

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

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

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. mahaabdollahzadeh96@yahoo.com;

2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. f.mehrkhou@urmia.ac.ir.

3- Plant Protection Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center, Urmia, Iran. maryam_fourouzan@yahoo.com

DOI: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 phenyl substituted tetrone 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. vaporariorum*. The LC₅₀ value of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen insecticides for third instar nymphs of the whitefly were obtained 392.627 and 854.871 ppm, respectively after 24 hours. The obtained LC₂₅ concentrations (117.520 and 731.548 ppm), were used to estimate the sub-lethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen 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

1 treated nymphs were transferred into petri dishes until the adults were appear. After adult
2 emergence their eggs were used to life table studies. The age stage, two-sex life table method was
3 used to analyze the collected data. We used the bootstrap technique with 100,000 iterations to
4 estimate the variance and standard errors of the biological and population parameters and Sigma
5 Plot software used to draw graphs. The growth of the pest population in a period of 60 days was
6 done with Timing-MsChart software.

7 **Results**

8 The present study demonstrated that thiocyclam hydrogen oxalate insecticide showed more acute
9 toxicity on third instar nymphs of the greenhouse whitefly. Moreover, exposure of third instar
10 nymphs to sublethal concentrations (LC_{25}) negatively affected the development, survival, and
11 reproductive characteristics and demographic factors. According to our findings, sublethal
12 concentration of examined insecticides showed a significant increase in pre-adult duration of the
13 pest on thiocyclam hydrogen oxalate treatment compared to spiromesifen and control treatments.
14 The female adult's lifespan/longevity was affected due to the usage of sublethal concentration of
15 mentioned insecticides. The lowest duration of pre-reproductive period (APOP) in control
16 treatment was recorded as 1.33 days, while this parameter increased in treatments exposed to
17 insecticides. Fecundity was reduced significantly in sublethal concentration of the insecticides
18 compared to the control. The highest value of fecundity in control treatment was recorded 11.85
19 eggs per female and the lowest value in thiocyclam hydrogen oxalate was obtained 1.7 eggs per
20 female. The mean oviposition period of greenhouse whitefly decreased from 4.44 days in control
21 to 1.4 and 1.38 days in LC_{25} concentration of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen,
22 respectively. All biological table parameters (R_0 , r and λ) of *T. vaporariorum* treated with sublethal
23 concentration of the used insecticides were significantly affected compared to the control. The
24 sublethal concentration of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen reduced the net
25 reproductive rate (R_0) from 4.21 eggs per female in each generation in the control treatment to 0.29
26 and 0.54 egg in LC_{25} concentration of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen, respectively.
27 The intrinsic rate of increase (r) in sublethal concentration mention insecticides were recorded
28 0.0176 and -0.0271(day^{-1}) and in control (0.0525 day^{-1}). Other parameters, such as finite rate of
29 increase (λ) and gross reproductive rate (GRR), in spiromesifen and thiocyclam hydrogen oxalate
30 treatments were also significantly lower than the control treatment. The mean generation time (T)
31 of the greenhouse whitefly affected by the LC_{25} concentration of spiromesifen compared to the
32 control treatment.

33 **Conclusions**

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

36 **Keywords:** greenhouse whitefly, thiocyclam hydrogen oxalate, spiromesifen, two sex life table

۱ اثرات زیرکشدگی حشره‌کش‌های تیوسیکلام‌هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی جدول

۲ زندگی و پیش‌بینی روند جمعیتی سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera:

۳ Aleyrodidae)

۴ مه سا عبدالله زاده بوانی^۱، فریبا مهرخو^۲، مریم فروزان^۳

۵ تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

۸ ۱. دانشجوی دکترا، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: mahsaabdollahzadeh96@yahoo.com

۹ ۲. دانشیار، نویسنده مسئول، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: f.mehrkhoul@urmia.ac.ir

۱۰ ۳. دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. رایانامه:

۱۱ maryam_fourouzan@yahoo.com

۱۲ DOI:10.22067/jpp.2024.91255.1214

۱۳ چکیده

۱۴ سفیدبالک گلخانه، (*Trialeurodes vaporariorum*)، آفتی پلی‌فاژ با تعداد نسل زیاد است و از نظر اقتصادی آفت مهم
۱۵ گیاهان جالیزی و گلخانه‌ای می‌باشد. در این پژوهش، اثر غلظت‌های کشنده و زیرکشنده دو حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن
۱۶ اکسالات ($LC_{25}=58/76$ میلی گرم ماده موثره بر لیتر) و اسپیرومسیفن ($LC_{25}=175/57$ میلی گرم ماده موثره بر لیتر) بر
۱۷ فراسنجه‌های جدول زندگی و پیش‌بینی روند رشد جمعیت *T. vaporariorum* در شرایط آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار
۱۸ گرفت. روش مورد استفاده در زیست‌سنجی‌ها، غوطه‌ور کردن برگ‌های لوبیا حاوی پوره به مدت ۲۰ ثانیه در ترکیب حشره-
۱۹ کش‌های مذکور بود. مطالعات جدول زندگی با ۵۰ عدد تخم هم‌سن انجام یافت. تجزیه داده‌ها با استفاده از تئوری جدول
۲۰ زندگی دو جنسی ویژه سن-مرحله رشدی و با استفاده از برنامه TWOSEX-MSChart انجام شد. نتایج نشان داد که
۲۱ استفاده از غلظت زیرکشنده تیوسیکلام هیدروژن اکسالات منجر به طولانی شدن مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه گردید.
۲۲ همچنین، هر دو حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن باعث کاهش طول عمر حشرات کامل و میزان
۲۳ باروری *T. vaporariorum* نسبت به شاهد شد. استفاده از غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها منجر به کاهش فراسنجه‌های
۲۴ رشد جمعیت (r ، λ و R_0) سفیدبالک گلخانه گردید. میزان نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت و نرخ
۲۵ خالص تولیدمثل ترتیب در شاهد، تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن شامل ($0/0525 \pm 0/006$ بر روز،
۲۶ $0/0176 \pm 0/0004$ بر روز، $0/95 \pm 0/01$ بر روز و $0/29 \pm 0/10$ نتاج) و
۲۷ ($0/0271 \pm 0/0002$ 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
۲۸ جمعیتی سفیدبالک گلخانه با فراسنجه‌های رشد جمعیت مطابقت داشت. به عنوان مثال، با افزایش مدت زمان یک نسل
۲۹ حشره (T)، در نتایج که والدین آنها با غلظت زیرکشنده تیوسیکلام هیدروژن اکسالات تیمار شده بودند، سرعت رشد جمعیتی

کمتری داشتند. مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که هر دو حشره کش مورد استفاده می‌توانند به عنوان حشره کش های موثر در مدیریت سفیدبالک گلخانه مدنظر قرار گیرند.

کلمات کلیدی: اسپیرومسین، تیوسیکلام هیدروژن اکسالات، جدول زندگی دو جنسی، سفید بالک گلخانه

مقدمه

با توجه به شرایط دما و رطوبت حاکم بر گلخانه‌ها، آفات زیادی در این محیط فعالیت دارند، سفیدبالک گلخانه یکی از آفات مهم و پلی‌فاژ هست که سبب کاهش کمی و کیفی تولید محصولات گلخانه‌ای می‌شود (Lahiri et al., 2022). پوره‌ها و حشرات کامل این آفت بطور 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 and 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 ویروس پیچیدگی و زردی برگ گوجه فرنگی (TYLCV)، ویروس زردی دروغی چغندر قند (BPYV) و ویروس موزاییک طلایی 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 and 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 حشره کش‌ها 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 حشره کش‌های شیمیایی می‌باشد (Cuthbertson et al., 2012; Basit et al., 2013). بطوریکه 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 حشره کش‌ها مشکل می‌باشد (Bi and Toscano, 2007; Heidari et al., 2005). به‌ویژه اینکه در سالهای اخیر این آفت در اثر استفاده مداوم و غیر اصولی حشره کش‌های شیمیایی حالت طغیانی پیدا کرده و نژادهای مقاوم این آفت در اثر سم‌پاشی‌های غیر اصولی به‌وجود آمده است (Schmuttere H. 2002). گزارش‌هایی از بروز مقاومت به حشره کش‌های پیرتروئید، کاربامات و ارگانوفسفات از جمله دی‌متوات توسط این آفت صورت گرفته است (Menke and 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 حشره کش‌ها را افزایش می‌دهد (Bi and 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 بصورت فوری ترویج می‌کند (Kapantaidaki et al., 2018; Patra and Kumar, 2023; Hath, 2022; Mota-Sanchez and 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 باشد ضروری است (Avery et al., 2015). مطالعات متعددی پیرامون اثرات جانبی حشره‌کش‌های مختلف روی این حشره انجام شده است (Omer and Leigh, 1995; Simmonds et al., 2002; Heidari et al., 2005) اگرچه مواردی از اثرات جانبی حشره‌کش‌های بوپروفزین (Kumar and Singh, et al., 2014)، آزادیراختین (Nikakhtar et al., 2022)، کالیپسو (Safavi and 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 and 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 سفید بالک‌ها به ترکیبات دیگر مقاومت نشان داده‌اند استفاده شود (Rakhshani, 2005). حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات حشره‌کشی با منشا بیولوژیک است که دارای خاصیت حشره‌کشی تماسی-گوارشی و سیستمیک خفیف بوده و با مهارکردن 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 (Sheikhigarjan et al., 2021)، پروانه مینوز گوجه‌فرنگی، تربیس و سفیدبالک گلخانه دارد (Zawrah et al., 2020; Sheikhigarjan 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، تاثیر غلظت‌های کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات 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 تاثیر 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.

پرورش گیاه میزبان و سفیدبالک گلخانه، بر اساس روش [Abdollahzadeh-Bovani et al. \(2024\)](#) صورت گرفت. آزمایش‌ها روی گیاه لوبیا، رقم مینا (MINA)، انجام گرفت به‌طوری که بذرها قبل از کاشت، در آب خیسانده و ضدعفونی شدند. کاشت لوبیا در گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد 15×19 سانتی‌متر حاوی خاک شن و پیت‌ماس (خاک سبک) بوده و تعداد ۴-۶ 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 $16:8$ ساعت روشنایی: تاریکی، دمای 27 ± 2 درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد انجام گرفت. گلدان‌ها بصورت یک روز در میان آبیاری گردیدند. عملیات داشت به‌طور یکسان برای تمام گلدان‌ها اعمال شد. کلنی اولیه و مورد نیاز برای پرورش سفیدبالک گلخانه جهت انجام آزمایشات، از روی گیاهان زینتی (شاه‌پسند و ختمی) موجود در گلخانه‌های دانشکده کشاورزی، با استفاده از اسپراتور مکنده جمع‌آوری و برای تایید گونه به مؤسسه گیاهپزشکی ارسال گردید سپس به داخل قفس‌های چوبی (به ابعاد $90 \times 60 \times 50$ سانتی‌متر) حاوی گلدان‌های لوبیا رهاسازی شدند. جهت هم‌سن سازی کلنی، حشرات کامل سفیدبالک رهاسازی شده 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 به‌مدت دو تا سه نسل روی گیاه میزبان پرورش داده شدند.

حشره‌کش‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها:

تیوسیکلوم هیدروژن اکسلات SP50% (پودر قابل حل در آب با نام تجاری اویسکت (Evisect SP 50%) ساخت کشور چین، شرکت آریستا لایف ساینس با دوز توصیه شده 0.75 کیلوگرم در هکتار، دارای اثر تماسی، گوارشی و منشا آن یک نوع کرم دریایی (*Lumbrinereis heteropoda*) است. اسپیرومسیفن® (*Oberon*) (SC) ساخت کشور آلمان از گروه تترونیک اسیدها میباشند که فرمولاسیون ۴۸۰ سوسپانسیون آن، مورد استفاده گرفت ([Nourbakhsh, 2019](#)).

زیست‌سنجی

غلظت توصیه شده روی برچسب حشره‌کش‌ها، برای حشره‌کش‌های تیوسیکلوم هیدروژن اکسلات (0.75 کیلوگرم در هکتار) و برای اسپیرومسیفن (0.4 لیتر در هکتار) است ([Nourbakhsh, 2019](#)). آزمایش‌های مقدماتی برای تخمین و به‌دست 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 نرم افزار SPSS محاسبه شد. بنابراین از ۵ غلظت و شاهد برای حشره‌کش‌های مورد مطالعه در آزمون اصلی استفاده گردید. غلظت‌های استفاده شده در آزمون اصلی برای تیوسیکلوم 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 آزمایشات بود ([Kapantaidaki et al., 2015](#)). 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 نیم ساعت (جهت خشک شدن قطرات حشره‌کش)، به درون تشک‌های پتری هشت سانتی‌متری منتقل شدند. با پیچیدن پنبه مرطوب به دور دم‌برگ، رطوبت برگ در طول آزمایش تأمین گردید. سپس تشک‌های پتری به اتاقک رشد با دمای 25 ± 1 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد، دوره نوری ۸:۱۶ (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 and Bakhshaei, 2017). غلظت زیرکشنده LC₂₅ حشره‌کش‌ها، ۲۴ ساعت پس از تیمار محاسبه و مورد استفاده قرار گرفتند. برای تیمار شاهد، برگ‌های لوبیا حاوی پوره داخل آب مقطر غوطه‌ور شدند. در آزمایش مذکور برای هر تیمار ۴ تکرار در نظر گرفته شد.

اثرات زیرکشنده‌گی حشره‌کش‌های تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی سفیدبالک

جهت مطالعه اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر فراسنجه‌های زیستی و تولیدمثلی سفیدبالک، به ترتیب از غلظت LC₂₅ ($117/52$ و $731/548$) به دست آمده 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 بیست ثانیه فروبرده شدند با ظهور حشرات کامل ورهاسازی آنها روی بوته‌های لوبیا و تخم‌ریزی روی بوته، ۵۰ عدد تخم هم‌سن، به عنوان 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 ۴ و قطر ۲ سانتی‌متر) حاوی برگ لوبیا عاری از حشره‌کش، 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)، به صورت جفت داخل ظروف پلاستیکی (ارتفاع ۴ و قطر ۲ سانتی‌متر) حاوی برگ لوبیا رهاسازی شدند. بدین ترتیب میزان بقا، مرگ و میر روزانه مراحل نابالغ و طول عمر حشرات کامل، طول دوره‌های قبل، بعد تخم‌ریزی و باروری روزانه تا زمان مرگ همه آنها به صورت روزانه ثبت شد. در طول مطالعات جدول زندگی، برگ‌های تازه و عاری از حشره‌کش، هر ۳-۴ روز یک‌بار جایگزین برگ‌های قدیمی شدند.

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 ویژه‌ی سن - مرحله‌ی رشدی و با استفاده از نرم‌افزار TWO-SEX MSChart مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. (Chi, 2020a; Chi, 1988; Chi and Liu, 1985). میانگین، واریانس و خطای معیار فراسنجه‌های زیستی با استفاده از تکنیک بوت‌استرپ و با ۱۰۰۰۰۰ نمونه‌برداری محاسبه گردید. به منظور مقایسه‌ی داده‌های به دست آمده از تکنیک بوت‌استرپ جفت شده (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 تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن ۲۴ ساعت بعد از تیمار پوره سن سوم سفیدبالک برآورد شد (جدول ۱). مطابق با نتایج، مقدار LC_{50} برای تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن به ترتیب $392/627$ و $117/520$ پی‌پی‌ام ($196/313$ میلی گرم ماده مؤثره بر لیتر و $58/76$ میکرو لیتر ماده مؤثره بر لیتر) به دست آمد. این نتایج بیانگر سمیت بیشتر تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات نسبت به اسپیرومسیفن روی پوره سفیدبالک گلخانه بود.

جدول ۱- اثر کشندگی (LC_{50}) تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بعد از ۲۴ ساعت روی پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه

Table 1-Lethal effect (LC_{50}) of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen after 24 hours on the third instar nymph of *Trialerodes 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) (47.27-174.79)	392.627 (196.313 mg ai/L) (299.41-535.51)	1.28 $\pm$ 0.282	1.375 (3)	300
Spiromsifen	731.548 (175.57 μ l ai/L) (695.88-760.96)	854.871 (205.169 μ l ai/L) (823.40-893.23)	9.96 $\pm$ 1.15	1.476 (3)	300

اثر حشره‌کش‌های تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر طول زیستی سفیدبالک گلخانه

تجزیه‌ی آماری داده‌های مربوط به بررسی اثر دو حشره‌کش تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی طول دوره‌ی زیستی سفیدبالک گلخانه در جدول ۲ نشان داده شده‌است. همان گونه که از مقایسه‌ی میانگین فراسنجه‌ها مشاهده می‌شود، حشره‌کش تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات طول دوره‌ی تخم و پورگی را نسبت به حشره‌کش اسپیرومسیفن و شاهد افزایش داد. همچنین، بیشترین افزایش طول دوره شفیرگی نیز مربوط به حشره‌کش تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات با $4/57 \pm 0/22$ روز می‌باشد. بیشترین و کمترین طول دوره مراحل نابالغ به ترتیب 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 اکسالات و اسپیرومسیفن تیمار شده بودند، نیز تحت تاثیر قرار گرفتند. بطوریکه حشره‌کش اسپیرومسیفن باعث بیشترین مرگ و میر افراد نابالغ نسبت به تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و شاهد شدند (جدول ۲).

جدول ۲- تأثیر غلظت زیرکشنده (LC₂₅) دو حشره کش تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر طول دوره مراحل نابالغ و نرخ زنده ماندن سفیدبالک گلخانه

Table 2- The sublethal concentration (LC₂₅) 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±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

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

حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی دار بین تیمارها را در سطح ۵٪ براساس روش بوت استرپ جفت شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می دهند.

طول دوره‌ی مراحل تخم‌گذاری و باروری سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره کش- های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن

نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر حشرات کامل مربوط به نسل اول که والدین آنها با غلظت LC₂₅ اسپیرومسیفن و تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات تیمار شده بودند نیز تحت تأثیر قرار گرفتند. کل دوره زندگی ماده‌ها در هر سه تیمار شاهد، اسپیرومسیفن و تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات دارای طول عمر بیشتری نسبت به نرها بودند (جدول ۳). به طوریکه نتایج به دست آمده طبق (جدول ۳) حشره کش تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات نسبت به حشره کش اسپیرومسیفن و شاهد باعث کاهش طول عمر حشرات کامل نر شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به بررسی طول دوره‌ی پیش از تخم‌گذاری، کل دوره‌ی پیش از تخم‌گذاری، تخم‌گذاری و طول دوره‌ی تخم‌گذاری سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره کش‌های مورد آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، حشره کش‌های اسپیرومسیفن و تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات باعث افزایش طول دوره‌های پیش از تخم‌گذاری^۱ (APRP) شد. همچنین هر دو حشره کش باعث کاهش دوره تخم‌ریزی نسبت به شاهد شدند و بین تیمارها و شاهد از این لحاظ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P<۰.۰۵). نتایج مربوط به میزان باروری حشرات کامل F1 بیانگر تأثیر غلظت زیرکشنده بود به طوریکه ماده‌های حاصل از نسل اول تیمار شده با اسپیرومسیفن (^b ۲/۲۵±۰/۳)، تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات (^b ۱/۷±۰/۳۳) و شاهد^a (۱۱/۸۵±۰/۹۵) نتایج در طول عمر داشتند (جدول ۳).

¹ Adult pre reproductive period

جدول ۳- تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر طول عمر حشرات کامل، باروری و طول دوره تخم ریزی 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 whitfly.

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 (eggsg/female)	11.85±0.95 ^a	1.7±0.33 ^b	2.25±0.3 ^b

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

حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح ۵٪ بر اساس بوت استرپ جفت شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

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

نتایج مقایسه‌ی میانگین فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. در این تحقیق کمترین و بیشترین نرخ خالص تولیدمثلی (R_0) مربوط به تیمار تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات (۰/۲۹) و شاهد (۴/۲۱) نمف/ به ازای 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 تولیدمثل نیز (GRR) کمترین و بیشترین میزان را به‌ترتیب در تیمارهای تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات (۰/۵۴) و شاهد (۸/۶۲) نتاج/ به ازای هر ماده داشت و بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. مقدار فراسنجه‌ی نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) که یکی از مهمترین فراسنجه‌های رشد جمعیتی پایدار می‌باشد، تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش کاهش پیدا کرد. بیشترین مقدار این فراسنجه در تیمار شاهد (۰/۵۲۵ بر روز) به‌دست آمد. بر اساس نتایج حاصل، مقدار فراسنجه‌ی نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) تحت تأثیر حشره‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد (۱/۰۵ بر روز) کاهش یافته به‌طوری که 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 قبل می‌باشد، این مقدار نشان می‌دهد که جمعیت هر روز نسبت به روز قبل به چند نسبتی افزایش خواهد یافت. متوسط زمان یک نسل (T) مدت زمانی است که

جمعیت به اندازه نرخ خالص تولیدمثل افزایش می‌یابد. در فراسنجه‌ی مدت زمان یک نسل (T) بیشترین مقدار این فراسنجه در تیمار تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (۲۹/۰۷ روز) ثبت گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات باعث افزایش معنی‌داری در مقدار این فراسنجه نسبت به شاهد شد (۴ روز).

جدول ۴- تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه.
Table 4- The sublethal concentration (LC_{25}) effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromsifen insecticides on population growth parameters of greenhouse whitefly.

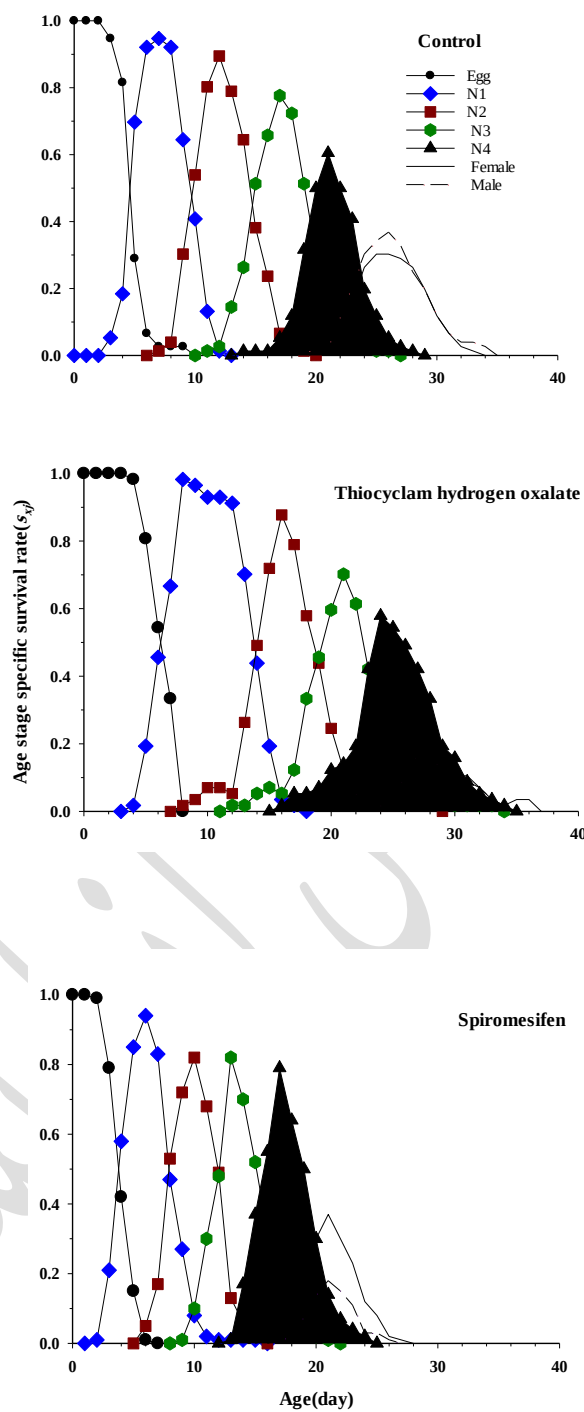
Parameter	Treatment (mean $\pm$ standard error)		
	Control	Thiocyclam hydrogen oxalate	Spiromsifen
Net reproductive rate (R_0)(offspring/individual)	4.21 $\pm$ 0.73 ^a	0.29 $\pm$ 0.10 ^b	0.54 $\pm$ 0.11 ^b
Gross Reproductive Rate (GRR) (offspring/individual)	8.62 $\pm$ 1.72 ^a	0.54 $\pm$ 0.17 ^b	1.25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

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

حروف مختلف در هر ردیف اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را در سطح ۵٪ بر اساس روش بوت استرپ جفت شده با ۱۰۰۰۰۰ تکرار نشان می‌دهند.

منحنی‌های مربوط به نرخ زنده‌مانی ویژه سن- مرحله‌ی زیستی سفیدبالک گلخانه (S_{xj}) تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره-کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در شکل ۱ ارائه شده است. این فراسنجه علاوه بر 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 دو جنسی ویژه سن- مرحله زیستی می‌باشد که در روش‌های سنتی تجزیه داده‌های جدول زندگی وجود ندارد.

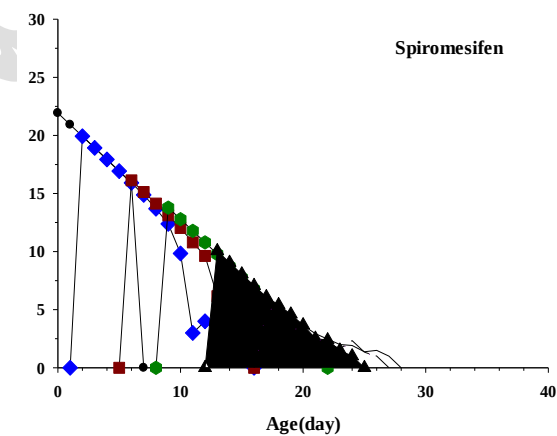
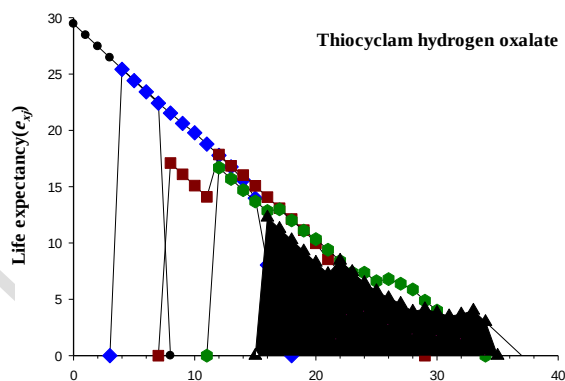
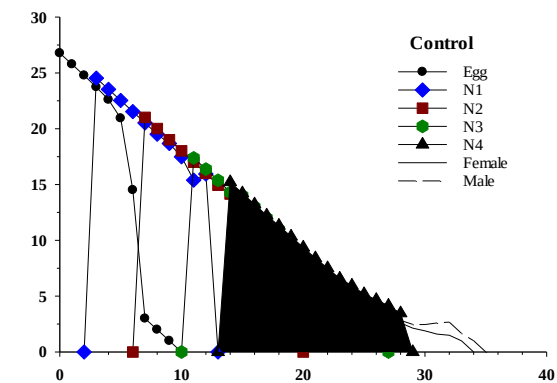
نتایج حاکی از آن است که نرخ بقای ویژه سنی سفیدبالک گلخانه در زمان ورود به مرحله حشره کامل ماده، با شاهد (۷۸ درصد) و تیمارهای تیوسیکلام هیدروژن اکسالات (۷۷ درصد) و اسپیرومسیفن (۷۱ درصد) بود. به‌طوریکه کاهش میزان نرخ بقای مرحله‌ی ماده‌ی بالغ در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد مشاهده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



شکل ۱- اثرات زیرکشنده‌ی حشره‌کش‌های تیوسیکلام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر نرخ بقا و 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*

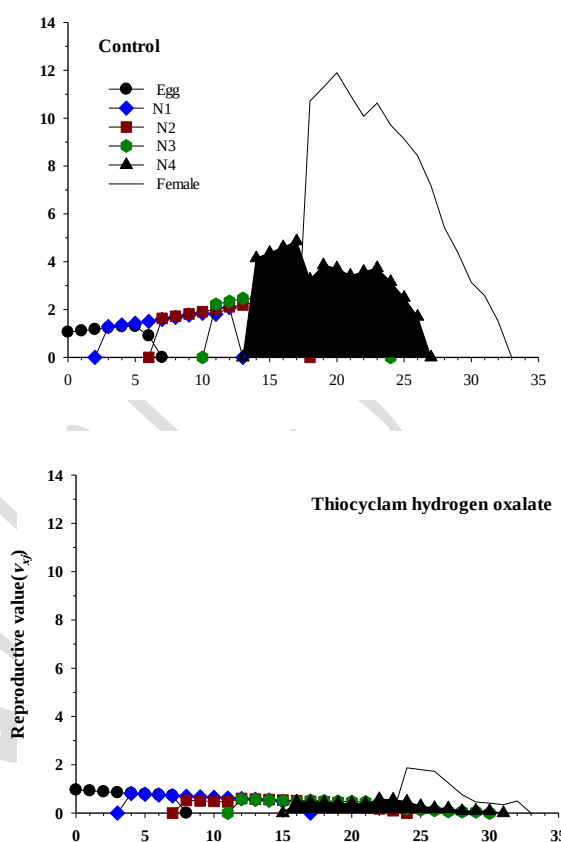
۱ امید به زندگی ویژه سن-مرحله‌ای (e_{xj}) طول عمر پیش‌بینی شده سفیدبالک در معرض غلظت زیرکشنده‌ی حشره‌کش -
 ۲ های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن را نشان می‌دهد (شکل ۲). در شاهد اولین فرد ماده ۱۰/۹۷ روز امید به
 ۳ زندگی داشت، در حالی که در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روند نزولی
 ۴ داشته و به‌ترتیب به ۵/۹۰ و ۶/۶۹ روز کاهش یافت.

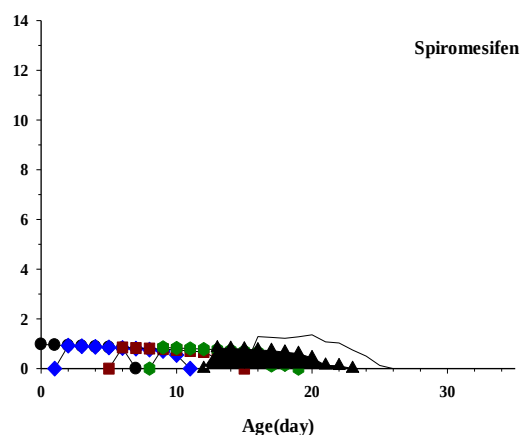


شکل ۲- اثرات زیرکشنده‌ی حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر امید به زندگی سن-مرحله‌ای (e_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 2- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalat and spiromesifen on life expectancy(exj) *Trialeurodes vaporariorum*

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، به تدریج از مقدار این فراسنجه نیز کاسته شده و با رسیدن به مرحله پس از پوره‌زایی این مقدار به صفر رسید. با توجه به نتایج به دست آمده، 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 به ترتیب به مقادیر ۱/۸۷ و ۱/۳۵ تخم رسید که کاهش چشم‌گیری را نشان داد.

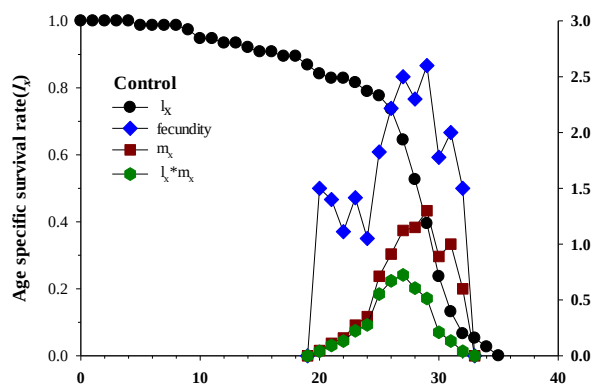


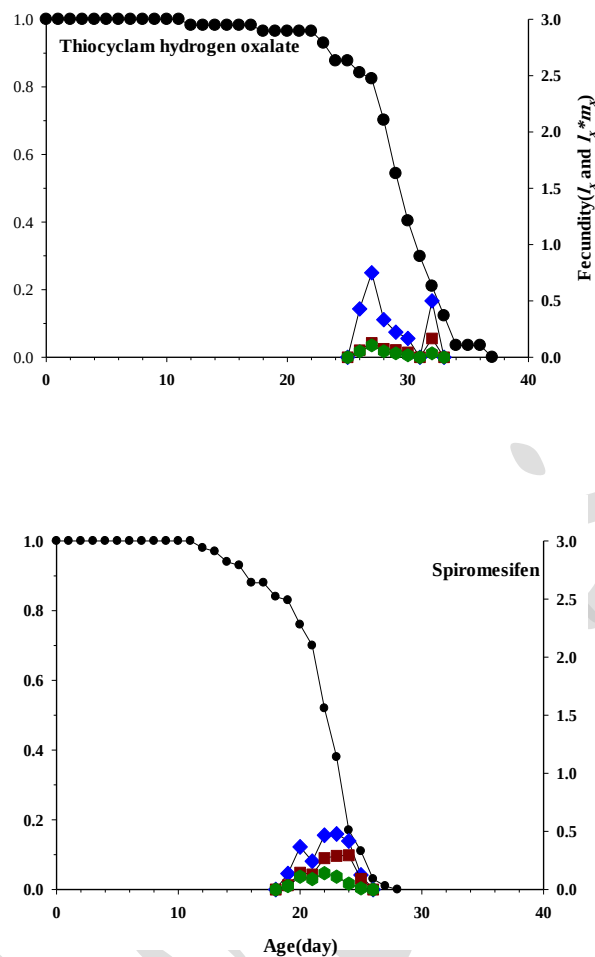


شکل ۳- اثرات زیرکشنده‌ی حشره‌کش‌های تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحله‌ای (V_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

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

بررسی منحنی باروری ویژه سنی ($l_x m_x$) و باروری ویژه سن-مرحله رشدی (m_x) نشان داد که حشره‌کش‌ها باعث اثرات سو روی حشرات بالغ سفیدبالک گلخانه شدند و شروع تخم‌ریزی را در آنها نسبت به شاهد به تاخیر انداختند. حشرات کاملی که والدین آنها تحت تاثیر حشره‌کش‌های تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن قرار گرفتند، با تاخیر وارد مرحله تولیدمثلی شدند (به ترتیب ۱/۵ و ۱/۷۹ روز عمر) و این در حالی است که حشرات کاملی که تحت تاثیر حشره‌کش قرار نگرفته بود سریع‌تر از سایر تیمارها وارد این مرحله از زندگی (۱/۳۳ روز عمر) شدند. نرخ باروری ویژه سن-مرحله رشدی در حشرات ماده (نمف $m_x = ۱/۳۰$) و باروری ویژه سنی حشرات بالغ (نتاج $l_x m_x = ۷۲$) در شاهد نسبت به تیمار حشره‌کش‌ها بیشترین میزان را داشت. کمترین باروری ویژه سنی حشرات بالغ در تیمار تیوسیکل‌ام هیدروژن اکسالات (نتاج $l_x m_x = ۰/۱$) در روز عمر بوده است (شکل ۴).

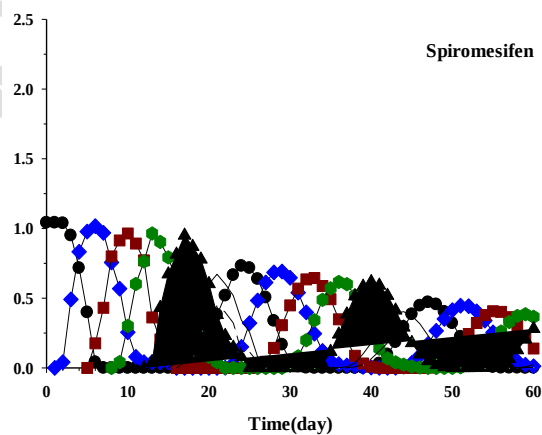
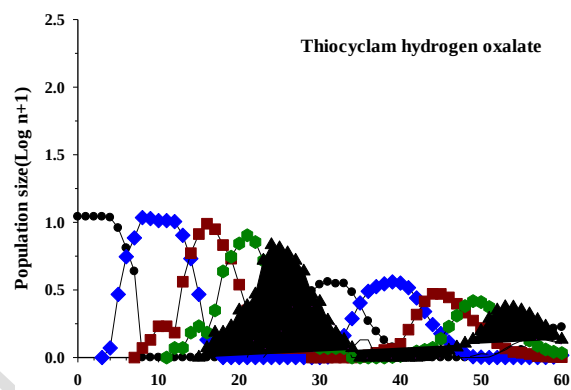
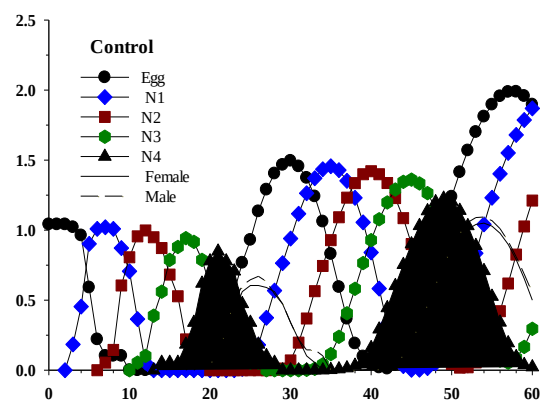




شکل ۴- اثرات زیرکشنده‌ی حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن بر زنده‌مانی ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سن-مرحله‌ای (m_x) و باروری خالص روزانه ($l_x m_x$) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

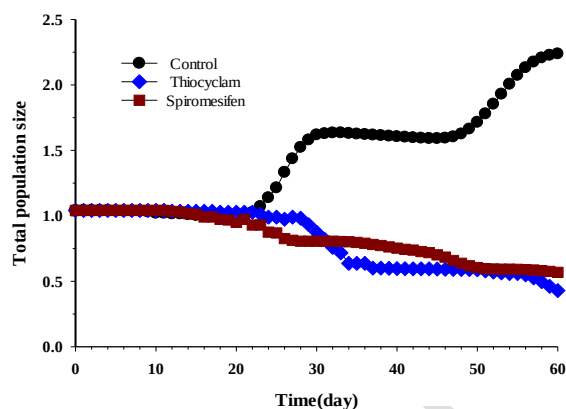
Figure 4- Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on age-specific survival (l_x), age-stage specific fertility (m_x) and age-specific fertility ($l_x m_x$) *Trialeurodes vaporariorum*

پیش‌بینی رشد جمعیت در هر تیمار با در نظر گرفتن یک بازه زمانی ۶۰ روزه صورت گرفت. کمترین سرعت رشد و نمو مراحل مختلف رشدی حشره، در تیمار تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات به علت پائین 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 توصیه شده یک حشره-کش و استفاده از غلظت‌های زیرکشنده می‌توان علاوه بر کاهش میزان آفت‌کش مصرفی، از سرعت رشد جمعیت آفات نیز کاست (شکل ۶).



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

در بسیاری از مطالعات تنها اثرات کشندگی حشره‌کش‌ها روی آفات و دشمنان طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. در حالیکه اثرات زیرکشندگی در پیش‌بینی اثر حشره‌کش‌ها روی حشره قابل اعتمادتر از اثرات کشندگی است و مطالعه اثرات این غلظت‌ها به منظور استفاده منطقی از آنها از اهمیت بالایی برخوردار است (Stark and 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 به منظور دستیابی به نتایج جامع‌تر، هر دو اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش‌های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی پوره سفیدبالک مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان LC_{50} تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات روی سایر آفات گلخانه‌ای نظیر لارو سن سوم مگس مینوز برگ سبزی *Liriomyza sativae* Blanchard (Forouzan *et al.*, 2023) و شب‌پره مینوز گوجه فرنگی *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 تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات، نسبت به آفات مذکور می‌باشد. همچنین تحقیق حاضر نشان داد که اثرات کشندگی تیوسیکلآم 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 *Ebneabbasi et al.* (2023)، نیز گزارش شده است. میزان LC_{50} اسپیرومسیفن گزارش شده در این تحقیق (LC_{50} : 205.169 mg/L)، بیشتر از میزان آن روی پروتونمف کنه تارتن دولکه‌ای (LC_{50} : 133.4 mg/L) در تحقیق *Rajaei et al.* (2022) بود، که نشان از حساسیت بیشتر پروتونمف کنه تارتن در برابر اسپیرومسیفن نسبت به پوره سن سوم سفیدبالک می‌باشد. تفاوت در میزان LC_{50} به دست آمده و حساسیت مراحل مختلف حشرات را می‌توان به اندازه جثه، سن رشدی حشره و تفاوت در ساختار جلد حشرات، روش زیست سنجی مورد استفاده و گونه موجود مورد مطالعه ربط داد. بطوری که حشرات با جثه کوچکتر و سن پایین از حساسیت بیشتری نسبت به حشرات درشت جثه برخوردار هستند (*Prince and Chandler, 2020*). علاوه بر ارزیابی کارایی حشره‌کش‌ها در کوتاه مدت، اثرات زیرکشندگی 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 نهایتاً انتخاب حشره‌کش مناسب می‌باشد. لذا با توجه به اثر حشره‌کش‌ها بر فیزیولوژی و رفتار بندپایان هدف و غیر هدف، ضرورت انجام چنین بررسی‌هایی مشخص می‌شود (*Amini jam and Saber, 2021*).

اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های گیاهی و شیمیایی روی *T.vaporariorum* توسط محققین متعددی بررسی شده است (*Omer and Leigh, 1995; Simmonds et al., 2002; Heidari et al., 2005; Reshadat-Salvanagh et al., 2024; Sharifiyan et al., 2024 a,b*). تیمار حشرات با غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها باعث می‌شود که در شرایط مزرعه‌ای در طولانی مدت، 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 تیوسیکلام هیدروژن 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 تیوسیکلام هیدروژن اکسالات علاوه بر تأخیر در رشد و نمو مراحل نابالغ، منجر به کاهش طول عمر حشرات کامل ماده باعث گردید. تأخیر در طول عمر نتاج سفیدبالک گلخانه یکی از اثرات تجمعی غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها است که می‌تواند زمینه را برای در معرض قرار گیری آنها در برابر دشمنان طبیعی فراهم کند و در تقویت تأثیر کنترل 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 *Nikakhtar et al., 2022* ثبت گردید. بطور مشابه، در یک مطالعه، طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ *Bemisia tabaci* Gennadius تحت تأثیر غلظت LC_{10} و LC_{25} سیانترانیلی پرول افزایش یافت (*Wang et al., 2017*). اسپیرومسیفن مورد استفاده در این تحقیق، برخلاف تیوسیکلام هیدروژن اکسالات، باعث کاهش طول دوره رشد و نمو مراحل نابالغ در مقایسه با شاهد گردید. مشابه با یافته‌های این تحقیق، *Beheshti و همکاران (۲۰۲۲)*، در نتیجه استفاده از غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های اپیل، ایمیداکلوپراید و آبامکتین کاهش طول دوره رشد و نمو سفیدبالک گلخانه، مشاهده گردید. 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 تاثیر غلظت زیرکشنده تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات قرار گرفت، به طوریکه منجر به تاخیر در کل دوره پیش از تخمگذاری گردید که همسو با یافته های *Reshadat-Salvagh et al. (2024)* در نتیجه استفاده از غلظت زیرکشنده فلونیکامید بود. در یافته های تحقیق *Forouzan et al. (2023)* مقدار TPOP در لاروهای مگس مینوز تحت تاثیر غلظت زیرکشنده تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات نسبت به شاهد افزایش داشت که منطبق با نتایج تحقیق حاضر در نتیجه استفاده از تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات است. اگرچه استفاده از غلظت زیرکشنده اسپیرومسیفن در این تحقیق، باعث کاهش کل دوره پیش از تخمگذاری حشرات سفیدبالک گلخانه گردید که با یافته های *(۲۰۲۲) Beheshti* و همکاران مطابقت داشت.

استفاده بی رویه از حشره کش ها با تحریک سیستم تولیدمثل و افزایش باروری منجر به طغیان آفات می گردد *(Ebneabbasi et al., 2023)*. مطالعات صورت گرفته توسط *Desneux et al., 2007* و *Haddi et al., 2016* بیانگر تاثیر غلظت های زیرکشنده بر طغیان آفات می باشد ولی در تحقیق حاضر، باروری تحت تاثیر غلظت های زیرکشنده هر دو حشره کش در مقایسه با شاهد، به طور معنی داری کاهش پیدا کرد. این کاهش در حشره کش تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات بیشتر از اسپیرومسیفن بود. طول دوره تخم گذاری حشرات کامل سفیدبالک گلخانه نیز تحت تاثیر غلظت زیرکشنده قرار داد. مربوط به شاهد $(۴/۴۴)$ روز و کمترین مقدار آن مربوط به غلظت LC_{25} اسپیرومسیفن $(۱/۳۸)$ روز بود. بین تیمارهای حشره کش نیز تفاوت معنی داری مشاهده نشد. مشابه با یافته های تحقیق حاضر، در بررسی صورت گرفته توسط *Nikakhtar et al., 2022* میزان باروری و طول دوره تخم گذاری سفیدبالک تحت تاثیر غلظت های زیرکشنده سه فرمولاسیون آزادیراختین بطور معنی داری نسبت به شاهد کاهش یافت. بطوریکه باروری افراد ماده از $۳۴/۹۴$ (تخم به ازای هر ماده) در شاهد به ترتیب به $۲۷/۵۷$ ، $۱۵/۲۷$ و ۸ (تخم به ازای هر ماده) در فرمولاسیون های کوف، نیم آزال و نیم بسیدین کاهش یافت. مشابه با یافته های تحقیق حاضر، غلظت زیرکشنده حشره کش های بیو، ۲، فلونیکامید *(Reshadat-Salvagh et al., 2024)* و اسانس های گیاهی نعنای، پونه و نانوفرمولاسیون های آنها *(Sharifiyan et al., 2023, 2024)* میزان باروری *T. vaporariorum* کاهش یافت. به عبارت دیگر می توان اذعان داشت در اغلب موارد، غلظت زیرکشنده حشره کش ها در بندپایان اثرات معنی داری را با کوتاه کردن طول دوره تخم گذاری، کاهش باروری و کاهش نرخ تفریخ اعمال می کند *(Tan et al., 2012; Lu et al., 2016; Wang et al., 2016; Xu et al., 2016)*.

بررسی های ما در زمینه تاثیر غلظت های زیرکشنده حشره کش های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن روی سفیدبالک گلخانه ای نشان می دهد این حشره کش ها علاوه بر ویژگی های زیستی، فراسنجه های جدول زندگی سفیدبالک مانند نرخ خالص تولیدمثل، نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ متناهی افزایش جمعیت و طول دوره یک نسل را به طور معناداری تحت تاثیر قرار می دهند. محاسبه این فراسنجه ها می تواند به عنوان ابزار کمی یا شاخص اکولوژیک واکنش آفت را نسبت به حشره کش نشان دهد *(Talebi Jahromi, 2012)*. در این تحقیق، حشره کش های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن از طریق کاهش در طول عمر و بقای حشرات کامل و کاهش در تخم ریزی (بدلیل کوتاه شدن طول عمر) باعث کاهش میزان فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) ، و در نتیجه باعث کندتر شدن سرعت افزایش جمعیت سفیدبالک شده اند *(Heidari et al., 2005)*. نتایج ما نشان داد اگرچه اختلاف معنی داری از نظر فراسنجه نرخ متناهی افزایش جمعیت بین حشره کش های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن وجود نداشت ولی حشره کش های مذکور، نرخ فراسنجه ذکر شده را در نتایج حاصله، نسبت به شاهد $(۱/۰۵)$ بر روز) بطور معنی داری کاهش دادند. بطور مشابه *Safavi and Bakhshaei, 2017* نشان دادند که غلظت زیرکشنده حشره کش کالیپسو مقادیر نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت

T. vaporariorum را کاهش داد. بطوریکه نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت به ترتیب از ۰/۱۵۱ و ۱/۱۶۵ بر روز در شاهد به ۰/۱۳۷ و ۱/۱۴۹ بر روز در تیمار LC₃₀ کالیپسو رسید. حساسیت بیشتر سفیدبالک در برابر تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن در مقایسه با حشره کش کالیپسو می تواند ناشی از مکانیسم اثر متفاوت، غلظت حشره کش ها و حساسیت حشره مورد آزمایش باشد. به علاوه نتایج تحقیق Heidari et al., 2005 نشان داد که حشره کش های پیری- پروکسی فن، بوپرو فزین و فن پروپاترین مقادیر نرخ ذاتی و متناهی افزایش جمعیت *T. vaporariorum* را کاهش دادند. در بررسی Shahmohammadi Heidari et al., 2022 مقدار نرخ متناهی افزایش جمعیت در سفیدبالک گلخانه تیمار شده با غلظت LC₅₀ امولسیون شونده غلیظ روغن معدنی (EC) در مقایسه با شاهد بطور معنی داری کاهش یافت که هم سو با پژوهش حاضر است.

متوسط مدت زمان یک نسل *T* در جمعیت سفیدبالک تحت تاثیر غلظت زیرکشنده تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن نسبت به شاهد روند متفاوتی را نشان داد. مقدار این فراسنجه در تیمارهای شاهد، تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن به ترتیب ۲۷/۳۷، ۲۹/۰۷ و ۲۲/۷۳ روز بود. نتایج تحقیق Nikakhtar., 2023 هم سو با نتایج پژوهش حاضر در بکارگیری تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات بوده بطوریکه متوسط مدت زمان یک نسل در سفیدبالک گلخانه در نتیجه بکارگیری سه فرمولاسیون آزادیراختین در مقایسه با شاهد روند صعودی داشت. در حالیکه حشره کش فن پروپاترین متوسط مدت زمان یک نسل سفیدبالک را از ۲۶/۲ روز به ۲۵/۴ روز کاهش داد (Heidari et al., 2005) که با نتایج تحقیق حاضر در مواجه با اسپیرومسیفن هم پوشانی دارد.

یافته های حاصل از این تحقیق بیانگر این نکته مهم است که غلظت زیرکشنده حشره کش های تیوسیکلآم هیدروژن اکسالات و اسپیرومسیفن قادرند اثرات منفی قابل توجهی بر پتانسیل رشد جمعیت *T. vaporariorum* داشته باشند. نکته قابل توجه اینکه کاربرد غلظت زیرکشنده علاوه بر اینکه سبب کاهش پتانسیل رشد جمعیت آفات می شود، احتمالاً امکان استفاده از این ترکیبات را در تلفیق با دشمنان طبیعی سفیدبالک گلخانه فراهم آورد، اگرچه بهتر است مطالعاتی در زمینه اثرات زیرکشنده حشره کش های مذکور روی دشمنان طبیعی 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>. <https://doi.org/10.22055/ppr.2022.17400>
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.

- 1 *International Journal of Pest Management*, 65(4), 301– 312.
2 <https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1502899>
- 3 6. Avery, P. B., Simmonds, M. S., & Nicklin, J. (2015). Comparative growth and efficacy of
4 *Trinidadian* strains of *Isaria fumosorosea* blastospores for controlling *Trialeurodes*
5 *vaporariorum* on bean plants. *Journal of Biopesticides*, 8(1), 01-12.
- 6 7. Basit, M., S. Saeed, Ahmad, M. & Sayyed, A. H.(2013). Can resistance in *Bemisia tabaci*
7 (Homoptera: Aleyrodidae) be overcome with mixtures of neonicotinoids and insect regulators?
8 *Crop Protection*, 44, 135–141.<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.021>
- 9 8. Beheshti, A. Imani, S., Zahdi, H., Targari, S., & Abdi Gudarzi, M. (2022). Investigation of the
10 sublethal effects of the insecticides Apel, Abacmetin and Amidachloropride on the life span of
11 different life stages of greenhouse whiteflies (*Trialeurodes vaporariorum*) (Hem.: Aleyrodidae)
12 in laboratory conditions. *Quarterly Entomological Research Specialty* (scientific-
13 research),14(1), 27-31 (in Persian).
- 14 9. Bi, J. L., Toscano, N. C. & Ballmer G. R. (2002). Greenhouse and field evaluation of six novel
15 insecticides against the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* on strawberries. *Crop*
16 *Protection*, 21, 49-55.
- 17 10. Bi, J.L. & Toscano, N.C. (2007). Current status of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes*
18 *vaporariorum*, susceptibility to neonicotinoid and conventional insecticides on strawberries in
19 southern California. *Pest Management Science*, 63(8), 747-752. <https://doi.org/10.1002/ps.1405>
- 20 11. Chen, X., Ma, K., Li, F., Lianq, P., Liu, Y., Guo, T., Song, D., Desneux, N., & Gao, X.(2016).
21 Sublethal and transgenerational effects of sulfoxafor on the biological traits of the cotton aphid,
22 *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). *Ecotoxicology*, 25, 1841–1848.
23 <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1732-9>
- 24 12. Chi, H. (1988). Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates
25 among individuals. *Environmental Entomology*, 17, 26–34.<https://doi.org/10.1093/ee/17.1.26>
- 26 13. Chi, H. (2020). TWOSEX-MSChart: a computer program for age stage, two-sex life table
27 analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan; available from
28 <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.rar>.
- 29 14. Chi, H. (2021).TIMING-MSChart: a computer program for the population projection based on
30 age-stage, two-sex life table. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. [online],
31 Available: <http://140.120.197.173/Ecology/>.
- 32 15. Chi, H. and Liu, H. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin*
33 *of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 24: 225–240.
- 34 16. Colvin, J., Omongo, C. A., Govindappa, M. R., Stevenson, P. C., Maruthi, M. N., Gibson, G and
35 Muniyappa, V. (2006). Host-plant viral infection effects on arthropod-vector population growth,
36 development and behaviour: management and epidemiological implications. *Advances in virus*
37 *research*, 67, 419-452.<https://doi.org/10.5281/zenodo.5592318>
- 38 17. Cuthbertson, A. G. S., J. H. Buxton, L. F. Blackburn, J. J. Mathers, , K. A., Robinson , M. E
39 Powell, D. A. Fleming, and H. A. Bell. (2012). Eradicating *Bemisia tabaci* Q biotype on
40 poinsettia plants in the UK. *Crop Protection*, 42, 42–
41 48.<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.08.009>
- 42 18. Dai C., Ricupero M., Wang Z., Desneux N., Biondi A., Lu Y. (2021). Transgenerational effects
43 of a neonicotinoid and a novel sulfoximine insecticide on the harlequin ladybird. *Insects*, 12,
44 681. <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., Mehrkhou, 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., A. Sibel Velioğlu, M. O. Gurkan, I. Denholm & G. D. Moores. (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. 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>
25. Gerling, D. (1990). Whiteflies: Their bionomics, pest status and management. Winborne, Uk, Intercept. 348pp.
26. 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>
27. 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>
28. 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.
29. 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>
30. 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. (2017). Insecticide resistance in *Trialeurodes vaporariorum* population and novel diagnostics for *kdr* mutation. *Pest Management Science*, 74(1), 59-69. <https://doi.org/10.22124/iprj.2021.5257>
31. 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>
32. Kumar, A. and Singh, R. (2014). Bioefficacy of some insecticides against the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, Westwood (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato. *The Bioscan*, 9(3), 1073-1076.
33. 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>
34. Lahiri, S., Smith, H. A., Gireesh, M., Kaur, G., & Montemayor, J. D. (2022). Arthropod Pest Management in Strawberry. *Insects*, 13(5), 475. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13050475>
35. 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>
36. 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>
37. 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>
38. Mota-Sanchez, D. & Wise, J.C. (2023). Arthropod pesticide resistance database. Retrieved from <https://www.pesticideresistance.org/>
39. 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.aos.2021.08.001>
40. 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>
41. 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).
42. 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.
43. Patra, B., & Kumar Hath, T. (2022). Insecticide resistance in whiteflies *Bemisia tabaci* (Gennadius): Current global status. Insecticides. In Ramon Eduardo Rebolledo Ranz (Ed), *Insecticides – Impact and benefits of its use for humanity* (chapter 19). Temuco, Chile: Universidad de La Frontera. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101954>
44. Pavela, R. (2009). Larvicidal effects of some Euro-Asiatic plants against *Culex quinquefasciatus*

45. 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>
46. 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), <https://doi.org/10.2298/PIF1304239P>
47. 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>
48. Rajaei, F. Ghane-Jahromi, M., Maroofpour, N. and 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/uja8-5ks2>
49. Rakhshani, M. (2005). Principle of agricultural toxicology (pesticides). Farhang Jame Press Center of Tehran, Iran, p. 100-374. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jpp.v30i4.53965>
50. Reshadat-Salvanagh, N. (2021). Survey on the sublethal effects of Flonicamid and Bino2 on the population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). MSc thesis, Urmia University, 75 p.
51. 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>)
52. 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
53. 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>
54. Salvanagh, N. R., Mehrkhou, F., & Fourozan, 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.
55. Sarbaz S., Goldasteh S., Zamani A.A., Solymannejadiyan E., & Vafaei Shoushtari R. (2017). Side effects of spiromesifen and spirodiclofen 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>
56. Say larvae (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 105, 887- 892. <https://doi.org/10.1007/s00436-009-1511-0>
57. 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. <https://doi.org/10.22067/jpp.v30i4.53965>

58. 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>
59. Shahbazvar, N., Sahragard, A., Hosseini, R. & Hajizadeh, J. (2011). A preliminary study on adult characters of whiteflies (Hem.: Aleyrodidae). *Entomofauna, Zeitschrift Fur Entomologie*, 32(30), 413-420.
60. 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 Farsi). <https://doi.org/10.22059/IJPPS.2022.339946.1007001>
61. Sharifiyan, M., Mehrkhou, F. & Negahban, M. (2024). Lethal and sublethal effects of *Mentha piperita* L. and its nanoeformulation form on the biological and population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) under laboratory conditions. *J. Entomological Society of Iran*, 44 (1), 25–41.
62. Sheikhiharjan, A. Najafi, H., Abbasi, Azimi, H. & Moradi, M. (2021). The chemical and organic pesticide guide of Iran. *Rah Dan press, Tehran, Iran*, p. 525. <https://doi.org/10.61186/jesi.43.3.5>
63. 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>
64. SPSS, Inc. (2019). IBM SPSS statistics for windows, version 26.0 (Vol. 440). IBM Corporation.
65. 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/10.1590/S0100-204X2004001100003>
66. 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.
67. Talebi Jahromi, Kh. (2012). Pesticide toxicology. University of Tehran press. 508 pp.
68. 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>
69. 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. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016>
70. 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. <https://doi.org/10.1002/ps.5693>
71. 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>
72. 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>
73. 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>

74. Zawrah, M. F. M., Masry, A. T. El., 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.