفی است (Erdogan *et al.*, 2021). فاکتورهای غیر زنده، نظیر آب و هوا باعث می‌شود موجودات هدف و غیرهدف غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها را در محصولات زراعی دریافت کنند (Dai *et al.*, 2021; Guedes *et al.*, 2016). باید خاطر نشان کرد که غلظت‌های زیرکشنده می‌تواند منجر به اختلال در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رفتاری گردد (Desneux *et al.*, 2007). بنابراین در این پژوهش، تأثیر غلظت-

ویروس زردی دروغی چغندرقد (BPYV) و ویروس موزاییک طلائی لوبیا (BGMV) باشد (Bi *et al.*, 2002; Wintermantel *et al.*, 2009; Karatolos *et al.*, 2010; Reshadat-Salvanagh *et al.*, 2024). سفیدبالک دارای دامنه میزبانی وسیع متشکل از ۳۰۰ نوع از ۸۲ خانواده گیاهی است که مهم‌ترین میزبان‌های آن عبارتند از گیاهان خانواده کدوئیان، بادمجانیان، باقلائیان و سبزیجات گلخانه‌ای که از مهم‌ترین آنها می‌توان به گوجه‌فرنگی، خیار و گیاهان زینتی اشاره کرد (Pavela, 2009). بررسی‌ها به‌خوبی نشان می‌دهد که سفیدبالک‌ها در تمام طول سال در گلخانه‌ها فعال هستند (Subba *et al.*, 2017). بنابراین یکی از چالش‌های مهم در گلخانه‌ها، کنترل جمعیت سفیدبالک گلخانه می‌باشد (Menke & Gerhard, 2010; Nasruddin *et al.*, 2021). روش‌های مختلفی جهت کنترل آفت گلخانه‌ای سفیدبالک وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش‌های زراعی، مکانیکی، رفتاری، بیولوژیک و شیمیایی اشاره کرد (Alibakhshi *et al.*, 2020). استفاده از حشره‌کش‌ها تنها استراتژی آسان و مقرون به‌صرفه برای مقابله با بندپایان آفت در بسیاری از سیستم‌های تولید محصول به‌شمار می‌رود (Hudson *et al.*, 1996). کنترل سفیدبالک‌ها نیز وابسته به استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی می‌باشد (Cuthbertson *et al.*, 2012; Basit *et al.*, 2013). به‌طوری‌که طی سالهای گذشته جهت کنترل این آفت صرفاً از روش‌های شیمیایی استفاده شده است (Zapata *et al.*, 2016; Duhan *et al.*, 2017). مبارزه شیمیایی با سفیدبالک به‌علت تخم‌گذاری افراد بالغ و رشد و نمو پوره‌ها در سطح زیرین برگ و نیز مقاومت سفیدبالک به تعداد زیادی از حشره‌کش‌ها مشکل می‌باشد (Bi & Toscano, 2007; Heidari *et al.*, 2005). به‌ویژه اینکه در سالهای اخیر این آفت در اثر استفاده مداوم و غیر اصولی حشره‌کش‌های شیمیایی حالت طغیانی پیدا کرده و نژادهای مقاوم این آفت در اثر سم‌پاشی‌های غیر اصولی به‌وجود آمده است (Schmuttere, 2002). گزارش‌هایی از بروز مقاومت به حشره‌کش‌های پیرتروئید، کاربامات و ارگانوفسفات از جمله دیمتوات توسط این آفت صورت گرفته است (Menke & Gerhard, 2010). ویژگی‌های زیستی سفیدبالک مانند قدرت تولیدمثلی بالا، تعداد نسل زیاد در سال و چندین‌خوار بودن توانایی این حشره برای بروز مقاومت در برابر حشره‌کش‌ها را افزایش می‌دهد (Bi & Toscano, 2007). عوارض جانبی مرتبط با مصرف متوالی حشره‌کش‌ها در محیط زیست و موجودات غیر هدف، استفاده از استراتژی کنترل جایگزین و سازگار با محیط زیست را به‌صورت فوری ترویج می‌کند (Kapantaidaki *et al.*, 2018; Patra & Kumar Hath, 2022; Mota-Sanchez & Wise, 2023). لذا به‌منظور تعویق در رشد و توسعه مقاومت سفیدبالک گلخانه در برابر حشره‌کش‌های مصرفی، یافتن جایگزین‌هایی که رویکرد موثر و سازگار با محیط زیست داشته

حشره‌کش‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها

تیوسیکلام هیدروژن اکسلات SP50% (پودر قابل حل در آب با نام تجاری اویسکت (Evisect SP 50%) ساخت کشور چین، شرکت آریستا لایف ساینس با دوز توصیه‌شده ۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار، دارای اثر تماسی، گوارشی و منشأ آن یک نوع کرم دریایی (*Lumbrinereis heteropoda*) است. اسپیرومسیفن® (Oberon) (SC) ساخت کشور آلمان از گروه تترونیک اسیدها می‌باشد که فرمولاسیون ۴۸۰ سوسپانسیون آن، مورد استفاده گرفت (Nourbakhsh, 2019).

زیست‌سنجی

غلظت توصیه‌شده روی برچسب حشره‌کش‌ها، برای حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسلات (۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار) و برای اسپیرومسیفن (۰/۴ لیتر در هکتار) است (Nourbakhsh, 2019). آزمایش‌های مقدماتی برای تخمین و به دست آوردن غلظت‌های لازم در چهار تکرار انجام شد. برای تعیین غلظت‌ها در آزمون اصلی، با استفاده از فواصل لگاریتمی غلظت‌های بین دو غلظت بالا و پایین، محاسبه و در آزمایش اصلی زیست‌سنجی برای تعیین LC₂₅ و LC₅₀ استفاده شد (Piri Ouchtape et al., 2024). سپس، با تجزیه پروبیت (Finney, 1971) داده‌های مربوط به LC₂₅ و LC₅₀ برای هر تیمار با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. بنابراین از پنج غلظت و شاهد برای حشره‌کش‌های مورد مطالعه در آزمون اصلی استفاده گردید. غلظت‌های استفاده‌شده در آزمون اصلی برای تیوسیکلام هیدروژن اکسلات ۸۵۰ پی‌پی‌ام و برای اسپیرومسیفن ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام بود. فرو بردن برگ‌های لوبیا حاوی پوره سن سوم در غلظت‌های مورد نظر روش زیست‌سنجی برای انجام آزمایش‌ها بود (Kapantaidaki et al., 2018). بدین منظور، برگ‌های آلوده به پوره سن سوم انتخاب شده و در هر برگ آلوده، ۱۵ عدد پوره شمارش و حفظ شده و بقیه پوره‌ها یا سایر مراحل زیستی از روی برگ حذف شدند. سپس برگ حاوی پوره، داخل غلظت‌های مورد نظر به مدت ۲۰ ثانیه فرو برده شده و پس از ۰/۵ ساعت (جهت خشک شدن قطرات حشره‌کش)، به درون تشتک‌های پتری هشت سانتی‌متری منتقل شدند. با پیچیدن پنبه مرطوب به دور دم‌برگ، رطوبت برگ در طول آزمایش تأمین گردید. سپس تشتک‌های پتری به اتاقک رشد با دمای ۲۵±۱ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰±۵ درصد، دوره نوری ۱۶ : ۸ (تاریکی : روشنایی) منتقل شدند. در این آزمایش، پوره‌هایی که خشک شده و یا تغییر رنگ داده بودند، مرده تلقی شد (Nikakhtar et al., 2022). میزان تلفات افراد تیمار شده پس از طی ۲۴ ساعت ثبت شد (Mahmoodi et al., 2020; Safavi & Bakhshaei, 2017). غلظت زیرکشنده LC₂₅ حشره‌کش‌ها، ۲۴ ساعت پس از تیمار محاسبه و مورد استفاده قرار گرفتند. برای شاهد، برگ‌های لوبیا حاوی

های کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسلات و اسپیرومسیفن روی ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های جدول زندگی جمعیت سفیدبالک در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت تا ضمن بررسی کارایی این حشره‌کش‌ها در تلفات جمعیت سفیدبالک، ارزیابی دقیقی از تأثیر غلظت زیرکشنده آنها روی زنده‌مانی و تولیدمثل و سایر خصوصیات زیستی آن صورت گیرد. نتایج ما ممکن است کارایی کنترل *T. vaporarium* را در گلخانه‌ها با استفاده از غلظت کاهش یافته این حشره‌کش‌ها بهبود ببخشد. همچنین ممکن است در مقاومت میزبان در برابر حشره‌کش‌ها و کاهش باقیمانده در محصولات گلخانه‌ای نقش داشته و کاربرد بهتر و دقیق‌تری از این حشره‌کش‌ها را در برنامه‌های مدیریت تلفیقی سفیدبالک ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

کشت گیاه میزبان، پرورش سفیدبالک گلخانه

پرورش گیاه میزبان و سفیدبالک گلخانه، براساس روش عبدالله زاده بوانی و همکاران (Abdollahzadeh-Bovani et al., 2024) صورت گرفت. آزمایش‌ها روی گیاه لوبیا، رقم مینا (MINA)، انجام گرفت، به‌طوری‌که بذرهای قبل از کاشت، در آب خیسانده و ضدعفونی شدند. کاشت لوبیا در گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد ۱۹×۱۵ سانتی‌متر حاوی خاک شن و پیت‌ماس (خاک سبک) بوده و تعداد ۶-۴ عدد بذر در هر گلدان استفاده گردید. نشاهای قوی حفظ شده و نشاهای ضعیف تنک شدند. پرورش گیاهان در گلخانه گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه با شرایط نوری ۱۶ : ۸ ساعت روشنایی : تاریکی، دمای ۲۷±۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵±۵ درصد انجام گرفت. گلدان‌ها به‌صورت یک روز در میان آبیاری شدند. عملیات داشت به‌طور یکسان برای تمام گلدان‌ها اعمال شد. کلنی اولیه و مورد نیاز برای پرورش سفیدبالک گلخانه جهت انجام آزمایش‌ها، از روی گیاهان زینتی (شاه‌پسند و ختمی) موجود در گلخانه‌های دانشکده کشاورزی، با استفاده از اسپیراتور مکنده جمع‌آوری و برای تأیید گونه به مؤسسه گیاهپزشکی ارسال گردید، سپس به داخل قفس‌های چوبی (به ابعاد ۹۰×۶۰×۵۰ سانتی-متر) حاوی گلدان‌های لوبیا رهاسازی شدند. جهت هم‌سن‌سازی کلنی، حشرات کامل سفیدبالک رهاسازی‌شده به داخل قفس، بعد از گذشت ۲۴ ساعت، حشرات کامل از داخل قفس حذف شدند. بعد از گذشت تقریبی ۲۲ روز (Reshadat-Salvanagh, 2024) جمعیت زیادی از سفیدبالک روی گیاه ایجاد و کلنی با جمعیت کافی برای انجام آزمایش‌ها فراهم شد. کلنی حشرات قبل از استفاده در آزمایش‌ها، حداقل به مدت دو تا سه نسل روی گیاه میزبان پرورش داده شدند.

پوره داخل آب مقطر غوطه‌ور شدند. در آزمایش مذکور، برای هر تیمار چهار تکرار در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه داده‌ها برای تخمین مقادیر مختلف LC با استفاده از روش پروبیت نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت (SPSS 2019). فراسنجه‌های جدول زندگی سفیدبالک با استفاده از تئوری جدول زندگی دوجنسی ویژه سن - مرحله رشدی و با استفاده از نرم‌افزار TWO-SEX MSChart مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (Chi, 1985; Chi & Liu, 1988; 2020 a; میانگین، واریانس و خطای معیار فراسنجه‌های زیستی با استفاده از تکنیک بوت‌استرپ و با ۱۰۰۰۰۰ نمونه‌برداری محاسبه گردید. به‌منظور مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده از تکنیک بوت‌استرپ جفت‌شده (Paired bootstrap) و نرم‌افزار TWO-SEX MSChart استفاده شد. پیش‌بینی روند رشد جمعیت سفیدبالک در تیمارهای مختلف مورد مطالعه در دوره زمانی ۶۰ روزه با استفاده از نرم‌افزار TIMING-MSChart انجام شد (Chi, 2021b). رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Sigmaplot (Ver. 14.0) انجام شد.

نتایج:

مقادیر غلظت‌های کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن، ۲۴ ساعت بعد از تیمار پوره سن سوم سفیدبالک برآورد شد (جدول ۱). مطابق با نتایج، مقدار LC₅₀ برای تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن به‌ترتیب ۳۹۲/۶۲۷ و ۸۵۴/۸۷۱ پی‌پی‌ام (۱۹۶/۳۱۳ میلی گرم ماده مؤثره بر لیتر و ۲۰۵/۱۶۹ میکرولیتر ماده مؤثره بر لیتر) به دست آمد. این نتایج بیانگر سمیت بیشتر تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات نسبت به اسپیرومسیفن روی پوره سفیدبالک گلخانه بود.

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی سفیدبالک

جهت مطالعه اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر فراسنجه‌های زیستی و تولیدمثلی سفیدبالک، به‌ترتیب از غلظت LC₂₅ (۱۱۷/۵۲ و ۷۳۱/۵۴۸) به‌دست‌آمده در آزمایش زیست‌سنجی استفاده شد. برای این منظور، ابتدا تعداد ۵۰ عدد پوره سن سوم روی برگ مستقر شده و به داخل غلظت زیرکشنده به مدت ۲۰ ثانیه فروبرده شدند، با ظهور حشرات کامل و رهاسازی آن‌ها روی بوته‌های لوبیا و تخم‌ریزی روی بوته، ۵۰ عدد تخم هم‌سن، به‌عنوان جمعیت اولیه انتخاب و در مطالعات جدول زندگی سفیدبالک مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از تفریخ تخم‌ها و ظهور پوره‌های سن اول، به حالت انفرادی به درون ظروف پلاستیکی (ارتفاع چهار و قطر دو سانتی‌متر) حاوی برگ لوبیا عاری از حشره - کش، منتقل شدند. با پیچیدن پنبه مرطوب، به دور دمبرگ رطوبت برگ تأمین شده و از توری جهت تهویه استفاده شد. پس از ظهور حشرات کامل نسل اول و تفکیک جنسیتی آن‌ها (Shahbazvar et al., 2011; Gerling, 1990)، به‌صورت جفت داخل ظروف پلاستیکی (ارتفاع چهار و قطر دو سانتی‌متر) حاوی برگ لوبیا رهاسازی شدند. بدین ترتیب میزان بقا، مرگ‌ومیر روزانه مراحل نابالغ و طول عمر حشرات کامل، طول دوره‌های قبل، بعد تخم‌ریزی و باروری روزانه تا زمان مرگ همه آن‌ها به‌صورت روزانه ثبت شد. در طول مطالعات جدول زندگی، برگ‌های تازه و عاری از حشره‌کش، هر ۳-۴ روز یک‌بار جایگزین برگ‌های قدیمی شدند.

جدول ۱- اثرکشندگی (LC₅₀) تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بعد از ۲۴ ساعت روی پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه
Table 1- Lethal effect (LC₅₀) of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen after 24 hours on the third instar nymph of *Trialesterodes vaporariorum*

Insecticides	LC ₂₅ (ppm)	LC ₅₀ (ppm)	Slope $\pm$ SE Slope	χ^2 (df)	No.
Thiocyclam hydrogen oxalate	117.520 (58.76 mg ai.L ⁻¹) (47.27-174.79)	392.627 (196.313 mg ai.L ⁻¹) (299.41-535.51)	1.28 $\pm$ 0.282	1.375 (3)	300
Spiromsifen	731.548 (175.57 μ l ai.L ⁻¹) (695.88-760.96)	854.871 (205.169 μ l ai.L ⁻¹) (823.40-893.23)	9.96 $\pm$ 1.15	1.476 (3)	300

سفیدبالک گلخانه در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که از مقایسه میانگین فراسنجه‌ها مشاهده می‌شود، حشره‌کش تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات، طول دوره تخم و پورگی را نسبت به حشره‌کش اسپیرومسیفن و شاهد افزایش داد. همچنین، بیشترین افزایش طول

اثر حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر طول دوره زیستی سفیدبالک گلخانه تجزیه آماری داده‌های مربوط به بررسی اثر دو حشره‌کش تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی طول دوره زیستی

اکسالات و اسپیرومسیفن تیمار شده بودند، نیز تحت تأثیر قرار گرفتند. به‌طوری‌که حشره‌کش اسپیرومسیفن باعث بیشترین مرگ‌ومیر افراد نابالغ نسبت به تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات و شاهد شدند (جدول ۲).

دوره شفیرگی نیز مربوط به حشره‌کش تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات با $4/57 \pm 0/22$ روز می‌باشد. بیشترین و کمترین طول دوره مراحل نابالغ به‌ترتیب مربوط به حشره‌کش‌های تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات، شاهد و اسپیرومسیفن بود (جدول ۲). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که نرخ زنده‌مانی مراحل نابالغ این آفت مربوط به نسل اول که والدین آن‌ها با غلظت LC_{25} تیوسی‌کل‌ام هیدروژن

جدول ۲- تأثیر غلظت زیرکشنده (LC_{25}) دو حشره‌کش تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر طول دوره مراحل نابالغ و نرخ زنده‌مانی سفیدبالک گلخانه

Table 2- The sublethal concentration (LC_{25}) effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen insecticides on developmental time and survival rate of greenhouse whitefly

Developmental stage	Control	Thiocyclam hydrogen oxalate	Spiromsifen
Egg (days)	$5.07 \pm 0.1^{b*}$	6.67 ± 0.15^a	4.36 ± 0.1^c
First instar nymph (days)	5.11 ± 0.1^b	7.39 ± 0.2^a	4.21 ± 0.1^c
Second instar nymph (days)	4.97 ± 0.12^a	4.92 ± 0.16^a	3.56 ± 0.12^b
Third instar nymph (days)	4.79 ± 0.14^a	4.41 ± 0.17^a	3.65 ± 0.09^b
Pupa (days)	3.65 ± 0.13^b	4.57 ± 0.22^a	3.97 ± 0.11^b
Pre-adult period (days)	23.52 ± 0.26^b	27.64 ± 0.44^a	19.63 ± 0.17^c
Pre-adult survival rate (%)	0.78 ± 0.04^a	0.77 ± 0.05^a	0.71 ± 0.04^a

* حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح پنج درصد براساس روش بوت استرپ جفت‌شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

* The means followed by different letters in each row are significantly different (paired-bootstrap at 5% significance level by 100000 bootstrap resampling).

لحاظ تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($P < 0/05$). نتایج مربوط به میزان باروری حشرات کامل F1 بیانگر تأثیر غلظت زیرکشنده بود، به‌طوری‌که ماده‌های حاصل از نسل اول تیمار شده با غلظت زیرکشنده اسپیرومسیفن ($2/25 \pm 0/3$)، تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات ($1/70 \pm 0/33$) و شاهد ($11/85 \pm 0/95$) تخم در طول عمر خود داشتند (جدول ۳).

فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن

نتایج مقایسه میانگین فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. در این تحقیق، کمترین بیشترین نرخ خالص تولیدمثلی (R_0) مربوط به تیمار تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات ($0/29$) و شاهد ($4/21$) منف/ به‌ازای هر ماده بود، که حاکی از تأثیر منفی بیشتر این تیمار نسبت به شاهد می‌باشد، اگرچه اختلاف معنی‌داری بین تیمار حشره‌کش‌ها از نظر نرخ خالص تولیدمثلی وجود نداشت. نرخ ناخالص تولیدمثلی نیز (GRR) کمترین بیشترین میزان را به‌ترتیب در تیمارهای تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات ($0/54$) و شاهد ($8/62$) نتاج/ به‌ازای هر ماده داشت و بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. مقدار فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) که یکی از مهم‌ترین فراسنجه‌های رشد جمعیتی

طول دوره مراحل تخم‌گذاری و باروری سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت زیرکشدگی حشره‌کش‌های تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن

نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر حشرات کامل مربوط به نسل اول که والدین آن‌ها با غلظت LC_{25} اسپیرومسیفن و تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات تیمار شده بودند نیز تحت تأثیر قرار گرفتند. کل دوره زندگی ماده‌ها در هر سه شاهد، اسپیرومسیفن و تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات دارای طول عمر بیشتری نسبت به نرها بودند (جدول ۳). به‌طوری‌که نتایج به‌دست‌آمده طبق جدول ۳، حشره-کش تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات نسبت به حشره‌کش اسپیرومسیفن و شاهد باعث کاهش طول عمر حشرات کامل نر شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به بررسی طول دوره پیش از تخم‌گذاری، کل دوره پیش از تخم‌گذاری، تخم‌گذاری و طول دوره تخم‌گذاری سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره-کش‌های مورد آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، حشره‌کش‌های اسپیرومسیفن و تیوسی‌کل‌ام هیدروژن اکسالات باعث افزایش طول دوره‌های پیش از تخم‌گذاری ($APRP$)^۱ شد. همچنین هر دو حشره‌کش باعث کاهش دوره تخم‌ریزی نسبت به شاهد شدند و بین تیمارها و شاهد از این

1- Adult pre reproductive period

قبل می‌باشد، این مقدار نشان می‌دهد که جمعیت هر روز نسبت به روز قبل به چند نستی افزایش خواهد یافت. متوسط زمان یک نسل (T)، مدت زمانی است که جمعیت به اندازه نرخ خالص تولیدمثل افزایش می‌یابد. در فراسنجه مدت زمان یک نسل (T) بیشترین مقدار این فراسنجه در تیمار تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات (۲۹/۰۷ روز) ثبت گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده، حشره‌کش تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات باعث افزایش معنی‌داری در مقدار این فراسنجه نسبت به شاهد شد (چهار روز).

پایدار می‌باشد، تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش کاهش پیدا کرد. بیش‌ترین مقدار این فراسنجه در شاهد (۰/۵۲۵ بر روز) به دست آمد. براساس نتایج حاصل، مقدار فراسنجه نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) تحت‌تأثیر حشره‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد (۱/۰۵ بر روز) کاهش یافته، به‌طوری‌که در حشره‌کش اسپیرومسیفن (۰/۹۷ بر روز) و در حشره‌کش تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات (۰/۹۵ بر روز) مشاهده گردید. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) بیانگر نسبت افزایش جمعیت پایدار هر روز نسبت به روز

جدول ۳- تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر طول عمر حشرات کامل، باروری و طول دوره تخم‌ریزی سفیدبالک گلخانه

Table 3- The sublethal concentrations (LC₂₅) effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen insecticides on adult longevity, fecundity and reproductive days of greenhouse whitefly

Biological stage	Treatments		
	Control	Thiocyclam hydrogen oxalate	Spiromsifen
Male longevity (days)	5.67±0.19 ^{a*}	2.23±0.22 ^c	3.17±0.21 ^b
Total male longevity (days)	29.42±0.42 ^a	29.58±0.56 ^a	23.17±0.36 ^b
Female longevity (days)	6.3±0.25 ^a	3.44±0.17 ^b	3.89±0.21 ^b
Total female longevity (days)	29.52±0.46 ^b	31.5±0.65 ^a	23.34±0.3 ^c
Adult pre-reproductive period (days)	1.33±0.13 ^b	1.5±0.22 ^{ab}	1.79±0.16 ^a
Total pre-reproductive period (days)	24.56±0.43 ^b	28.3±0.75 ^a	21.46±0.29 ^c
Reproductive days (days)	4.44±0.26 ^a	1.4±0.22 ^b	1.38±0.12 ^b
Fecundity (eggs/female)	11.85±0.95 ^a	1.70±0.33 ^b	2.25±0.3 ^b

* حروف مختلف در هر ردیف، اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح پنج درصد براساس روش بوت استرپ جفت‌شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

* The means followed by different letters in each row are significantly different (paired-bootstrap at 5% significance level by 100,000 bootstrap resampling).

جدول ۴- تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه

Table 4- The sublethal concentration (LC₂₅) effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen insecticides on population growth parameters of greenhouse whitefly

Parameter	Treatment (mean ± standard error)		
	Control	Thiocyclam hydrogen oxalate	Spiromsifen
Net reproductive rate (R_0) (offspring.individual ⁻¹)	4.21±0.73 ^{a*}	0.29±0.10 ^b	0.54±0.11 ^b
Gross Reproductive Rate (GRR) (offspring.individual ⁻¹)	8.62±1.72 ^a	0.54±0.17 ^b	1.25±0.33 ^b
Intrinsic rate of population growth (r) (day ⁻¹)	0.0525±0.006 ^a	0.0176±0.0004 ^b	0.0271±0.0002 ^b
Finite rate of increase (λ) (day ⁻¹)	1.05±0.006 ^a	0.95±0.01 ^b	0.97±0.009 ^b
Mean generation time (T) (day)	27.37±0.04 ^b	29.07±0.61 ^a	22.73±0.33 ^c

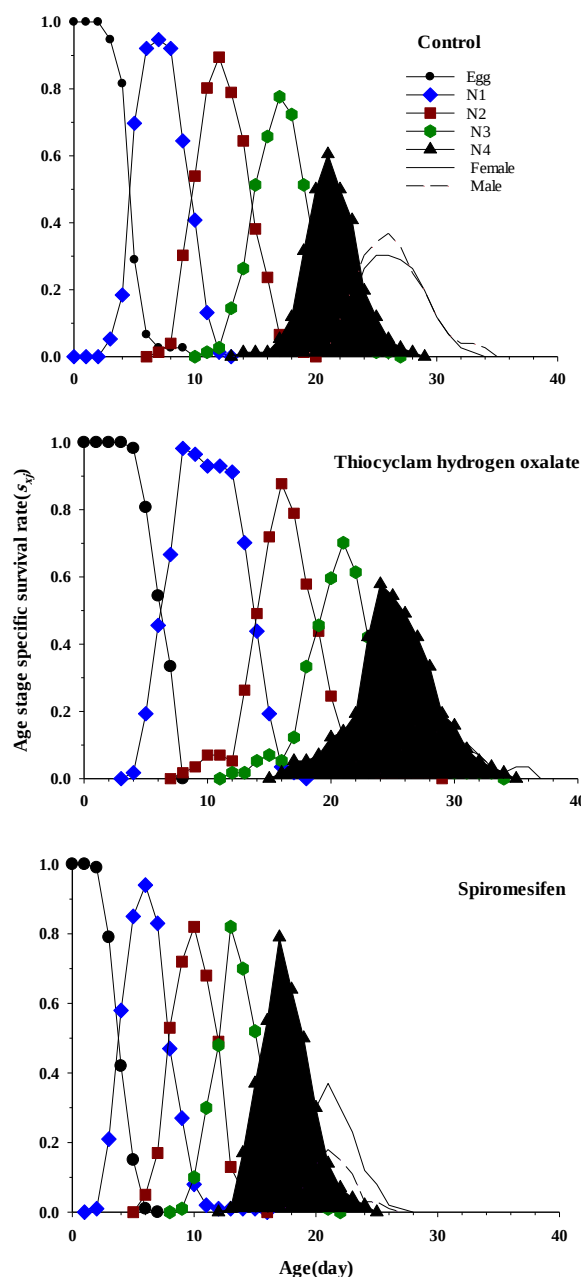
* حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح پنج درصد براساس روش بوت استرپ جفت‌شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

* The means followed by different letters in each row are significantly different (paired-bootstrap at 5% significance level by 100,000 bootstrap resampling).

زیستی می‌باشد که در روش‌های سنتی تجزیه داده‌های جدول زندگی وجود ندارد.

نتایج حاکی از آن است که نرخ بقاء ویژه سنی سفیدبالک گلخانه در زمان ورود به مرحله حشره کامل ماده، با شاهد (۷۸ درصد) و تیمارهای تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات (۷۷ درصد) و اسپیرومسیفن (۷۱ درصد) بود، به‌طوری‌که کاهش میزان نرخ بقاء مرحله ماده بالغ در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد مشاهده گردید (شکل ۱).

منحنی‌های مربوط به نرخ زنده‌مانی ویژه سن - مرحله زیستی سفیدبالک گلخانه (S_{xj}) تحت‌تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در شکل ۱ ارائه شده است. این فراسنجه علاوه‌بر توصیف نرخ زنده‌مانی، روند تغییرات نرخ رشد و نمو در میان افراد مختلف را نیز نشان داده و ما را قادر می‌سازد تا بتوانیم مراحل مختلف زیستی را در صورت رشد و نمو انطباق دهیم. در حقیقت تفکیک نرخ زنده‌مانی به مراحل مختلف زیستی از جمله ویژگی‌های استفاده از آنالیز جدول زندگی دوجنسی ویژه سن - مرحله

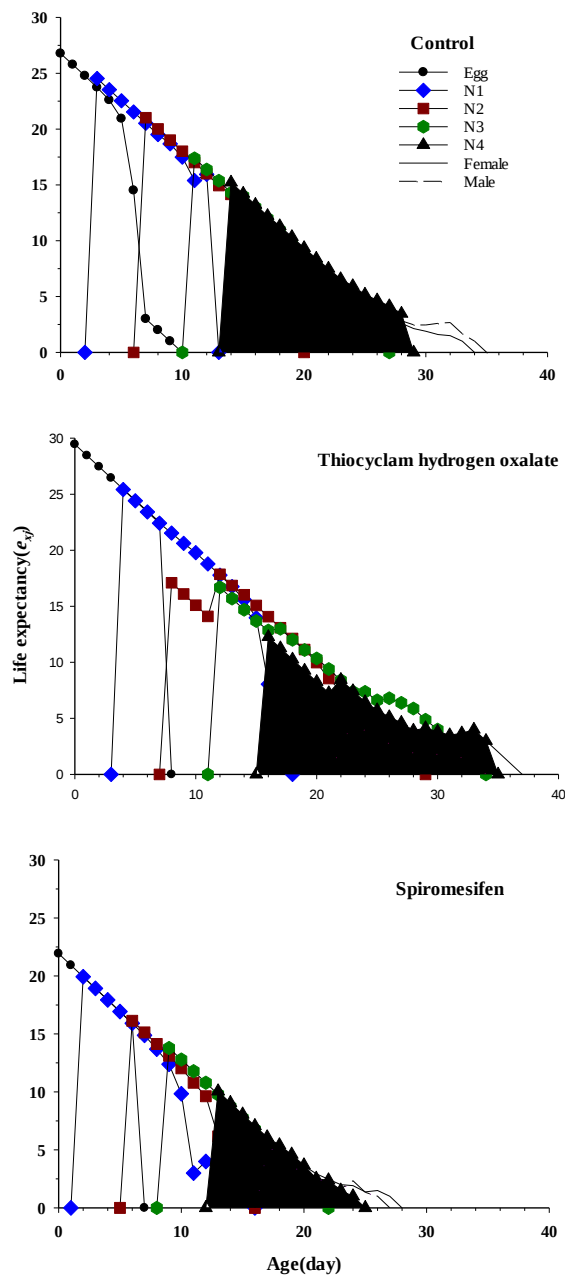


شکل ۱- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکل‌های هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر نرخ بقاء ویژه سن-مرحله‌ای (s_{xj}) سفیدبالک گلخانه

Trialeurodes vaporariorum
Figure 1- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکل‌های هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روند نزولی داشته و به ترتیب به ۵/۹۰ و ۶/۶۹ روز کاهش یافت.

امید به زندگی ویژه سن-مرحله‌ای (e_{xj}) طول عمر پیش‌بینی‌شده سفیدبالک در معرض غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکل‌های هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن را نشان می‌دهد (شکل ۲). در شاهد، اولین فرد ماده ۱۰/۹۷ روز امید به زندگی داشت، درحالی‌که در

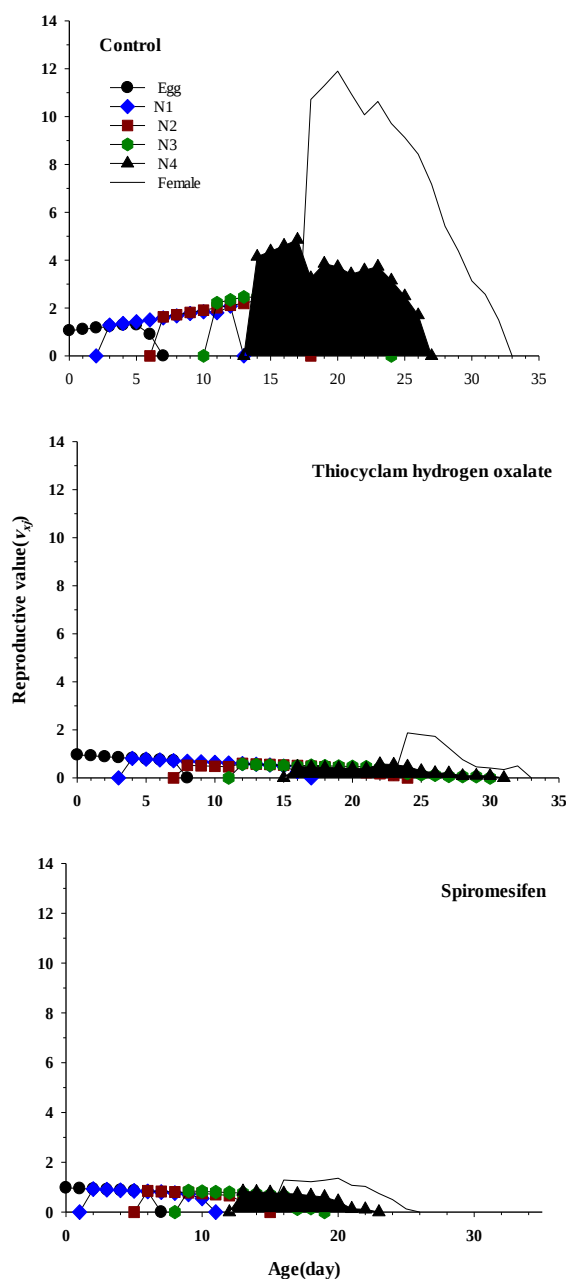


شکل ۲- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر امید به زندگی سن-مرحله‌ای (e_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 2- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on life expectancy(e_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

کاسته شده و با رسیدن به مرحله پس از پوره‌زایی، این مقدار به صفر رسید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ارزش تولیدمثلی در ماده‌ها در شاهد ۱۱/۹۰ تخم و در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن نسبت به شاهد کاهش یافته و به‌ترتیب به مقادیر ۱/۸۷ و ۱/۳۵ تخم رسید که کاهش چشم‌گیری را نشان داد.

شاخص ارزش تولیدمثل ویژه سن-مرحله رشدی (v_{xj}) میزان سهم هر فرد در ایجاد نسل بعد می‌باشد (شکل ۳). ارزش تولیدمثلی در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش داشته و تحت تأثیر حشره‌کش قرار گرفت. ارزش تولیدمثلی مراحل نابالغ نیز در تیمار زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. با کاهش میزان باروری و زنده‌مانی، به‌تدریج از مقدار این فراسنجه نیز



شکل ۳- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحله‌ای (v_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

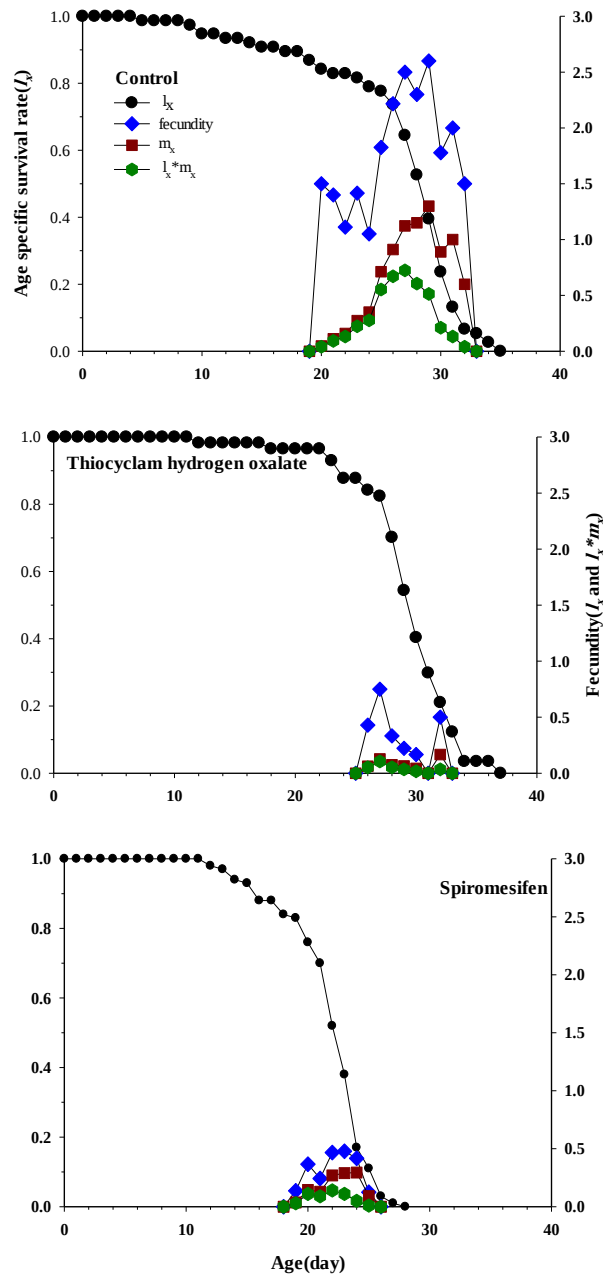
Figure 3- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on age-stage-specific reproductive value (v_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

تحت تأثیر حشره‌کش‌های تیوسیکلآم‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن قرار گرفتند، با تأخیر وارد مرحله تولیدمثلی شدند (به- ترتیب ۱/۵ و ۱/۷۹ روز عمر) و این در حالی است که حشرات کاملی که تحت تأثیر حشره‌کش قرار نگرفته بود، سریع‌تر از سایر تیمارها وارد

بررسی منحنی باروری ویژه سنی ($l_x m_x$) و باروری ویژه سن-مرحله رشدی (m_x) نشان داد که حشره‌کش‌ها باعث اثرات سوء روی حشرات بالغ سفیدبالک گلخانه شدند و شروع تخم‌ریزی را در آن‌ها نسبت به شاهد به تأخیر انداختند. حشرات کاملی که والدین آن‌ها

تیمار تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات (نتاج $l_x m_x = 0/1$) در روز عمر بوده است (شکل ۴).

این مرحله از زندگی (روز ۳۳/۱ عمر) شدند. نرخ باروری ویژه سن- مرحله رشدی در حشرات ماده (نمف $m_x = 1/3$) و باروری ویژه سنی حشرات بالغ (نتاج $l_x m_x = 72$) در شاهد نسبت به تیمار حشره‌کش‌ها بیشترین میزان را داشت. کمترین باروری ویژه سنی حشرات بالغ در



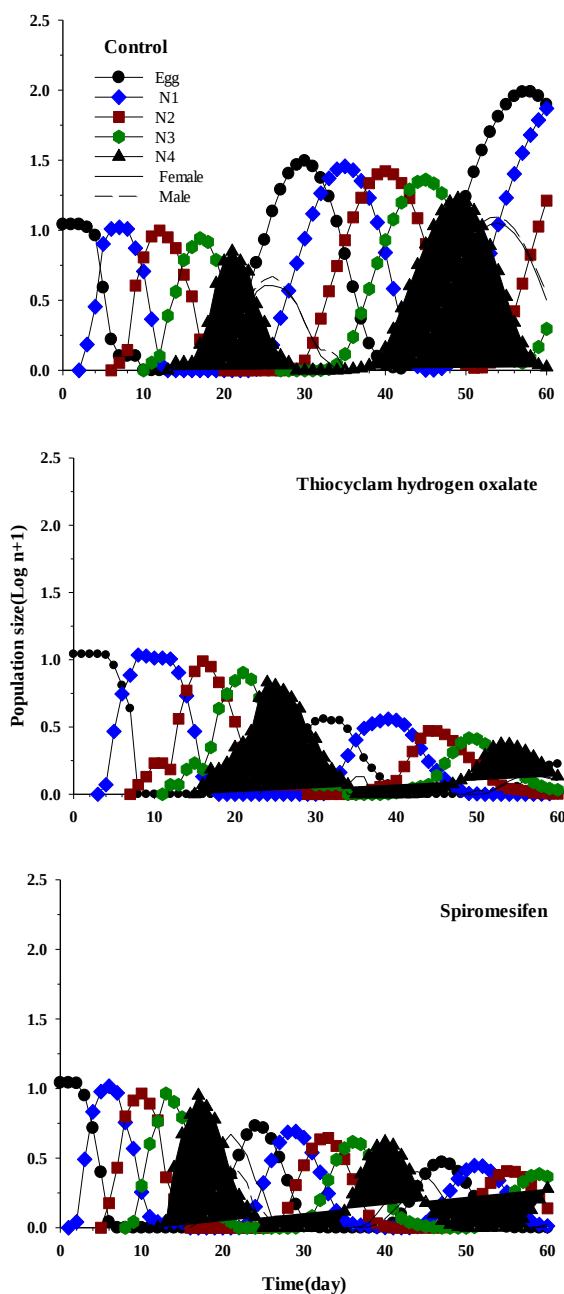
شکل ۴- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر زنده‌مانی ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سن-مرحله‌ای (m_x) و باروری خالص روزانه ($l_x m_x$) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 4- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on age-specific survival (l_x), age-stage specific fertility (m_x) and age-specific fertility ($l_x m_x$) of *Trialeurodes vaporariorum*

پیش‌بینی رشد جمعیت در هر تیمار با در نظر گرفتن یک بازه زمانی ۶۰ روزه صورت گرفت. کمترین سرعت رشد و نمو مراحل

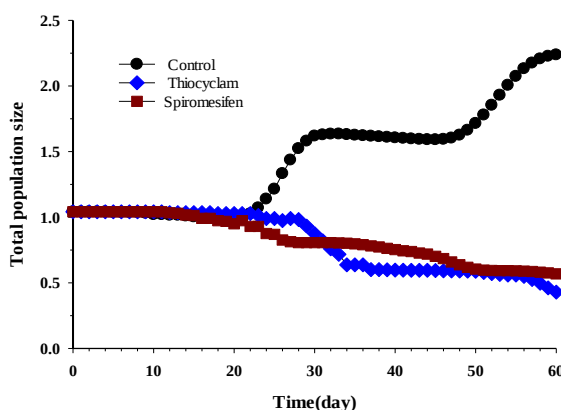
زیرکشنده می‌توان علاوه بر کاهش میزان آفت‌کش مصرفی، از سرعت رشد جمعیت آفات نیز کاست (شکل ۶).

مختلف رشدی حشره، در تیمار تیوسیکل‌های هیدروژن اکسالات به علت پایین بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت مشاهده شد. بالاترین سرعت رشد و نمو در شاهد ثبت شد (شکل ۵). این مسأله نشان می‌دهد که با کاهش غلظت توصیه‌شده یک حشره‌کش و استفاده از غلظت‌های



شکل ۵- پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار مرحله سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش‌های تیوسیکل‌های هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز

Figure 5- Projection of population growth potential and stage structure of *Trialeurodes vaporariorum* treated with LC_{25} of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen in comparison with control during 60 days



شکل ۶- رشد جمعیت کل *Trialeurodes vaporariorum* تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز

Figure 6- Population projection of *Trialeurodes vaporariorum* (total stage) treated with LC_{25} of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen in comparison to control treatment during 60 days

بحث

است (Ebneabbasi et al., 2023). میزان LC_{50} اسپیرومسیفن گزارش شده در این تحقیق (LC_{50} : 205.169 mg.L⁻¹), بیشتر از میزان آن روی پروتومف کنه تارتن دولکهای (LC_{50} : 133.4 mg.L⁻¹) (Rajaei et al., 2022) بود که نشان از حساسیت بیشتر پروتومف کنه تارتن در برابر اسپیرومسیفن نسبت به پوره سن سوم سفیدبالک می‌باشد. تفاوت در میزان LC_{50} به‌دست‌آمده و حساسیت مراحل مختلف حشرات را می‌توان به اندازه جثه، سن رشدی حشره و تفاوت در ساختار جلد حشرات، روش زیست‌سنجی مورد استفاده و گونه موجود مورد مطالعه ربط داد، به‌طوری‌که حشرات با جثه کوچک‌تر و سن پایین از حساسیت بیشتری نسبت به حشرات درشت جثه برخوردار هستند (Prince & Chandler, 2020).

علاوه بر ارزیابی کارایی حشره‌کش‌ها در کوتاه‌مدت، اثرات زیرکشنده‌گی آن‌ها در بلندمدت نیز در قالب مطالعات سم‌شناسی اکولوژیک با تکیه بر فراسنجه‌های جدول زندگی و رشد جمعیتی قابل مطالعه می‌باشد (Sedaratian et al., 2013). در واقع، برآورد فراسنجه‌های رشد جمعیت و تعیین نحوه تغییر جمعیت حشرات از طریق مطالعه اثر حشره‌کش‌ها بر توانایی تولیدمثلی، یک ضرورت قطعی در مطالعه اثر حشره‌کش‌ها و در نهایت، انتخاب حشره‌کش مناسب می‌باشد. لذا با توجه به اثر حشره‌کش‌ها بر فیزیولوژی و رفتار بندپایان هدف و غیرهدف، ضرورت انجام چنین بررسی‌هایی مشخص می‌شود (Amini Jam & Saber, 2018).

اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های گیاهی و شیمیایی روی *T. vaporariorum* توسط محققان متعددی بررسی شده است (Omer & Leigh, 1995; Simmonds et al., 2002; Heidari et al., 2005; Reshadat-Salvanagh et al., 2024; Sharifiyan

در بسیاری از مطالعات تنها اثرات کشندگی حشره‌کش‌ها روی آفات و دشمنان طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. درحالی‌که اثرات زیرکشنده‌گی در پیش‌بینی اثر حشره‌کش‌ها روی حشره قابل اعتمادتر از اثرات کشندگی است و مطالعه اثرات این غلظت‌ها به‌منظور استفاده منطقی از آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است (Stark & Rangus, 1994; Chen et al., 2016). چرا که اغلب حشره‌کش‌ها پس از کاربرد در مزرعه در معرض تجزیه شدن قرار می‌گیرند. بنابراین آفات هدف و غیرهدف در معرض غلظت‌های زیرکشنده این ترکیبات قرار می‌گیرند (Guedes et al., 2016; Desneux et al., 2005).

در تحقیق حاضر، به‌منظور دستیابی به نتایج جامع‌تر، هر دو اثرات کشندگی و زیرکشنده‌گی حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی پوره سفیدبالک مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان LC_{50} تیوسیکلام هیدروژن اکسالات روی سایر آفات گلخانه‌ای نظیر لارو سن سوم مگس مینوز برگ سبزی *Liriomyza sativae* Blanchard (Forouzan et al., 2023) و شب‌پره مینوز گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* Meyrick (Rezaei et al., 2016)، بالاتر از میزان آن روی پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه در این تحقیق بود. مقایسه این نتایج، بیانگر حساسیت بیشتر آن در برابر تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نسبت به آفات مذکور می‌باشد. همچنین تحقیق حاضر نشان داد که اثرات کشندگی تیوسیکلام هیدروژن اکسالات روی پوره سن سوم سفیدبالک، بیشتر از اسپیرومسیفن بود. مشابه با یافته‌های این تحقیق، اثرات کشندگی بیشتر حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات نسبت به اسپیرومسیفن توسط ابن عباسی و همکاران نیز گزارش شده

هیدروژن اکسالات است (Forouzan et al., 2023). اگرچه استفاده از غلظت زیرکشنده اسپیرومسیفن در این تحقیق باعث کاهش کل دوره پیش از تخم‌گذاری حشرات سفیدبالک گلخانه گردید که با یافته‌های بهشتی و همکاران مطابقت داشت (Beheshti et al., 2022).

استفاده بی‌رویه از حشره‌کش‌ها با تحریک سیستم تولیدمثلی و افزایش باروری منجر به طغیان آفات می‌گردد (Ebneabbasi et al., 2023). مطالعات صورت گرفته توسط دستنوکس و همکاران (Desneux et al., 2007) و هادی و همکاران (Haddi et al., 2016)، بیانگر تأثیر غلظت‌های زیرکشنده بر طغیان آفات می‌باشد، ولی در تحقیق حاضر، باروری تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده هر دو حشره‌کش در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد این کاهش در حشره‌کش تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات بیشتر از اسپیرومسیفن بود. طول دوره تخم‌گذاری حشرات کامل سفیدبالک گلخانه نیز تحت تأثیر غلظت زیرکشنده قرار گرفت، بیشترین مقدار این فراسنجه مربوط به شاهد (۴/۴۴ روز) و کمترین مقدار آن مربوط به اسپیرومسیفن (۱/۳۸ روز) بود و بین تیمارهای حشره‌کش نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مشابه با یافته‌های تحقیق حاضر، در بررسی صورت گرفته توسط نیک‌اختر و همکاران، میزان باروری و طول دوره تخم‌گذاری سفیدبالک تحت تأثیر غلظت‌های زیرکشنده سه فرمولاسیون آزادیراختین به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت، به‌طوری‌که باروری افراد ماده در شاهد از ۳۴/۹۴ (تخم به‌ازای هر ماده) به ۲۷/۵۷، ۱۵/۲۷ و ۸ (تخم به‌ازای هر ماده) به‌ترتیب در فرمولاسیون‌های کوف، نیم‌آزال و نیم‌بسیدن کاهش یافت (Nikakhtar et al., 2022). مشابه با یافته‌های تحقیق حاضر، میزان باروری *T. vaporariorum* در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های بیو۲، فلونیکامید (Reshadat-Salvanagh et al., 2024) و اسانس-های گیاهی نعنای، پونه و نانوفرمولاسیون‌های آن‌ها (Sharifiyan et al., 2024) کاهش یافت. به‌عبارت دیگر، می‌توان اذعان داشت که در اغلب موارد، غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها در بن‌پایان اثرات معنی‌داری را با کوتاه کردن طول دوره تخم‌گذاری، کاهش باروری و کاهش نرخ تفریح اعمال می‌کند (Tan et al., 2012; Lu et al., 2016; Wang et al., 2016; Xu et al., 2016).

بررسی‌های صورت گرفته در زمینه تأثیر غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی سفیدبالک گلخانه‌ای نشان می‌دهد که این حشره‌کش‌ها علاوه بر ویژگی‌های زیستی، فراسنجه‌های جدول زندگی سفیدبالک مانند نرخ خالص تولیدمثل، نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت و طول دوره یک نسل را به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار می‌دهند. محاسبه این فراسنجه‌ها می‌تواند به‌عنوان ابزار کمی یا شاخص اکولوژیک واکنش آفت را نسبت به حشره‌کش نشان دهد

(et al., 2024 a,b). تیمار حشرات با غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها باعث می‌شود که در شرایط مزرعه‌ای در طولانی‌مدت، اثرات نامطلوبی نظیر تأخیر در طول دوره رشدی و تولیدمثلی را نشان دهند (Piri Ouchtape et al., 2024). در این پژوهش، اثرات زیرکشندگی دو حشره‌کش تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن با استفاده از روش جدول زندگی دو جنسی مورد مطالعه قرار گرفت. در روش دو جنسی که به سنی-مرحله‌ای نیز معروف است علاوه بر حشرات ماده، نقش حشرات جنس نر و مراحل رشدی نابالغ نیز در روند تغییرات جمعیتی مورد توجه قرار می‌گیرد (Chi et al., 2020). در تحقیق حاضر، حشره‌کش تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات علاوه بر تأخیر در رشد و نمو مراحل نابالغ، منجر به کاهش طول عمر حشرات کامل ماده گردید. تأخیر در طول عمر نتاج سفیدبالک گلخانه یکی از اثرات تجمی غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها است که می‌تواند زمینه را برای در معرض قرارگیری آن‌ها در برابر دشمنان طبیعی فراهم کند و در تقویت تأثیر مهار بیولوژیک علیه آفات مفید باشد. تأخیر در رشد و نمو مراحل نابالغ و کاهش طول عمر حشرات کامل ماده در اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های بیو ۲ و فلونیکامید (Reshadat-Salvanagh et al., 2024) و فرمولاسیون‌های آزادیراختین بر سفیدبالک گلخانه نیز در تحقیق انجام یافته توسط نیک‌اختر و همکاران ثبت گردید (Nikakhtar et al., 2022). به‌طور مشابه، در یک مطالعه، طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ *Bemisia tabaci* تحت تأثیر غلظت LC_{10} و LC_{25} سیانترانیلی پرول افزایش یافت (Wang et al., 2017). اسپیرومسیفن مورد استفاده در این تحقیق، برخلاف تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات، باعث کاهش طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ در مقایسه با شاهد گردید. مشابه با یافته‌های این تحقیق، بهشتی و همکاران در نتیجه استفاده از غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های اپیل، ایمیداکلوپراید و آبامکتین کاهش طول دوره رشد و نمو سفیدبالک گلخانه مشاهده گردید (Beheshti et al., 2022). تفاوت مشاهده شده بر طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ سفیدبالک در این تحقیق را می‌توان به تفاوت در نحوه اثر دو حشره‌کش ناشی از تفاوت در نوع فرمولاسیون و ساختار شیمیایی آن‌ها نسبت داد (Mahmoodi et al., 2020). در پژوهش حاضر، کل دوره پیش از تخم‌گذاری TPOP همانند سایر مراحل رشدی، تحت تأثیر غلظت زیرکشنده تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات قرار گرفت، به‌طوری‌که منجر به تأخیر در کل دوره پیش از تخم‌گذاری گردید که هم‌سو با یافته‌های رشادت سلوانق و همکاران در نتیجه استفاده از غلظت زیرکشنده فلونیکامید بود (Reshadat-Salvanagh et al., 2024). در یافته‌های تحقیق فروزان و همکاران مقدار TPOP در لاروهای مگس مینوز تحت تأثیر غلظت زیرکشنده تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات نسبت به شاهد افزایش داشت که منطبق با نتایج تحقیق حاضر در نتیجه استفاده از تیوسیکلام

(Talebi Jahromi, 2012). در این تحقیق، حشره‌کش‌های تیوسی‌کلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن از طریق کاهش در طول عمر و بقاء حشرات کامل و کاهش در تخم‌ریزی (به دلیل کوتاه شدن طول عمر) باعث کاهش میزان فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، و در نتیجه باعث کندتر شدن سرعت افزایش جمعیت سفیدبالک شده‌اند (Heidari et al., 2005). نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه اختلاف معنی‌داری از نظر فراسنجه نرخ متناهی افزایش جمعیت بین حشره‌کش‌های تیوسی‌کلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن وجود نداشت، ولی حشره‌کش‌های مذکور، نرخ فراسنجه ذکر شده را در نتاج حاصله نسبت به شاهد ($1/0.5$ بر روز) به طور معنی‌داری کاهش دادند. به طور مشابه، صفوی و بخشایی نشان دادند که غلظت زیرکشنده حشره‌کش کالیپسو مقادیر نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت *T. vaporariorum* را کاهش داد، به طوری که نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت به ترتیب از $0/151$ و $1/165$ بر روز در شاهد به $0/137$ و $1/149$ بر روز در تیمار LC₃₀ کالیپسو رسید (Safavi & Bakhshaei, 2017). حساسیت بیشتر سفیدبالک در برابر تیوسی‌کلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در مقایسه با حشره‌کش کالیپسو می‌تواند ناشی از سازوکار اثر متفاوت، غلظت حشره‌کش‌ها و حساسیت حشره مورد آزمایش باشد. به علاوه نتایج تحقیق حیدری و همکاران نشان داد که حشره‌کش‌های پیری-پروکسی فن، بوپروفرین و فن‌پروپاترین، مقادیر نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت *T. vaporariorum* را کاهش دادند (Heidari et al., 2005). در بررسی انجام شده توسط شاه محمدی و همکاران، مقدار نرخ متناهی افزایش جمعیت در سفیدبالک گلخانه تیمار شده با غلظت LC₅₀ امولسیون شونده غلیظ روغن معدنی (EC) در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت که هم‌سو با پژوهش حاضر

است (Shahmohammadi et al., 2022).

متوسط مدت زمان یک نسل T در جمعیت سفیدبالک تحت تأثیر غلظت زیرکشنده تیوسی‌کلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن نسبت به شاهد روند متفاوتی را نشان داد. مقدار این فراسنجه در تیمارهای شاهد، تیوسی‌کلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن به ترتیب $27/37$ ، $29/07$ و $22/73$ روز بود. نتایج تحقیق نیک‌اکتر و همکاران هم‌سو با نتایج پژوهش حاضر در به کارگیری تیوسی‌کلام هیدروژن اکسالات بوده، به طوری که متوسط مدت زمان یک نسل در سفیدبالک گلخانه در نتیجه به کارگیری سه فرمولاسیون آزادیراختین در مقایسه با شاهد روند صعودی داشت، در حالی که حشره‌کش فنپروپاترین متوسط مدت زمان یک نسل سفیدبالک را از $26/2$ روز به $25/4$ روز کاهش داد (Heidari et al., 2005) که با نتایج تحقیق حاضر در مواجهه با اسپیرومسیفن هم‌پوشانی دارد (Nikakhtar et al., 2022).

نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از این تحقیق بیانگر این نکته مهم است که غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسی‌کلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن از پتانسیل بیشتری در کاهش رشد جمعیت *T. vaporariorum* برخوردار هستند. نکته قابل توجه اینکه کاربرد غلظت زیرکشنده علاوه بر اینکه سبب کاهش پتانسیل رشد جمعیت آفات می‌شود، احتمالاً امکان استفاده از این ترکیبات را در تلفیق با دشمنان طبیعی سفیدبالک گلخانه فراهم آورد، اگرچه بهتر است مطالعاتی در زمینه اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های مذکور روی دشمنان طبیعی سفیدبالک گلخانه مورد ارزیابی قرار گیرد.

References

1. Abdollahzadeh-Bovani, M., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2024). Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on life table and population growth parameters of *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 12(1), 111-131. <https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.376343.343>
2. Alegbejo, M.D., & Banwo, O.O. (2005). Hosts of *Bemisia tabaci* Genn. in Northern Nigeria. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 40(3-4), 417-422. <https://doi.org/10.1556/aphyt.40.2005.3-4.24>
3. Alibakhshi, Z., Seddigh, S., & Tafaghodinia, B. (2020). Chemical control optimization of *Trialeurodes vaporariorum* in gerbera commercial greenhouses. *Journal of Crop Protection*, 9(3), 421-437.
4. Amini Jam, N., & Saber, M. (2018). Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on the functional response of the aphid parasitoid, *Lysiphlebus fabarum*. *Entomologia Generalis*, 38(2), 173-190. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2018/0734>
5. Asadi, M., Rafiee-Dastjerdi, H., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., & Hassanpour, M. (2019). Lethal and sublethal effects of five insecticides on the demography of a parasitoid wasp. *International Journal of Pest Management*, 65(4), 301-312. <https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1502899>
6. Avery, P.B., Simmonds, M.S., & Nicklin, J. (2015). Comparative growth and efficacy of Trinidadian strains of *Isaria fumosorosea* blastospores for controlling *Trialeurodes vaporariorum* on bean plants. *Journal of Biopesticides*, 8(1), 01-12. <https://doi.org/10.57182/jbiopestic.8.1.1-12>
7. Basit, M., Saeed, S., Ahmad, M., & Sayyed, A.H. (2013). Can resistance in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) be overcome with mixtures of neonicotinoids and insect regulators? *Crop Protection*, 44, 135-

141. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.021>
8. Beheshti, A., Imani, S., Zahdi, H., Targari, S., & Abdi Gudarzi, M. (2022). Investigation of the sublethal effects of the insecticides Apel, Abacmetin and Amidachloropride on the life span of different life stages of greenhouse whiteflies (*Trialeurodes vaporariorum*) (Hem.: Aleyrodidae) in laboratory conditions. *Quarterly Entomological Research Specialty* (scientific-research), 14(1), 27-31. (in Persian).
9. Bi, J.L., Toscano, N.C., & Ballmer, G.R. (2002). Greenhouse and field evaluation of six novel insecticides against the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on strawberries. *Crop Protection*, 21, 49-55. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00063-1](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00063-1)
10. Bi, J.L., & Toscano, N.C. (2007). Current status of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, susceptibility to neonicotinoid and conventional insecticides on strawberries in southern California. *Pest Management Science*, 63(8), 747-752. <https://doi.org/10.1002/ps.1405>
11. Chen, X., Ma, K., Li, F., Lianq, P., Liu, Y., Guo, T., Song, D., Desneux, N., & Gao, X. (2016). Sublethal and transgenerational effects of sulfoxafor on the biological traits of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Ecotoxicology*, 25, 1841-1848. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1732-9>
12. Chi, H. (1988). Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17, 26-34. <https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26>
13. Chi, H. (2020). TWOSEX-MSChart: A computer program for age stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan; available from <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.rar>
14. Chi, H. (2021). TIMING-MSChart: A computer program for the population projection based on age-stage, two-sex life table. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. [online], Available: <http://140.120.197.173/Ecology>
15. Chi, H., & Liu, H. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 24, 225-240.
16. Colvin, J., Omongo, C.A., Govindappa, M.R., Stevenson, P.C., Maruthi, M.N., Gibson, G., & Muniyappa, V. (2006). Host-plant viral infection effects on arthropod-vector population growth, development and behaviour: Management and epidemiological implications. *Advances in Virus Research*, 67, 419-452. [https://doi.org/10.1016/S0065-3527\(06\)67011-5](https://doi.org/10.1016/S0065-3527(06)67011-5)
17. Cuthbertson, A.G.S., Buxton, J.H., Blackburn, L.F., Mathers, J.J., Robinson, K.A., Powell, M.E., Fleming, D.A., & Bell, H.A. (2012). Eradicating *Bemisia tabaci* Q biotype on poinsettia plants in the UK. *Crop Protection*, 42, 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.08.009>
18. Dai, C., Ricupero, M., Wang, Z., Desneux, N., Biondi, A., & Lu, Y. (2021). Transgenerational effects of A neonicotinoid and a novel sulfoximine insecticide on the harlequin ladybird. *Insects*, 12, 681. <https://doi.org/10.3390/insects12080681>
19. Desneux, N., Decourtye, A., & 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>
20. 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(1), 9-17. <https://doi.org/10.1093/jee/98.1.9>
21. Duhan, J.S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K., & Duhan, S. (2017). Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*, 15, 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002>
22. Ebneabbasi, S., Mehrkhoh, F., & Fourouzan, M. (2023). Lethal and sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and flubendimide on the population growth parameters and population projection of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 43(3), 219-231. <https://doi.org/10.61186/JESI.44.2.71>
23. Erdogan, C., SibelVelioglu, A., Gurkan, M.O., Denholm, I., & Moores, G.D. (2021). Detection of resistance to pyrethroid and neonicotinoid insecticide in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Crop Protection*, 146, 105661. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105661>
24. Finney, D. J. (1971). Probit Analysis. Third ed. Cambridge University Press, London
25. Forouzan, M., & Sheikhi Garjan, A. (2023). Effect of sub lethal concentrations of thiocyclam insecticide on biological parameters of *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) under laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, 42(4), 279-290. <https://doi.org/10.52547/jesi.42.4.3>
26. Gerling, D. (1990). Whiteflies: Their bionomics, pest status and management. Winborne, Uk, Intercept. 348 pp.
27. Guedes, R.N.C., Smagghe, G., Stark, J.D., & Desneux, N. (2016). Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annual Review of Entomology*, 61, 43-62. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023646>
28. Haddi, K., Mendes, M.V., Barcellos, M.S., Lino-Neto, J., Freitas, H.L., Guedes, R.N.C., & Oliveira, E.E. (2016). Sexual success after stress Imidacloprid-induced hormesis in males of the neotropical stink bug *Euschistus heros*. *PLoS One*, 11(6), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156616>

29. Heidari, A., Moharramipour, S., Poormirza, A.A., & Talebi, A.A. (2005). Effects of pyriproxifen, buprofezin and fenpropathrin on the growth population parameters in *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hom.: Aleyrodidae). *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36(2), 353-361.
30. Hosseini, A., Khanjani, M., Khoobdel, M., & Javadi, S. (2017). Comparison of the efficiency of the current oils and insecticide compounds in control of greenhouse whitefly, *Trialeurodes Vaporariorum* (Westwood), (Hem.: Aleyrodidae) on rose and their interaction. *Journal of Plant Protection*, 30(4), 718-726. <https://doi.org/10.22067/jpp.v30i4.53965>
31. Hudson, L. A., & Ciborowski, J. J. (1996). Teratogenic and genotoxic responses of larval *Chironomus salinarius* group (Diptera: Chironomidae) to contaminated sediment. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 15(8), 1375-1381. <https://doi.org/10.1002/etc.5620150817>
32. Kapantaidaki, D.E., Sadikoglou, E., Tsakireli, D., Kampanis, V., Stavrakaki, M., Schorn, C., Ilias, A., Riga, M., Tsiamis, G., Nauen, R., Skavids, G., Vontas, J., & Tsagkarakou, A. (2018). Insecticide resistance in *Trialeurodes vaporariorum* population and novel diagnostics for kdr mutation. *Pest Management Science*, 74(1), 59-69. <https://doi.org/10.1002/ps.4674>
33. Karatolos, N., Denholm, I., Williamson, M., Nauen, R., & Gorman, K. (2010). Incidence and characterisation of resistance to neonicotinoid insecticides and pymetrozine in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science*, 66, 1304-1307. <https://doi.org/10.1002/ps.2014>
34. Kumar, A., & Singh, R. (2014). Bioefficacy of some insecticides against the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato. *The Bioscan*, 9(3), 1073-1076.
35. Kumari, S., Chauhan, U., Kumari, A., & Nadda, G. (2017). Comparative toxicities of novel and conventional acaricides against different stages of *Tetranychus urticae* Koch (Acarina: Tetranychidae). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16, 191-196. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.06.003>
36. Lahiri, S., Smith, H.A., Gireesh, M., Kaur, G., & Montemayor, J.D. (2022). Arthropod pest management in strawberry. *Insects*, 13(5), 475. <https://doi.org/10.3390/insects13050475>
37. Lu, Y.H., Zheng, X.S., & Gao, X.W. (2016). Sublethal effects of imidacloprid on the fecundity, longevity, and enzyme activity of *Sitobion avenae* (Fabricius) and *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus). *Bulletin of Entomological Research*, 106, 551-559. <https://doi.org/10.1017/S0007485316000286>
38. 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. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa193>
39. Menke, S., & Gerhard, D. (2010). Detection of a related difference in efficacy of Azadirachtin treatments for the control of whiteflies on *Gerbera jamesonii* by testing for interactions in generalized linear models. *Pest Management Science*, 66(4), 358-364. <https://doi.org/10.1002/ps.1881>
40. Mota-Sanchez, D., & Wise, J.C. (2023). Arthropod pesticide resistance database. Retrieved from <https://www.pesticideresistance.org/>
41. Nasruddin, A., Jumardi, J., & Melina, M. (2021). Population dynamics of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) and its populations on different planting dates and host plant species. *Annals of Agricultural Sciences*, 66, 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.aas.2021.08.001>
42. Nikakhtar, S., Aramideh, S., Mirfakhraei, S., & Forouzan, M. (2022). The effect of sublethal concentration of three commercial formulations of neem including Kofa, NeemAzal and Nimbecidine on the life table parameters of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hem., Aleyrodidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 42(4), 313-323. <https://doi.org/10.52547/jesi.42.4.6>
43. Nourbakhsh, S. (2019). List of pests, diseases and weeds of the most important major agricultural products, pesticides and recommended methods for their control. The Ministry of Agriculture Jihad, 222 p. (in Persian).
44. Omer, A.D., & Leigh, T.F. (1995). Sublethal effects of acephate and biphentate on fecundity, longevity and egg viability in greenhouse whitefly (Hom., Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology*, 119, 119-125.
45. Patra, B., & Kumar, T. (2022). Insecticide resistance in whiteflies *Bemisia tabaci* (Gennadius): Current global status. In *Insecticides – Impact and Benefits of Its Use for Humanity*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101954>
46. Pavela, R. (2009). Larvicidal effects of some Euro-Asiatic plants against *Culex quinquefasciatus* Say larvae (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 105, 887-892. <https://doi.org/10.1007/s00436-009-1511-0>
47. Piri Ouchtape, M., Mehrkhou, F., & Foorouzan, M. (2024). Lethal and sub-lethal effects of Clothianidin and summer oil on the life table parameters and population trend of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Hem.: Aphididae). *Plant Pest Research*, 13(4), 17-34. <https://www.magiran.com/p2692727>
48. Prijović, M.R., Marčić, D., Drobnjaković, T.M., Međo, I.S., & Perić, P. (2013). Life history traits and population growth of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) on different tomato genotypes. *Pesticides and Phytomedicine/Pesticidi i fitomedicina*, 28(4), 239-245. <https://doi.org/10.2298/PIF1304239P>
49. Prince, G., & Chandler, D. (2020). Susceptibility of *Myzus persicae*, *Brevicoryne brassicae* and *Nasonovia ribisnigri* to fungal biopesticides in laboratory and field experiments. *Insects*, 11(1), 55.

- <https://doi.org/10.3390/insects11010055>
50. Rajaei, F., Ghane-Jahromi, M., Maroofpour, N., & Sedaratian-Jahromi, A. (2022). Sublethal effects of spiromesifen on life table traits of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Acarologia*, 62(3), 772-785. <https://doi.org/10.24349/ujas-5ks2>
 51. Rakhshani, M. (2005). Principle of Agricultural Toxicology (Pesticides). Farhang Jame Press Center of Tehran, Iran, p. 100-374. (In Persian).
 52. Reshadat-Salvanagh, N., Mehrkhou, F., & Fourouzan, M. (2024). Lethal and sublethal effects of Flonicamid and Bio2 on life span and population growth parameters of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, (Hemiptera: Aleyrodidae). *Phytoparasitica*, 52, 90. <https://doi.org/10.1007/s12600-024-01209-8>.
 53. Rezaei, Z., Ghane-Jahromi, M., Sedaratian, H., & Sahraeian, H. (2016). Investigation sub-lethal effects of thiocyclam hydrogen-oxalate on reproductive and population growth parameters of *Tuta absoluta* (Lep.: Gelechiidae). Proceedings of 22nd Iranian Plant Protection Congress College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Available: <https://sid.ir/paper/937985/en>)
 54. Safavi, S.A., & Bakhshaei, M. (2017). Biological parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) exposed to lethal and sublethal concentrations of Calypso ®. *Journal of Crop Protection*, 6(3), 341 - 351. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22519041.2017.6.3.9.9>
 55. Saidi, Z., & Ziaei, M. (2017). The toxicity of Sivanto ® and Ebron Speed ® insecticides to control sugarcane whitefly, *Nemaskellia andropogonis*, (Hem.: Aleyrodidae) in laboratory conditions. *Plant Pest Research*, 8(2), 53-65. (in Persian). <https://doi.org/10.22124/iprj.2018.2995>
 56. Salvanagh, N.R., Mehrkhou, F., & Fourouzan, M. (2024). Lethal and sublethal effects of Flonicamid and Bio2 on life span and population growth parameters of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, (Hemiptera: Aleyrodidae). *Phytoparasitica*, 52(5), 90.
 57. Sarbaz, S., Goldasteh, S., Zamani, A.A., Solymannejadiyan, E., & Vafaei Shoushtari, R. (2017). Side effects of spiromesifen and spiroidiclofen on life table parameters of the predatory mite, *Neoseiulus californicus* McGregor (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Cardiology*, 43, 380-386. <https://doi.org/10.1080/01647954.2017.1325396>
 58. Schmuttere, H. (2002). The Neem tree: Source of Unique Natural Products for Integrated Pest Management, Medicine, Industry and Other Purposes (Hardcover), 2nd Edition, Weunheim, Germany: VCH Verlagsgesellschaft, p. 120-138.
 59. Sedaratian, A., Fathipour, Y., Talaei-Hassanloui, R., & Jurat-Fuentes, J.L. (2013). Fitness costs of sublethal exposure to *Bacillus thuringiensis* in *Helicoverpa armigera*: A carryover study on offspring. *Journal of Applied Entomology*, 137, 540-549. <https://doi.org/10.1111/jen.12030>
 60. Shahbazvar, N., Sahragard, A., Hosseini, R., & Hajizadeh, J. (2011). A preliminarily study on adult characters of whiteflies (Hem.: Aleyrodidae). *Entomofauna, Zeitschrift Fur Entomologie*, 32(30), 413-420.
 61. Shahmohammadi Heidari, B., Allahyari, H., & Talebi-Jahromi, Kh. (2022). Effect of mayonnaise and emulsifiable concentrate formulations on population dynamic of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 53(1), 131-141. (in persian). <https://doi.org/10.22059/IJPPS.2022.339946.1007001>
 62. Sharifiyan, M., Mehrkhou, F., & Negahban, M. (2024). Lethal and sublethal effects of *Mentha piperita* L. and its nanoemulsion formulation on the biological and population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) under laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, 44(1), 25-41. <https://doi.org/10.61186/jesi.44.1.3>
 63. Sheikhgargan, A., Najafi, H., Abbasi Azimi, H., & Moradi, M. (2021). The chemical and organic pesticide guide of Iran. Rah Dan Press, Tehran, Iran, p. 525.
 64. Simmonds, M.S.J., Manlove, J.D., Blaney, W.M., & Khambay, B.P.S. (2002). Effects of selected botanical insecticides on the behaviour and mortality of the glasshouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* and the parasitoid *Encarsia formosa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 102, 39-47. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2002.00923.x>
 65. SPSS, Inc. (2019). IBM SPSS statistics for windows, version 26.0 (Vol. 440). IBM Corporation.
 66. Stark, J.D., & Rangus, T.M. (1994). Lethal and sublethal effects of the neem insecticide formulation, 'Margosan-O', on the pea aphid. *Pest Management Science*, 41, 155-160. <https://doi.org/10.1002/ps.2780410212>
 67. Subba, B., Pal, S., Mandal, T., & Ghosh, S.K. (2017). Population dynamics of whitefly (*Bemisia tabaci* Genn.) infesting tomato (*Lycopersicon esculentus* L.) and their sustainable management using biopesticides. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3), 879-883.
 68. Talebi Jahromi, Kh. (2012). Pesticide toxicology. University of Tehran Press, Iran. 508 pp.
 69. Tan, Y., Biondi, A., Desneux, N., & Gao, X.W. (2012). Assessment of physiological sublethal effects of imidacloprid on the mirid bug *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür). *Ecotoxicology*, 21, 1989-1997. <https://doi.org/10.1007/s10646-012-0933-0>
 70. Wang, R., Zhang, W., Che, W.N., Qu, C., Li, F.Q., Desneux, N., & Luo, C. (2017). Lethal and sublethal effects of

- cyantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *MEDcrop Protection*, 91, 108–113.
71. Wang, R., Zheng, H.X., Qu, C., Wang, Z.H., Kong, Z.Q., & Luo, C. (2016). Lethal and sublethal effects of a novel cis-nitromethylene neonicotinoid insecticide, cycloxaprid, on *Bemisia tabaci*. *Journal of Crop Protection*, 83, 15–19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.01.015>
72. Wintermantel, W.M., Hladky, L.L., Cortez, A.A., & Natwick, E.T. (2009). A new expanded host range of cucurbit yellow stunting disorder virus includes three agricultural crops. *Plant Disease*, 93(7), 685–690. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-7-0685>
73. Xu, L., Zhao, C.Q., Zhang, Y.N., Liu, Y., & Gu, Z.Y. (2016). Lethal and sublethal effects of sulfoxaflor on the small brown planthopper *Laodelphax striatellus*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 19, 683–689. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2016.06.013>
74. Zapata, N., Vargas, M., Latorre, E., Roudergue, X., & Ceballos, R. (2016). The essential oil of *Laurelia sempervirens* is toxic to *Trialeurodes vaporariorum* and *Encarsia formosa*. *Industrial Crops and Industrial Crops and Products*, 84, 418–422. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.030>
75. Zawrah, M.F.M., Masry, A.T.E., Noha, L., & Saleh, A.A.A. (2020). Efficiency of certain insecticides against whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.) infesting tomato plants and their associated predators. *Plant Archives*, 20(2), 2221–2228.