

Lethal (LC₅₀) and Sublethal (LC₂₅) effects of combined insecticide, Emamectin Benzoate- Acetamiprid, and Alpha-Cypermethrin on life table parameters of Greenhouse Whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae)

Nazi Reshadat Salvanagh¹, Fariba Mehrkhou², Shahram Aramideh³, Maryam Forouzan⁴

1,2,3- Depatment of plant protection, Faculty of agriculture, Urmia university, Urmia, Iran.

4- Natural resources research center, Agriculture research, Education and Extension organization (AREEO), Urmia, Iran.

(f.mehrkhou@urmia.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jpp.2026.100786.1294>

Introduction: The greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae), is a globally significant pest of protected crops, infesting over 850 plant species. It causes direct damage through phloem sap feeding and indirect damage by excreting honeydew that promotes sooty mold growth, reducing both photosynthetic capacity and marketable yield. Furthermore, it vectors numerous plant viruses, exacerbating economic losses. Historically, chemical control has been the primary management strategy; however, the intensive and repeated application of synthetic insecticides have led to widespread resistance, environmental contamination, non-target effects on natural enemies, and human health concerns. These challenges necessitate the evaluation of newer, selective insecticides with novel modes of action and reduced ecological footprints. Emamectin benzoate, an avermectin derivative, acts as a chloride channel activator causing rapid neuromuscular paralysis, while acetamiprid, a neonicotinoid, disrupts synaptic transmission via nicotinic acetylcholine receptor antagonism. Their combined formulation offers potential synergistic effects and resistance-delaying benefits. In contrast, alpha-cypermethrin, a Type II pyrethroid, disrupts voltage-gated sodium channels, providing fast knockdown but raising concerns about non-target toxicity and resistance. Sublethal effects are critical for predicting long-term population dynamics, as pests in agricultural systems frequently encounter degrading pesticide residues. This study aimed to comprehensively evaluate the lethal (LC₅₀) and sublethal (LC₂₅) effects of emamectin benzoate-acetamiprid and alpha-cypermethrin on the age-stage, two-sex life table parameters and population projection of *T. vaporariorum* under controlled laboratory conditions.

Materials and Methods: A laboratory colony of *T. vaporariorum* was established from adults collected from an untreated greenhouse at Urmia University, Iran, and maintained on potted tomato plants (cv. 'Firmont') for three generations to ensure uniformity. All experiments were conducted at 25 ± 2°C, 65 ± 5% relative humidity, and a 16:8 h (L:D) photoperiod. Leaf-dipping bioassays were performed on third-instar nymphs using five logarithmic concentrations of each insecticide—emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% (EC 11.2%) and alpha-cypermethrin 10% SC—alongside a distilled water control. Treated leaves were air-dried and maintained in Petri dishes with moistened cotton. Mortality was recorded 24 hours post-treatment, and LC₅₀ and LC₂₅ values were estimated by Probit analysis using SPSS software, with four replicates per concentration (15 nymphs each treatment). For sublethal effect assessment, third-instar nymphs were exposed to the LC₂₅ concentrations of each insecticide. Surviving adults were transferred to clean plants for oviposition, and 50 synchronized eggs were selected as the initial cohort for life table studies. Each neonate was individually reared in plastic containers with insecticide-free tomato leaves, replaced every 3–4 days. Daily observations recorded developmental duration, stage-specific survival, adult longevity, pre-oviposition period (APOP), total pre-oviposition period (TPOP), oviposition period, and daily fecundity until the death of all individuals. Life table data were analyzed using the age-stage, two-sex life table theory with TWOSEX-MSChart software. Population parameters—net

reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r), finite rate of increase (λ), and mean generation time (T)—were calculated, with means and standard errors estimated via the bootstrap method (100,000 iterations) and compared using the paired bootstrap test. Population projections over 60 days were performed using TIMING-MSChart.

Results: Alpha-cypermethrin exhibited higher acute toxicity ($LC_{50} = 8.601$ ppm) compared to emamectin benzoate + acetamiprid ($LC_{50} = 10.472$ ppm). However, sublethal exposure to both insecticides significantly prolonged pre-adult developmental duration, reduced adult longevity, and decreased fecundity compared to the control. The lowest and highest fecundity rated was observed in emamectin benzoate + acetamiprid treatment (3.62 eggs/female) and control treatment (7.79 eggs/female), respectively. Key population parameters including the net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r), and finite rate of increase (λ) were significantly reduced in both treatments, with the most pronounced decline recorded in the emamectin benzoate + acetamiprid treatment (R_0 : 0.52 vs. 4.009 offspring/individual; r : -0.0184 vs. 0.0416 day⁻¹) compared to the control group. Mean generation time (T) was significantly extended in insecticide-treated groups. Population projection over 60 days confirmed slower population growth in both treatments, particularly with the combined formulation.

Conclusion: Although alpha-cypermethrin showed greater acute toxicity, the emamectin benzoate + acetamiprid combination exerted deeper and more persistent sublethal effects, resulting in a substantial reduction in population growth potential compared to control. Its dual mode of action and lower resistance risk make it a more suitable candidate for integrated pest management (IPM) programs against greenhouse whitefly. However, further studies on its compatibility with natural enemies are recommended before field implementation.

Keywords: Greenhouse pest, Pyrethroid, Neonicotinoid, Avermectin, Population growth parameters

اثرات کشندگی (LC_{50}) و زیرکشندگی (LC_{25}) حشره کش ترکیبی امامتین بنزوات با استامی پراید و آلفاسایپرمترین بر فراسنجه‌های جدول زندگی سفید بالک گلخانه‌ای

Trialeurodes vaporariorum (Hemiptera: Aleyrodidae)

نازی رشادت سلوانق^۱، فربیا مهرخو^۲، شهرام آرمیده^۳، مریم فروزان^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۶/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۲۶

۲۰۱ و ۳- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

۴- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

(f.mehrkhrou@urmia.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jpp.2026.100786.1294>

چکیده:

سفیدبالک گلخانه‌ای *Trialeurodes vaporariorum* Westwood یکی از آفات مهم محصولات گلخانه‌ای در سراسر جهان است که با تغذیه از شیره گیاهی و ترشح عسلک، خسارت قابل توجهی ایجاد می‌کند. با توجه به محدودیت‌های ناشی از مصرف گسترده حشره‌کش‌های شیمیایی، مطالعه اثرات کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌های جدید در مدیریت تلفیقی این آفت ضروری است. در پژوهش حاضر، اثرات کشندگی LC_{50} و زیرکشندگی LC_{25} دو حشره‌کش آلفاسایپرمترین و تلفیق امامکتین بنزوات با استامی‌پراید بر فراسنجه‌های جدول زندگی سفیدبالک گلخانه در شرایط آزمایشگاهی (دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و دوره نوری $16:8$ ساعت (روشنایی: تاریکی)) بررسی شد. زیست‌سنجی با روش غوطه‌وری برگ‌های آلوده به پوره‌های سن سوم در غلظت‌های مختلف حشره‌کش انجام شد. مقادیر LC_{50} و LC_{25} با استفاده از آنالیز پروبیت محاسبه گردید. نتایج نشان داد آلفاسایپرمترین با LC_{50} معادل $8/601$ پی‌پی‌ام در مقایسه با ترکیب امامکتین بنزوات با استامی‌پراید با LC_{50} معادل $10/472$ پی‌پی‌ام، سمیت حاد بیشتری داشت. بررسی اثرات زیرکشنده نشان داد که هر دو حشره‌کش، موجب افزایش معنی‌دار طول دوره مراحل نابالغ، کاهش باروری و کاهش طول عمر حشرات کامل نسبت به شاهد شدند. همچنین هر دو حشره‌کش مورد استفاده باعث کاهش معنی‌دار نرخ خالص تولیدمثل (R_0) و نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) نسبت به شاهد شدند و بیشترین میزان نرخ خالص تولیدمثل ($4/009 \pm 0/47$ نتاج/نسل) و نرخ ذاتی افزایش جمعیت ($0/003 \pm 0/0416$ بر روز) در تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین، پیش‌بینی رشد جمعیت طی ۶۰ روز نشان داد که هر دو تیمار به‌ویژه حشره‌کش امامکتین بنزوات با استامی‌پراید، به‌طور قابل توجهی پتانسیل رشد جمعیت آفت را کاهش می‌دهند. به‌طور کلی، با وجود سمیت حاد کمتر، ترکیب امامکتین بنزوات با استامی‌پراید با اعمال اثرات زیرکشندگی پایدارتر بر فراسنجه‌های زیستی و تولیدمثلی، گزینه‌ای مؤثرتر در برنامه‌های مدیریت تلفیقی سفیدبالک گلخانه‌ای محسوب می‌شود. واژگان کلیدی: آفت گلخانه، پیرتروئید، نتونیکوتینوئید، اورمکتین، فراسنجه‌های رشد جمعیت.

مقدمه:

سفیدبالک گلخانه‌ای (*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) بیش از ۸۵۰ گونه گیاهی را مورد حمله قرار می‌دهد. همچنین، یکی از آفات مهم گلخانه‌های سبزی و صیفی در سراسر جهان به‌شمار می‌رود (Milenovic et al., 2021; Wintermantel, 2004). پوره‌ها و حشرات بالغ این آفت با تغذیه از شیره آوند آبکش، موجب خسارت مستقیم می‌شوند و از طریق ترشح عسلک، خسارت غیرمستقیم وارد می‌کنند. این امر به رشد قارچ‌های دوده‌ای سیاه منجر شده و ظرفیت فتوسنتزی و بازارپسندی محصول را کاهش می‌دهد. افزون بر این، این گونه ناقل شمار زیادی از ویروس‌های گیاهی است (Dalmon et al., 2009; Cavalieri et al., 2014). به‌طور سنتی، کنترل شیمیایی، مهم‌ترین راهکار مدیریت *T. vaporariorum*، به‌ویژه در شرایط گلخانه‌ای، بوده است. با این حال، مصرف گسترده و مکرر حشره‌کش‌های شیمیایی پیامدهای منفی متعددی به‌دنبال داشته است؛ از جمله بروز مقاومت به حشره‌کش‌ها، تهدید سلامت انسان، آلودگی محیط‌زیست و کاهش جمعیت دشمنان طبیعی، مانند زنبورهای پارازیتوئید و کنه‌های شکارگر (Bayramzadeh et al., 2019; Kalyabina et al., 2021). این پیامدهای اکولوژیک، همراه با محدودیت‌های قانونی اعمال‌شده بر ترکیبات قدیمی، ضرورت استفاده از حشره‌کش‌های انتخابی با نحوه اثر جدید و خطر زیست‌محیطی کمتر را برجسته می‌سازد (Hardy, 2012). یکی از رویکردهای امیدبخش، استفاده از امامکتین بنزوات و استامی‌پراید است که کارایی بالایی علیه آفات راسه‌هی‌پترا نشان داده‌اند. امامکتین بنزوات، به‌عنوان مشتقی از آورمکتین‌ها، با افزایش هدایت کانال‌های کلر در نورون‌های حشرات، موجب فلج سریع عصبی-عضلانی می‌شود (Lasota & Dybas, 1991). استامی‌پراید، یک حشره‌کش نتونیکوتینوئیدی، با

۱ اثرگذاری بر گیرنده‌های نیکوتینی استیل‌کولین، انتقال سیناپسی را مختل می‌کند (Matsuda et al., 2005). فرمولاسیون
۲ هم‌زمان این دو ترکیب (امامکتین بنزوات ۴/۸٪ + استامی‌پراید ۶/۴٪ (EC 11.2%) می‌تواند اثرات هم‌افزا یا افزایشی ایجاد
۳ کند و به‌طور بالقوه در به‌تعویق انداختن بروز مقاومت مؤثر باشد (Rahmani & Bandani, 2013; Shafaghi et al., 2022; Rajabi et al., 2024; Reshadat-Salvanagh et al., 2026).

۴
۵ افزون بر سمیت کشنده، توجه به اثرات زیرکشنده برای ارزیابی جامع پیامدهای زیستی و اکولوژیک یک حشره‌کش جدید
۶ ضروری است. اثرات زیرکشنده به تغییرات فیزیولوژیک یا رفتاری آفات اطلاق می‌شود که در اثر مواجهه با غلظت‌هایی کمتر
۷ از حد مرگ‌آور رخ می‌دهند (Jam & Saber, 2018). با تجزیه تدریجی آفت‌کش‌ها پس از کاربرد، آفات در سامانه‌های زراعی
۸ اغلب در معرض غلظت‌های زیرکشنده قرار می‌گیرند (França et al., 2017; He et al., 2013). هرچند این غلظت‌ها
۹ ممکن است موجب حذف کامل جمعیت نشوند، اما می‌توانند زمان رشد، طول عمر حشرات بالغ یا توان تولیدمثلی را تغییر
۱۰ دهند (Siahaya, 2021; Bartling et al., 2024; Cutler et al., 2009). چنین اثراتی ممکن است به تسریع روند بروز
۱۱ مقاومت یا حتی طغیان آفات منجر شوند (Plapp et al., 1979; Rahman et al., 2010; Bendis & Relyea, 2016; Guedes et al., 2017).
۱۲ از این‌رو، ارزیابی هم‌زمان اثرات کشنده و زیرکشنده در انتخاب حشره‌کش‌های جدید از اهمیت
۱۳ اساسی برخوردار است. این نتایج بیانگر پیچیدگی و وابستگی گونه‌ای پاسخ‌های زیرکشنده به حشره‌کش‌ها است. برای ارزیابی
۱۴ جامع این اثرات، تحلیل داده‌های جدول زندگی باروری به‌عنوان روشی قابل اتکا مطرح شده است که امکان برآورد دقیق
۱۵ فراسنجه‌های جمعیتی، مانند نرخ رشد ذاتی (r)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) و میانگین طول
۱۶ نسل (T) را فراهم می‌کند (Chi & Liu, 1985; Chi, 1988; Rahmani & Bandani, 2013).

۱۷ با وجود این پیشرفت‌ها، مطالعات مقایسه‌ای درباره اثرات زیرکشنده امامکتین بنزوات + استامی‌پراید در مقایسه با آلفا-
۱۸ سایپرترین بر *T. vaporariorum* محدود است. با توجه به مصرف گسترده این حشره‌کش‌ها در ایران و سایر کشورها ^{علیه}
۱۹ سایر آفات مکنده نظیر سفیدبالک پنبه (Zidan et al., 2012; Zimmer et al., 2017) و نیز گرایش‌های مقرراتی به‌سوی
۲۰ ترکیبات کم‌خطرتر، ارزیابی اثرات LC_{50} و LC_{25} بر پویایی جمعیت سفیدبالک گلخانه ضروری به نظر می‌رسد.
۲۱ بنابراین، هدف این پژوهش بررسی اثرات زیرکشنده این حشره‌کش‌ها بر *T. vaporariorum* با استفاده از تحلیل داده‌های
۲۲ جدول زندگی باروری بود. نتایج این مطالعه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای برنامه‌های مدیریت سفیدبالک گلخانه فراهم
۲۳ کرده و درک بهتری از کارایی و خطرات اکولوژیک این حشره‌کش‌ها ارائه دهد.

۲۴ مواد و روش‌ها

۲۵ جمع‌آوری و پرورش حشره

۲۶ کلنی سفیدبالک گلخانه با استفاده از حشرات بالغ جمع‌آوری‌شده از یک گلخانه بدون سم‌پاشی در دانشگاه ارومیه ایجاد شد.
۲۷ حشرات بالغ به قفس‌هایی با ابعاد $80 \times 80 \times 100$ سانتی‌متر حاوی بوته‌های گوجه‌فرنگی گلدانی منتقل شدند. پس از ۲۴
۲۸ ساعت، حشرات بالغ حذف شدند تا نتاج هم‌سن به‌دست آید. کلنی حداقل به‌مدت سه نسل نگهداری شد تا اثرات مادری
۲۹ کاهش یابد و یکنواختی جمعیت تضمین شود. پرورش روی گیاه گوجه‌فرنگی رقم فرمونت^۱ در گلدان‌های پلاستیکی ۱۵
۳۰ سانتی‌متری حاوی بستر پیت-لوم استریل و در شرایط ایزوله از حشرات، با آبیاری منظم انجام گرفت. آزمایش‌ها تحت شرایط
۳۱ آزمایشگاهی دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (روشنایی: تاریکی) بود.

۳۲ حشره‌کش‌های مورد استفاده در تحقیق

¹ Firmont

- امامکتین بنزوات ۴/۸ درصد+ استامی پراید ۶/۴ درصد (EC 11.2%) ، تولید شرکت اریسان به شیمی البرز.
- آلفا-سایپرمتین با نام تجاری (SC 10% (Ruby 100) ، تولید شرکت بصیر شیمی تگروس (Tagros)

زیست سنجی

غلظت‌های توصیه شده روی برچسب حشره کش‌ها، بر اساس فرمولاسیون تجاری، برای حشره کش ترکیبی امامکتین بنزوات با استامی پراید و آلفا-سایپرمتین، به ترتیب ۱/۵ در هزار و ۲۰۰ سی سی در هزار بود و از این مقادیر به عنوان مبنایی برای تعیین دامنه غلظت‌ها در آزمون‌های مقدماتی استفاده شد. سپس، به منظور تعیین غلظت‌های مورد استفاده در آزمون اصلی، غلظت‌هایی با فواصل لگاریتمی بین حد بالا و پایین محاسبه و در زیست‌سنجی اصلی، برای تعیین مقادیر LC₂₅ و LC₅₀ به کار گرفته شد (Piri Ouchtape et al., 2024). پس از آن، داده‌های مربوطه با استفاده از تجزیه پروبیت (Finney, 1971) و به کمک نرم افزار SPSS محاسبه شد. بر این اساس، در آزمون اصلی برای هر یک از حشره کش‌های مورد مطالعه، پنج غلظت، به همراه تیمار شاهد، در نظر گرفته شد. روش زیست‌سنجی مورد استفاده، غوطه‌ور کردن برگ‌های گوجه‌فرنگی حاوی پوره‌های سن سوم در غلظت‌های مورد نظر بود (Kapantaidaki et al., 2015). بدین منظور، برگ‌های آلوده به پوره سن سوم انتخاب شدند و در هر برگ، ۱۵ پوره شمارش و حفظ شد و سایر پوره‌ها یا مراحل زیستی از روی برگ حذف شدند. سپس، برگ‌های حاوی پوره به مدت ۲۰ ثانیه در غلظت‌های مورد نظر غوطه‌ور شدند و پس از ۳۰ دقیقه، به منظور خشک شدن قطرات حشره کش، به پتری‌دیش‌های ۸ سانتی متری منتقل شدند و در اتاقک رشد همانند شرایط مشابه ذکر شده در بخش پیشین نگهداری شدند. برای حفظ رطوبت برگ در طول آزمایش، پنبه مرطوب به دور دمبرگ پیچیده شد. در این آزمایش، پوره‌هایی که خشک شده یا تغییر رنگ داده بودند، مرده تلقی شدند (Nikakhtar et al., 2022). میزان تلفات افراد تیمار شده ۲۴ ساعت پس از تیمار ثبت شد (Mahmoodi et al., 2020; Safavi & Bakhshaei, 2017). غلظت زیرکشنده LC₂₅ حشره کش‌ها نیز ۲۴ ساعت پس از تیمار محاسبه و مورد استفاده قرار گرفت. برای تیمار شاهد، برگ‌های گوجه‌فرنگی حاوی پوره‌های سن سوم در آب مقطر غوطه‌ور شدند. آزمایش‌های زیست‌سنجی در قالب طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار برای هر تیمار اجرا شدند.

اثرات زیرکشنده حشره کش‌های آلفا سایپرمتین و امامکتین بنزوات با استامی پراید بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه‌ای

به منظور بررسی اثرات زیرکشنده امامکتین بنزوات با استامی پراید و آلفا-سایپرمتین بر سفیدبالک گلخانه‌ای، پوره‌های سن سوم با غلظت زیرکشنده (LC₂₅) حشره کش‌های مذکور به روش غوطه‌وری برگ‌های آلوده گوجه‌فرنگی تیمار شدند. بدین منظور، ابتدا ۵۰ پوره سن سوم مستقر روی برگ انتخاب و برگ‌ها به مدت ۲۰ ثانیه در غلظت زیرکشنده غوطه‌ور شدند. پس از ظهور حشرات کامل، روی بوته‌های گوجه‌فرنگی رهاسازی شدند تا تخم‌ریزی انجام شود. سپس، ۵۰ تخم هم‌سن به عنوان جمعیت اولیه برای مطالعات جدول زندگی انتخاب شد. پس از تفریح تخم‌ها و ظهور پوره‌های سن اول، هر پوره به صورت انفرادی به ظروف پلاستیکی (با ارتفاع ۴ و قطر ۲ سانتی متر) حاوی برگ‌های گوجه‌فرنگی عاری از حشره کش منتقل شد. برای حفظ رطوبت برگ، پنبه مرطوب به دور دمبرگ پیچیده شد و برای تهویه، از توری استفاده گردید. پس از ظهور حشرات کامل نسل اول و تفکیک جنسیت آن‌ها (Shahbazvar et al., 2011; Gerling, 1990)، هر جفت در ظروف پلاستیکی (با ارتفاع ۴ و قطر ۲ سانتی متر) حاوی برگ گوجه‌فرنگی رهاسازی شد. در ادامه، میزان بقا و مرگومیر روزانه مراحل نابالغ، طول عمر حشرات کامل، طول دوره‌های پیش از تخم‌ریزی، تخم‌ریزی و پس از تخم‌ریزی، همچنین باروری

روزانه تا زمان مرگ تمامی افراد، به صورت روزانه ثبت شد. در طول مطالعات جدول زندگی، برگ‌های تازه و عاری از حشره کش هر ۳ تا ۴ روز یک‌بار جایگزین برگ‌های قدیمی شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه داده‌ها برای برآورد مقادیر مختلف LC با استفاده از روش پروبیت در نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد (SPSS, 2019). فراسنجه‌های جدول زندگی سفید بالک گلخانه‌ای بر اساس نظریه جدول زندگی سن-مرحله‌ای و دوجنسی و با استفاده از نرم‌افزار TWOSEX-MSChart تجزیه و تحلیل شدند (Chi & Liu, 1985; Chi, 1988; Chi, 2020a). میانگین، واریانس و خطای استاندارد فراسنجه‌های زیستی با استفاده از روش بوت‌استرپ و با ۱۰۰۰۰۰ بار نمونه‌برداری مجدد محاسبه شد. برای مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده، از آزمون بوت‌استرپ جفتی (Paired bootstrap) در نرم‌افزار TWOSEX-MSChart استفاده شد.

پیش‌بینی روند رشد جمعیت سفید بالک گلخانه‌ای در تیمارهای مختلف، طی یک دوره ۶۰ روزه، با استفاده از نرم‌افزار TIMING-MSChart انجام شد (Chi, 2021b). همچنین، رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot (Version 14.0) انجام شد.

نتایج

اثرات کشندگی و زیرکشندگی حشره‌کش‌های امامکتین بنزوات ۴/۸ درصد+ استامی پراید ۶/۴ درصد و آلفاسایپرمتترین روی پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه‌ای

تجزیه پروبیت حاصل از تاثیر غلظت‌های مختلف امامکتین بنزوات ۴/۸ درصد+ استامی پراید ۶/۴ درصد و آلفاسایپرمتترین بعد از ۲۴ ساعت روی پوره‌های پارازیت شده سفیدبالک گلخانه مطابق جدول ۱ حاصل گردید. با توجه به LC_{50} بدست آمده بعد از ۲۴ ساعت، نتایج نشان داد که آلفاسایپرمتترین دارای سمیت بیشتری نسبت به امامکتین بنزوات ۴/۸ درصد+ استامی پراید ۶/۴ درصد می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- اثر کشندگی (LC_{50}) امامکتین بنزوات ۴/۸٪+ استامی پراید ۶/۴٪ و آلفاسایپرمتترین بعد از ۲۴ ساعت روی پوره‌های سن سوم سفیدبالک گلخانه
Table 1- Lethal effect (LC_{50}) of emamectin benzoate 4.8%+acetamiprid 6.4% and alpha-cypermethrin after 24 hours on the third-instar nymphs of *Trialeurodes vaporariorum*

Insecticide	LC_{25} (ppm)	LC_{50} (ppm)	Slope±S.E.	χ^2 (df)	No.
emamectin benzoate- acetamiprid	0.343 (0.03-1.14)	10.472 (4.27-22.16)	0.454±0.079	1.607(3)	360
alpha-cypermethrin	0.359 (0.06-0.94)	8.601 (4.16-18.08)	0.489±0.078	1.504(3)	360

بررسی اثرات زیرکشندگی آلفاسایپرمتترین و امامکتین بنزوات+ استامی پراید بر سفیدبالک گلخانه
اثر حشره‌کش‌های آلفاسایپرمتترین و امامکتین بنزوات+ استامی پراید بر طول دوره زیستی مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه تجزیه‌ی آماری داده‌های مربوط به بررسی اثر دو حشره‌کش آلفاسایپرمتترین و امامکتین بنزوات+ استامی پراید روی طول دوره‌ی زیستی مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه در جدول ۲ نشان داده شده‌است. همان‌گونه که از مقایسه‌ی میانگین فراسنجه‌ها مشاهده می‌شود، حشره‌کش‌های آلفاسایپرمتترین و امامکتین بنزوات+ استامی پراید طول دوره‌ی تخم و پورگی را نسبت و شاهد افزایش داد. همچنین، بیشترین افزایش طول دوره شفیرگی نیز مربوط به حشره‌کش امامکتین بنزوات+ استامی پراید با $6/99 \pm 0/15$ روز می‌باشد. بیشترین و کمترین طول دوره مراحل نابالغ به ترتیب مربوط به تیمارهای آلفاسایپرمتترین و شاهد

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} آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات+استامی‌پراید تیمار شده بودند، نیز تحت تأثیر قرار گرفتند، بطوریکه حشره‌کش امامتین بنزوات+استامی‌پراید باعث بیشترین مرگ و میر افراد نابالغ نسبت به آلفاسایپرمترین و شاهد شد (جدول ۲).

جدول ۲- تأثیر غلظت زیرکشنده (LC_{25}) حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات+۴/۸٪ استامی‌پراید ۶/۴٪ بر طول دوره مراحل نابالغ و نرخ زنده‌مانی سفیدبالک گلخانه

Table 2. The sublethal concentrations (LC_{25}) effects of of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% insecticides on developmental time and survival rate of greenhouse whitefly.

Developmental stage (days)	emamectin benzoate-acetamiprid	alpha-cypermethrin	Control
Egg	7.63±0.12 ^b	10.66±0.09 ^a	6.51±0.09 ^c
N1	5.74±0.06 ^a	5.7±0.08 ^a	5.59±0.1 ^a
N2	6.24±0.1 ^{ab}	6.42±0.08 ^a	5.58±0.17 ^b
N3	6.16±0.11 ^a	5.39±0.07 ^b	5.93±0.08 ^a
N4	6.99±0.15 ^a	5.08±0.07 ^c	6.41±0.22 ^b
Pre-adult duration	32.51±0.2 ^b	33.14±0.14 ^a	30.43±0.22 ^c
Survival rate of immature stages	0.63±0.033 ^b	0.80±0.03 ^a	0.86±0.03 ^a

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

طول دوره‌ی مراحل تخم‌گذاری و باروری سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت زیرکشنده‌ی حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات+استامی‌پراید

نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر حشرات کامل مربوط به نسل اول که والدین آن‌ها با غلظت LC_{25} آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات+استامی‌پراید تیمار شده بودند نیز تحت تأثیر قرار گرفته و منجر به کاهش این فراسنجه‌ها نسبت به شاهد گردید، کاهش این فراسنجه در تیمار آلفاسایپرمترین نسبت به امامتین بنزوات+استامی‌پراید بیشتر بود (جدول ۳). تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به بررسی طول دوره‌ی پیش از تخم‌گذاری^۲، کل دوره‌ی پیش از تخم‌گذاری^۳، باروری و طول دوره‌ی تخم‌گذاری سفیدبالک تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که استفاده از حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات+استامی‌پراید نه تنها باعث تأخیر حشرات کامل F_1 در ورود به مرحله پیش از تخم‌گذاری شدند، بلکه طول دوره تخم‌ریزی در آن‌ها نیز کاهش یافته ($P<0.05$) که نتیجه آن با کاهش میزان باروری همراه بود.

نتایج مربوط به میزان باروری حشرات کامل F_1 بیانگر تأثیر غلظت زیرکشنده بود به طوریکه ماده‌های حاصل از نسل اول تیمار شده با آلفاسایپرمترین ($3/09 \pm 0/41$)، امامتین بنزوات+استامی‌پراید ($3/62 \pm 0/28$) و شاهد ($7/79 \pm 0/52$) نتاج در طول عمر داشتند (جدول ۳).

²APOP: adult pre oviposition period

³ TPOP: total pre oviposition period

جدول ۳- تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات ۴/۸٪+ استامپی‌پراید ۶/۴٪ بر طول عمر حشرات کامل، باروری و طول دوره تخم ریزی سفیدبالک گلخانه

Table 3. The sublethal concentrations effect of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% insecticides on adult longevity, fecundity, and reproductive days of greenhouse whitefly.

Biological stage (days)	Treatments		
	emamectin benzoate-acetamiprid	alpha-cypermethrin	Control
Longevity (male)	2.59±0.31 ^b	2.27±0.31 ^b	4.38±0.32 ^a
Lifespan (male)	35.27±0.49 ^a	35.98±0.39 ^a	34.88±0.44 ^a
Longevity (female)	3.11±0.24 ^b	2.75±0.17 ^b	4.33±0.22 ^a
Lifespan (female)	35.47±0.38 ^{ab}	35.56±0.21 ^a	34.71±0.29 ^b
APOP	1.38±0.17 ^a	1.44±0.14 ^a	0.71±0.09 ^b
TPOP	33.91±0.35 ^a	34.09±0.18 ^a	31.1±0.33 ^b
Oviposition period	1.59±0.12 ^b	1.62±0.13 ^b	3.06±0.18 ^a
Fecundity (eggs/female)	3.62±0.28 ^b	3.09±0.41 ^b	7.79±0.53 ^a

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.

فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات+استامپی‌پراید

نتایج مقایسه‌ی میانگین فراسنجه‌های رشد جمعیت سفیدبالک گلخانه در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان نرخ خالص تولیدمثلی (R_0) از (۰/۵۲) نتاج /نسل) تا (۴/۰۰۹) نتاج /نسل) به ترتیب در تیمارهای امامتین بنزوات+استامپی‌پراید و شاهد متغیر بود، که حاکی از تأثیر منفی بیشتر این تیمار نسبت به شاهد می‌باشد، اگرچه اختلاف معنی داری بین تیمار حشره‌کش‌ها (در تیمار آلفاسایپرمترین ۰/۷۸ نتاج /نسل) از نظر نرخ خالص تولیدمثلی وجود نداشت. مقدار فراسنجه‌ی نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) 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 (۰/۰۴۱۶ بر روز) به دست آمد (جدول ۴)، بیشترین و کمترین مدت زمان یک نسل (T) به ترتیب مربوط به تیمارهای آلفاسایپرمترین (۳۵/۳۶ روز) و شاهد (۳۳/۳۱ روز) ثبت گردید. بر اساس نتایج به‌دست آمده حشره‌کش آلفاسایپرمترین باعث افزایش معنی‌داری در مقدار این فراسنجه نسبت به شاهد شد (جدول ۴).

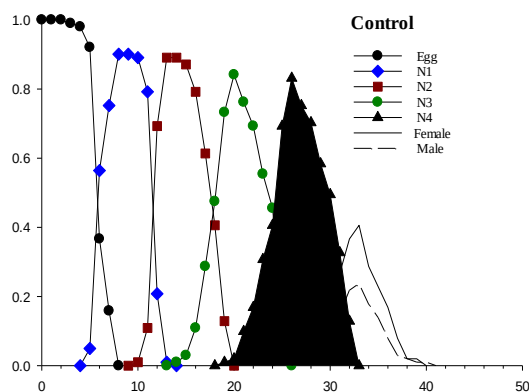
جدول ۴- تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات ۴/۸٪+استامپی‌پراید ۶/۴٪ بر فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه.

Table 4. The sublethal concentration (LC₂₅) effects of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% insecticides on population growth parameters of the greenhouse whitefly.

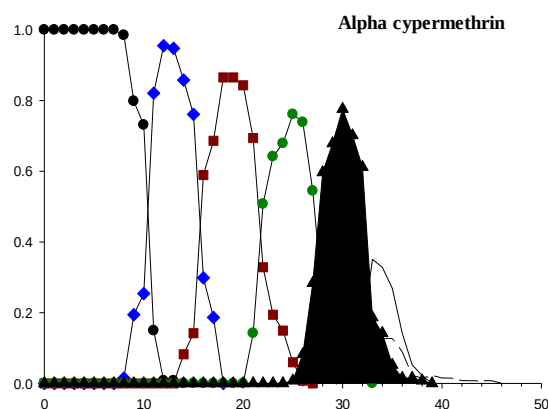
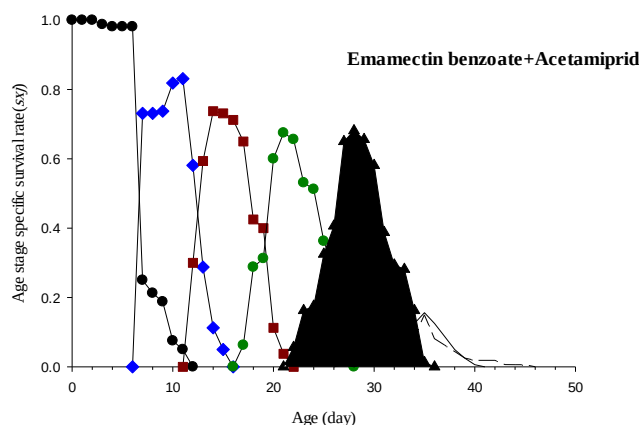
Population parameters	Treatment (mean ± standard error)		
	emamectin benzoate-acetamiprid	alpha-cypermethrin	Control

Net reproductive rate (R_0) (offspring/generation)	0.52 ± 0.09^b	0.78 ± 0.15^b	4.009 ± 0.47^a
Gross reproductive rate (GRR) (offspring/generation)	1.99 ± 0.7^b	2.35 ± 0.8^b	9.65 ± 1.4^a
Intrinsic rate of increase (r) (day^{-1})	-0.0184 ± 0.005^b	-0.0068 ± 0.005^b	0.0416 ± 0.003^a
Finite rate of population increase (λ) (day^{-1})	0.98 ± 0.005^b	0.99 ± 0.005^b	1.04 ± 0.003^a
Mean generation time (T) (day)	35.01 ± 0.4^a	35.36 ± 0.70^a	33.31 ± 0.38^b

- 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.
- ۱ اثرات زیرکشنده‌گی حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات+استامی‌پراید بر نرخ زنده‌مانی، زادآوری ناخالص،
 ۲ زادآوری خالص، امید به زندگی و نرخ تولیدمثلی ویژه سنی سفیدبالک گلخانه
 ۳ نرخ بقای ویژه سن - مرحله رشدی (s_{xj})^۴
 ۴ نرخ زنده‌مانی ویژه سن - مرحله زیستی سفیدبالک گلخانه (s_{xj}) تحت تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و
 ۵ امامکتین بنزوات+استامی‌پراید در شکل ۱ ارائه شده است. این فراسنجه علاوه بر توصیف نرخ زنده‌مانی، روند تغییرات نرخ
 ۶ 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
 ۷ نمو انطباق دهیم. در حقیقت تفکیک نرخ زنده‌مانی به مراحل مختلف زیستی از جمله ویژگی‌های استفاده از آنالیز جدول زندگی
 ۸ دو جنسی ویژه سن - مرحله زیستی می‌باشد که در روش‌های سنتی تجزیه داده‌های جدول زندگی وجود ندارد. نتایج حاکی از
 ۹ آن است که نرخ بقای ویژه سنی سفیدبالک گلخانه در زمان ورود به مرحله حشره کامل ماده، با شاهد (۸۶ درصد) و تیمارهای
 ۱۰ آلفاسایپرمترین (۸۰ درصد) و امامکتین بنزوات+استامی‌پراید (۶۳ درصد) بود. به‌طوری‌که کاهش میزان نرخ بقای مرحله‌ی
 ۱۱ ماده‌ی بالغ در غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد مشاهده گردید (شکل ۱).
 ۱۲



⁴ Age stage specific survival rate



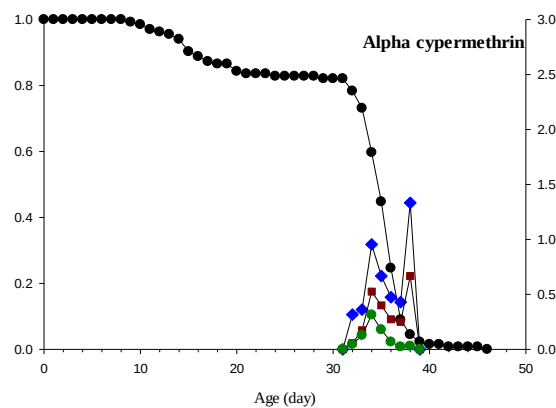
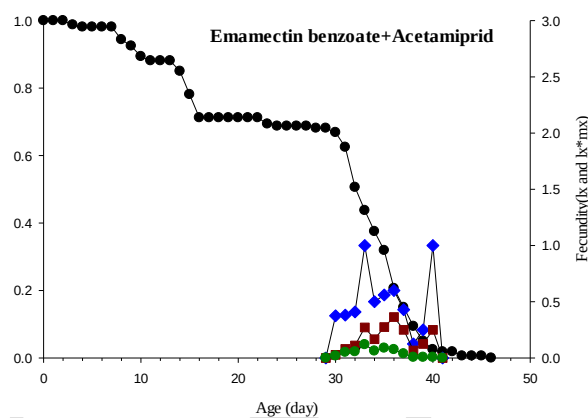
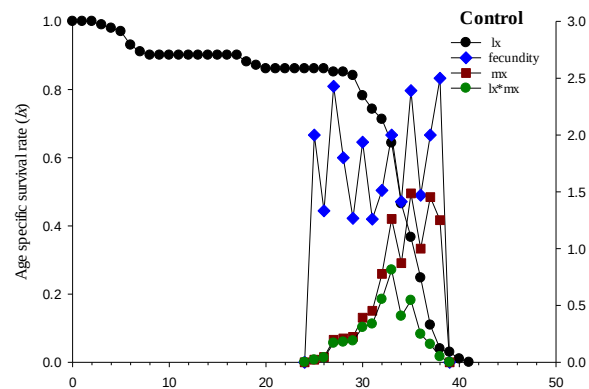
شکل ۱- اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات ۴/۸٪+ استامی‌پراید ۶/۴٪ بر نرخ بقا ویژه سن-مرحله‌ای (SXj) سفیدبالک

گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Figure 1- Sublethal effects of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% on age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

نرخ بقا ویژه سنی (l_x)، زادآوری ناخالص ویژه سنی (m_x) و زادآوری خالص ویژه سنی ($l_x m_x$)

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 امامتین بنزوات+ استامی‌پراید و آلفاسایپرمترین قرار گرفتند، با تاخیر وارد مرحله تولیدمثلی شدند (به ترتیب ۱/۳۸ و ۱/۴۴ 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 (۰/۷۱ روز عمر) شدند. نرخ باروری ویژه سن-مرحله رشدی در حشرات ماده (نمف ۱/۴۶) و باروری ویژه سنی حشرات بالغ (نتاج ۱/۸۱) در شاهد نسبت به تیمار حشره‌کش‌ها بیشترین میزان را داشت. کمترین باروری ویژه سنی حشرات بالغ در تیمار امامتین بنزوات+ استامی‌پراید (نتاج ۰/۱۱) در روز عمر بوده است (شکل ۲).



شکل ۲- اثرات زیرکشنده حشره کش‌های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات ۴/۸٪+ استامی‌پراید ۶/۴٪ بر زنده‌مانی ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سن- مرحله‌ای (m_x) و باروری خالص روزانه ($l_x m_x$) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

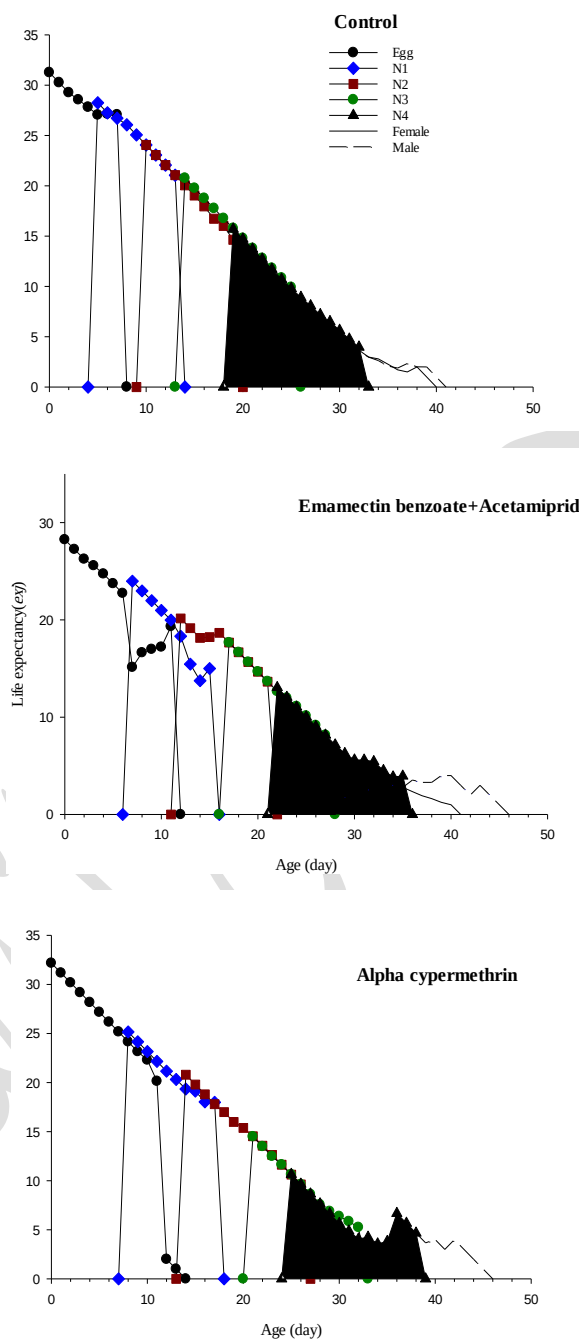
Figure 2- Sublethal effects of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% on age-specific survival (l_x), age-stage specific fertility (m_x) and age-specific fertility ($l_x m_x$) of *Trialeurodes vaporariorum*

امید به زندگی ویژه سن- مرحله رشدی (e_{xj})^۵

امید به زندگی ویژه سن- مرحله‌ای (e_{xj}) طول عمر پیش‌بینی‌شده سفیدبالک در معرض غلظت زیرکشنده‌ی حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات+استامی‌پراید را نشان می‌دهد (شکل ۳-۴). در شاهد اولین فرد ماده ۶/۰۶ روز امید به

⁵Age-stage life expectancy

زندگی داشت، در حالی که در غلظت زیرکشنده حشره کش‌های امامکتین بنزوات+استامی‌پراید و آلفاسایپرمتترین روند نزولی داشته و به ترتیب به ۴/۷۶ و ۳/۰۶ روز کاهش یافت.



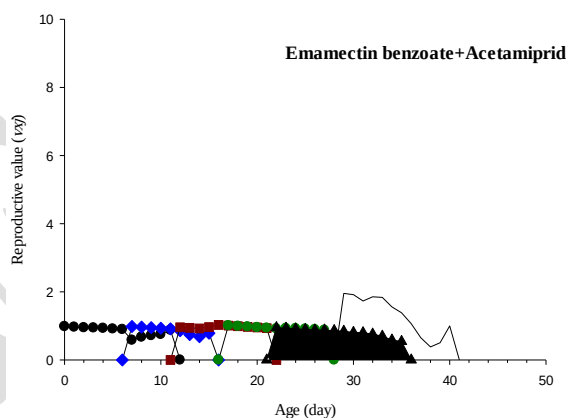
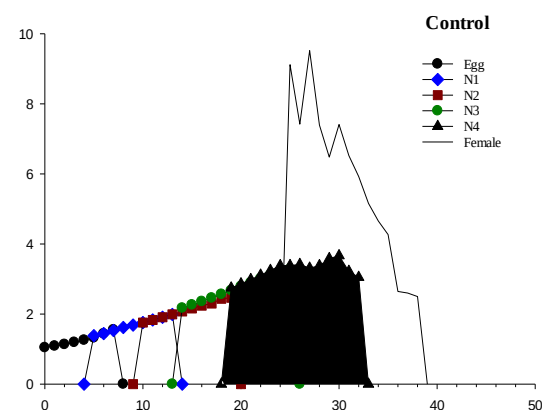
شکل ۳- اثرات زیرکشنده حشره کش‌های آلفاسایپرمتترین و امامکتین بنزوات ۴/۸٪+ استامی‌پراید ۶/۴٪ بر امید به زندگی سن- مرحله‌ای (e_{xj}) سفیدبالک گلخانه

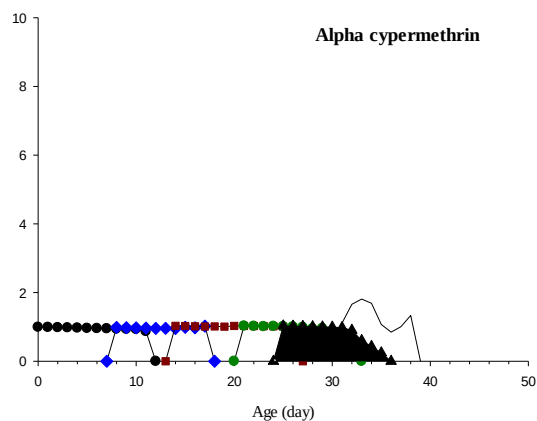
Trialeurodes vaporariorum

Figure 3- Sublethal effects of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% on life expectancy (e_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

ارزش تولیدمثلی ویژه سن- مرحله رشدی (v_{xj})

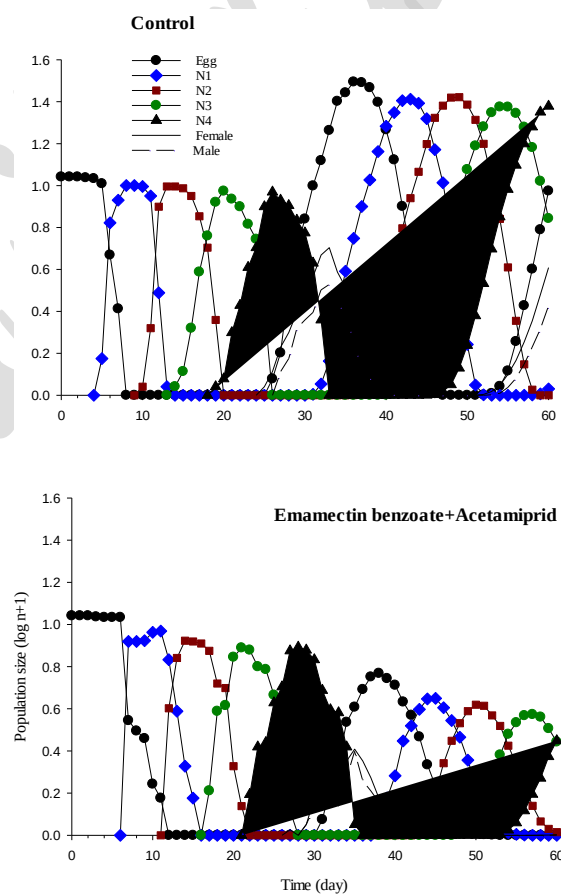
۱ شاخص ارزش تولیدمثل ویژه سن-مرحله رشدی (V_{xj}) میزان سهم هر فرد در ایجاد نسل بعد می‌باشد (شکل ۴-۴). ارزش
 ۲ تولیدمثلی در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش داشته و تحت تأثیر حشره‌کش قرار گرفت. ارزش
 ۳ تولیدمثلی مراحل نابالغ نیز در تیمار زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. با کاهش میزان باروری و زنده‌مانی، به تدریج
 ۴ 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
 ۵ آمده، ارزش تولیدمثلی در ماده‌ها در شاهد ۹/۵۲ تخم و در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های امامکتین-
 ۶ بنزوات+استامی‌پراید و اسپیرومسیفن نسبت به شاهد کاهش یافته و به ترتیب به مقادیر ۱/۹۵ و ۱/۸۰ تخم رسید که کاهش
 ۷ چشم‌گیری را نشان داد.

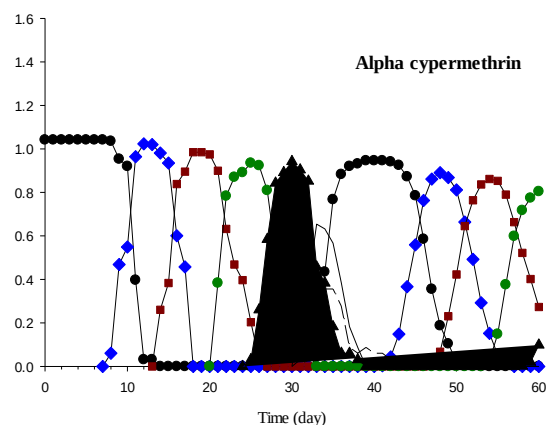




شکل ۴- اثرات زیرکشنده حشره کش های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات ۴/۸٪+ استامی پراید ۶/۴٪ بر ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحله ای (vxj) سفیدبالک گلخانه
Trialeurodes vaporariorum
 Figure 4- Sublethal effects of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% on age-stage-specific reproductive value (vxj) of *Trialeurodes vaporariorum*

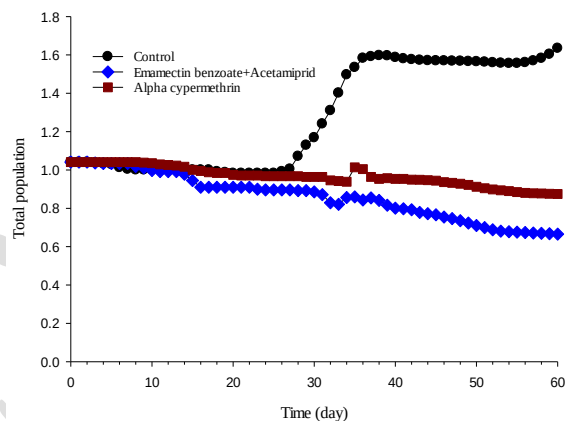
روند رشد جمعیت سفیدبالک گلخانه در غلظت های زیرکشنده حشره کش های آلفاسایپرمترین و امامتین بنزوات+استامی پراید





شکل ۵- پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار مرحله سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* تیمار شده با غلظت زیرکشنده (LC₂₅) حشره‌کش‌های لفسایپیرمترین و امامتین بنزوات ۴/۸٪+ استامی‌پراید ۶/۴٪ در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز

Figure 5- Projection of population growth potential and stage structure of *Trialeurodes vaporariorum* treated with LC₂₅ of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% in comparison with control during 60 days



شکل ۶- رشد جمعیت کل سفیدبالک گلخانه تیمار شده با غلظت زیرکشنده (LC₂₅) حشره‌کش‌های لفسایپیرمترین و امامتین بنزوات ۴/۸٪+ استامی‌پراید ۶/۴٪ در مقایسه با تیمار شاهد در طول ۶۰ روز

Figure 6- Population projection of *Trialeurodes vaporariorum* (total stage) treated with LC₂₅ of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate 4.8% + acetamiprid 6.4% in comparison to control treatment during 60 days

بحث

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که هر دو ترکیب مورد بررسی، شامل امامتین بنزوات + استامی‌پراید و آلفاسایپیرمترین، اثرات قابل توجهی بر بقا، رشد و توان تولیدمثلی سفیدبالک گلخانه‌ای داشتند. در مطالعه حاضر، برآورد مقادیر LC₅₀ نشان داد که ترکیب آلفاسایپیرمترین سمیت بیشتری نسبت به امامتین بنزوات + استامی‌پراید داشت. تفاوت در مکانیسم‌های عمل حشره‌کش‌های مورد مطالعه می‌تواند دلیل تفاوت در سطح سمیت و اثرات زیرکشنده مشاهده‌شده باشد (Chen et al., 2025; Mokbel & Huesien, 2020). به‌طوری‌که امامتین بنزوات، به‌عنوان یک آورمکتین، از طریق فعال‌سازی کانال‌های کالر وابسته به گلوتامات موجب فلج عصبی و توقف تغذیه می‌شود، در حالی که

استامی پراید، به عنوان یک نئونیکوتینوئید، با گیرنده‌های نیکوتینی استیل کولین در سیستم عصبی مرکزی تداخل دارد. در مقابل، آلفاسایپرمترین، به عنوان یک پایرتروئید، با اختلال در کانال‌های سدیمی وابسته به ولتاژ موجب تحریک مداوم عصبی می‌شود. چنین الگوهایی پیش‌تر نیز در مطالعات مختلف گزارش شده‌اند؛ به طوری که نشان داده شده است ترکیبات نئونیکوتینوئیدی و پایرتروئیدی می‌توانند سمیت متفاوتی در مراحل نابالغ و بالغ ایجاد کنند و این تفاوت می‌تواند ناشی از تغییر در نفوذپذیری کوتیکول و فعالیت آنزیم‌های سم‌زدایی باشد (Zhang et al., 2014; Khan et al., 2021). این نتایج با یافته‌های صفوی و بخشایی (Safavi & Bakhshaei, 2017) که نشان دادند پوره‌های سفیدبالک گلخانه نسبت به تخم و حشرات کامل حساسیت بیشتری به حشره‌کش کالیپسو (تیاکلوپراید) دارند، همسو است. همچنین، پژوهش‌های ابن‌عباسی و همکاران (Ebneabbasi et al., 2023) نشان داد که حشره‌کش تیوسیکللام هیدروژن اکسالات (LC₅₀: 175.327 ppm) بر روی تخم‌های مینوز گوجه‌فرنگی سمیت بیشتری نسبت به فلوبن‌دیامید (LC₅₀: 219.759 ppm) دارد که نشان‌دهنده تفاوت در حساسیت مراحل رشدی و گونه‌های مختلف حشرات به حشره‌کش‌ها است. مقایسه نتایج زیست‌سنجی پژوهش حاضر با مطالعه‌ی عبدالله‌زاده و همکاران (Abdollahzadeh-Bovani et al., 2025) که LC₅₀ تیوسیکللام هیدروژن اکسالات (۳۹۲/۶۲۷ ppm) و اسپیرومسیفن (۸۵۴/۸۷۱ ppm) را روی پوره‌های سن سوم سفیدبالک گزارش کردند، نشان می‌دهد که آلفاسایپرمترین و ترکیب امامکتین بنزوات + استامی پراید به مراتب سمیت بیشتری نسبت به این حشره‌کش‌ها دارند. این تفاوت در سمیت را می‌توان به ساختار شیمیایی، مکانیسم اثر و نحوه نفوذ حشره‌کش‌ها در بدن حشره نسبت داد (Casida & Durkin, 2013; Teixeira et al., 2022). بررسی اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های مورد مطالعه بر ویژگی‌های زیستی سفیدبالک گلخانه نشان داد که هر دو غلظت زیرکشنده (LC₂₅) باعث افزایش معنی‌دار طول دوره رشد مراحل نابالغ (تخم و پورگی) در مقایسه با شاهد شدند. این تأخیر در رشد و نمو، که یکی از اثرات شایع غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها محسوب می‌شود، با نتایج مطالعات پیشین همسو است. نیک‌اختر و همکاران (Nikakhtar et al., 2022) نیز افزایش طول دوره مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه را در تیمار با غلظت‌های زیرکشنده فرمولاسیون‌های مختلف چریش (نیم‌آزال، نیم‌بسدین و کופا) گزارش کردند. همچنین، عبدالله‌زاده و همکاران (Abdollahzadeh-Bovani et al., 2025) نشان دادند که تیوسیکللام هیدروژن اکسالات به‌طور معنی‌داری طول دوره پیش از بلوغ سفیدبالک *T. vaporariorum* را نسبت به شاهد افزایش می‌دهد. در مطالعه‌ی دادرس و همکاران (Dadras et al., 2025) نیز مشخص شد که غلظت زیرکشنده تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین باعث افزایش طول دوره مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه می‌شود. افزایش طول دوره رشدی نه تنها بقا و باروری حشره آفت را تحت تأثیر قرار داده و منجر به افزایش طول دوره رشدی و نهایتاً کاهش نرخ رشد می‌شود، بلکه در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند پوست‌اندازی، کاهش کارایی آنزیم‌های گوارشی و یا مهار سنتز پروتئین‌های ضروری نیز اختلا ایجاد می‌کند (Bezzar-Bendjazia et al., 2017). در پژوهش حاضر، ترکیب امامکتین بنزوات + استامی پراید تأثیر بیشتری بر طولانی‌تر کردن دوره رشدی داشت که احتمالاً به دلیل مکانیسم دوگانه اثر این ترکیب و تأثیر هم‌افزای آن بر سیستم عصبی و فیزیولوژی حشره است. حشره‌کش امامکتین بنزوات با تأثیر بر سیستم عصبی و ایجاد فلج، و استامی پراید با اختلال در انتقال پیام‌های عصبی، به‌طور هم‌زمان می‌توانند فرآیندهای رشد و نمو را به تأخیر بیندازند. یکی از مهم‌ترین یافته‌های این تحقیق، کاهش چشمگیر باروری و طول دوره تخم‌گذاری در حشرات کامل حاصل از پوره‌های تیمار شده با غلظت‌های زیرکشنده بود. هر دو تیمار باعث کاهش معنی‌دار تعداد تخم‌های تولیدی توسط هر ماده در مقایسه با شاهد شدند. این نتیجه با یافته‌های ابن‌عباسی و همکاران (Ebneabbasi et al., 2023) در مورد اثرات زیرکشنده تیوسیکللام و فلوبن‌دیامید بر مینوز گوجه‌فرنگی و همچنین نتایج عبدالله‌زاده و همکاران (Abdollahzadeh-Bovani et al., 2025) در مورد اثرات زیرکشنده

(*al., 2025*) و دادرس و همکاران (*Dadras et al., 2025*) روی سفیدبالک گلخانه مطابقت دارد. به طور مثال، عبدالهزاده و همکاران نشان دادند که باروری سفیدبالک گلخانه از ۱۱/۸۵ تخم به ازای هر ماده در شاهد به ۱/۷۰ تخم در تیمار تیوسیکلام هیدروژن اکسلات کاهش یافت. در مطالعه‌ی حاضر نیز ترکیب امامکتین بنزوات + استامی‌پراید باعث کاهش شدید باروری گردید که با نتایج رجبی و همکاران (*Rajabi et al., 2023*) روی شته جالیز *Aphis gossypii* با حشره‌کش امامکتین بنزوات + استامی‌پراید همخوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که باروری شته جالیز از ۳۹/۴۸ پوره به ازای هر ماده در شاهد به ۱۰/۴۳ پوره در تیمار LC₃₀ کاهش یافت. کاهش باروری می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله کاهش ذخایر انرژی (*Sadeghinasab et al., 2021*)، اختلال در سیستم غدد درون‌ریز و کاهش تحرک و جفت‌گیری حشرات بالغ باشد (*Samietz & Kohler, 2012; Smykai & Raikhel, 2015*). نکته حائز اهمیت، عدم تحریک تولیدمثلی (*Hormesis*) در پاسخ به غلظت‌های زیرکشنده در این تحقیق است. بر خلاف برخی مطالعات که نشان داده‌اند غلظت‌های پایین آفت‌کش‌ها می‌توانند منجر به افزایش باروری و طغیان آفت شوند (*Desneux et al., 2007; Haddi et al., 2017, Mahdavi et al., 2025*)، نتایج ما نشان می‌دهد که هر دو حشره‌کش به ویژه ترکیب، دارای پتانسیل سرکوب جمعیت سفیدبالک حتی در غلظت‌های زیرکشنده هستند. این ویژگی می‌تواند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات بسیار ارزشمند باشد، چرا که از بروز طغیان‌های ثانویه جلوگیری می‌کند.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش حاضر، کاهش معنی‌دار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) (مهمترین فراسنجه جدول زندگی) پس از تیمار سفیدبالک گلخانه‌ای (*T. vaporariorum*) با غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد بررسی بود. این نتایج نشان می‌دهد که ارزیابی اثر حشره‌کش‌ها تنها بر اساس مرگ‌ومیر مستقیم، نمی‌تواند کارایی واقعی آن‌ها را در کنترل جمعیت آفت نشان دهد، زیرا افراد بازمانده نیز از نظر رشد، بقا و توان تولیدمثلی دچار کاهش قابل توجه می‌شوند. این دیدگاه با مطالعات مروری اخیر درباره کاربرد جدول زندگی در ارزیابی اثرات زیرکشنده کاملاً همخوانی دارد (*Chi, 2020; Chen et al., 2025*).

در این مطالعه، ترکیب تلفیقی امامکتین بنزوات + استامی‌پراید با پایین‌ترین میزان (r) و (R_0) مؤثرترین تیمار در کاهش رشد جمعیت آفت بود. کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کاهش شایستگی زیستی جمعیت محسوب می‌شود. این فراسنجه بیانگر ظرفیت بالقوه افزایش جمعیت در شرایط مطلوب است و حتی تغییرات اندک در آن می‌تواند طی چند نسل، اختلاف قابل توجهی در اندازه نهایی جمعیت ایجاد کند (*Chi, 2020*). مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) در شاهد ۰/۱۶۲ (بر روز) بود که در تیمارهای آلفاسایپرمتترین و ترکیب تلفیقی به ترتیب به ۰/۰۹۶ و ۰/۰۷۲ (بر روز) کاهش یافت. کاهش r مشاهده‌شده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که افراد بازمانده پس از مواجهه با غلظت‌های زیرکشنده، اگرچه ممکن است زنده بمانند، اما توانایی آن‌ها برای مشارکت در رشد جمعیت به طور محسوسی کاهش یافته است. در مطالعه (*Khan et al., 2021*) نیز که روی کنه قرمز مرکبات (*Panonychus citri*) انجام شد، غلظت‌های زیرکشنده امامکتین بنزوات موجب کاهش r ، R_0 ، λ و افزایش میانگین طول نسل شدند. نویسندگان این تغییرات را ناشی از اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک و کاهش توان تولیدمثلی افراد بازمانده دانستند. شباهت این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که اثرات زیرکشنده امامکتین بنزوات احتمالاً مستقل از گونه بوده و در گروه‌های مختلف بندپایان مشاهده می‌شود. این نتایج با پژوهش‌های رشادت‌سالوانق و همکاران (*Reshadat-Salvanagh et al., 2024*) که تأثیر مخرب فلونیکامید را بر فراسنجه‌های جمعیتی سفیدبالک گزارش کردند، و همچنین با نتایج صفوی و بخشایی (*Safavi & Bakhshaei, 2017*) در مورد کاهش (r) و (λ) سفیدبالک در تیمار با کالیپسو، همخوانی دارد. در مطالعه‌ی دادرس و همکاران (*Dadras*

et al., 2025) نیز مشخص شد که غلظت زیرکشنده تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین باعث کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت سفیدبالک از ۰/۰۶۸ بر روز در شاهد به ۰/۰۲۸ بر روز در تیمار می شود. از دیدگاه مدیریت آفات، کاهش همزمان r ، R_0 و λ اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا این فراسنجه‌ها مستقیماً با سرعت بازسازی جمعیت در مزرعه مرتبط هستند. در شرایط گلخانه، که سفید بالک گلخانه‌ای دارای نسل‌های متعدد و نرخ رشد بالایی است، حتی کاهش محدود این شاخص‌ها نیز می‌تواند طی چند نسل موجب کاهش چشمگیر جمعیت آفت شده و نیاز به دفعات مکرر سم‌پاشی را کاهش دهد. این موضوع اهمیت ارزیابی اثرات زیرکشنده را در طراحی برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات (IPM) دوچندان می‌کند. افزایش مدت زمان یک نسل (T) در تیمارهای زیرکشنده نیز نشان‌دهنده کُند شدن چرخه زندگی آفت است که خود می‌تواند به کاهش تعداد نسل‌ها در سال و در نتیجه کاهش خسارت در درازمدت منجر شود. اثر قابل توجه ترکیب تلفیقی را می‌توان به عملکرد سیستمیک استامی‌پراید و اثرات کشندگی تماسی و گوارشی قوی امامکتین بنزوات نسبت داد که به طور هم‌زمان بر مراحل مختلف زیستی آفت تأثیر می‌گذارند.

در پژوهش حاضر، منحنی‌های S_{xj} نشان دادند که احتمال بقای افراد تیمار شده در بیشتر مراحل زندگی کمتر از تیمار شاهد بود. کاهش احتمال بقا بیانگر آن است که اگرچه بخشی از افراد در غلظت‌های زیرکشنده زنده می‌مانند، اما توانایی آن‌ها برای عبور موفق از مراحل مختلف رشد کاهش می‌یابد. این یافته با نتایج مطالعات انجام‌شده روی *Bemisia T. vaporariorum* و *tabaci* و سایر آفات همخوانی دارد که گزارش کرده‌اند حشره‌کش‌ها در غلظت‌های زیرکشنده می‌توانند، بدون ایجاد مرگ‌ومیر فوری، احتمال بقا در مراحل بعدی رشد را کاهش دهند و در نتیجه ساختار سنی جمعیت را تغییر دهند (Jafarbeigi et al., 2014; Bagheri et al., 2022; Chen et al., 2025).

کاهش امید به زندگی (e_{xj}) در افراد تیمار شده نیز یکی دیگر از یافته‌های مهم مطالعه حاضر بود. از دیدگاه اکولوژیک، e_{xj} بیانگر تعداد روزهایی است که انتظار می‌رود یک فرد در هر مرحله از رشد زنده بماند. کاهش این شاخص نشان می‌دهد که حتی افرادی که از اثر کشندگی اولیه زنده می‌مانند عمر مورد انتظار کمتری دارند و در نتیجه فرصت محدودتری برای تغذیه، جفت‌گیری و تولیدمثل خواهند داشت. نتایج مشابهی توسط Khan و همکاران (۲۰۲۱) در کنه قرمز مرکبات (*Panonychus citri*) و Wang و همکاران (۲۰۲۵) در شته برگ یولاف *Rhopalosiphum padi* گزارش شده است؛ به‌طوری‌که هر دو مطالعه کاهش معنی‌دار e_{xj} را پس از مواجهه با غلظت‌های زیرکشنده امامکتین بنزوات و استامی‌پراید مشاهده کردند. از سوی دیگر، کاهش ارزش تولیدمثلی (v_{xj}) در پژوهش حاضر نشان داد که سهم افراد بازمانده در تولید نسل‌های آینده کاهش یافته است. این شاخص یکی از مهم‌ترین فراسنجه‌های جدول زندگی محسوب می‌شود، زیرا علاوه بر بقا، توان بالقوه هر فرد را برای مشارکت در رشد نسل‌های بعد نیز در نظر می‌گیرد. کاهش v_{xj} معمولاً حاصل کاهش هم‌زمان باروری، کوتاه شدن طول عمر و اختلال در فرایند بلوغ جنسی است. بنابراین، کاهش این شاخص در مطالعه حاضر بیانگر آن است که اثر واقعی حشره‌کش‌ها فراتر از مرگ‌ومیر مستقیم بوده و به کاهش شایستگی زیستی افراد بازمانده منجر شده است (Chi, 2020; Chen et al., 2025). از دیدگاه کاربردی، نتایج مربوط به S_{xj} ، e_{xj} و v_{xj} اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات (IPM) دارند. اگرچه در بسیاری از برنامه‌های کنترل شیمیایی، تنها مرگ‌ومیر اولیه ملاک ارزیابی قرار می‌گیرد، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کاهش بقا، امید به زندگی و ارزش تولیدمثلی می‌تواند اثر قابل توجهی بر روند رشد نسل‌های آینده داشته باشد. بنابراین، استفاده از شاخص‌های جدول زندگی، در کنار آزمون‌های سمیت حاد، امکان برآورد دقیق‌تر کارایی واقعی حشره‌کش‌ها را فراهم می‌کند و می‌تواند در انتخاب ترکیبات مؤثرتر و همچنین طراحی راهبردهای مدیریت مقاومت نقش مهمی ایفا کند (Chi, 2020; Chen et al., 2025).

پیش‌بینی روند جمعیت (Population Projection) برای یک دوره ۶۰ روزه، تأثیر مخرب غلظت‌های زیرکشنده را به وضوح نشان داد. در حالی که جمعیت شاهد با سرعت بالایی رشد می‌کرد، جمعیت‌های تیمار شده با حشره‌کش‌ها، به ویژه ترکیب، با نرخ رشد بسیار کمتری مواجه شدند. این یافته با نتایج عبداله‌زاده و همکاران (Abdollahzadeh-Bovani et al., 2025) و دادرس و همکاران (Dadras et al., 2025) که کاهش معنی‌دار سرعت رشد جمعیت را در تیمارهای زیرکشنده روی مینوز و سفیدبالک گلخانه نشان دادند، مطابقت دارد. این یافته تأکید می‌کند که استفاده از حشره‌کش‌ها، حتی در غلظت‌های پایین‌تر از دوز توصیه‌شده مزرعه‌ای، می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر در مدیریت پایدار و کاهش وابستگی به آفت‌کش‌ها با دوز بالا مورد استفاده قرار گیرد. کاهش سرعت رشد جمعیت در تیمارهای زیرکشنده نشان‌دهنده کاهش پتانسیل تهاجمی آفت و افزایش کارایی سایر روش‌های کنترل مانند دشمنان طبیعی در بلندمدت است (Stark & Banks, 2003).

در مجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اگرچه آلفاسایپرمترین دارای سمیت حاد بالاتری است، اما ترکیب امامکتن بنزوات + استامی‌پراید با اعمال اثرات زیرکشنده عمیق‌تر و پایدارتر بر فراسنجه‌های زیستی و تولیدمثلی، نقش مؤثرتری در کاهش پتانسیل رشد جمعیت سفیدبالک گلخانه ایفا می‌کند. به‌طوری‌که ترکیب امامکتن بنزوات + استامی‌پراید با کاهش شدید باروری، افزایش طول دوره رشد و کاهش فراسنجه‌های رشد جمعیت، می‌تواند به عنوان گزینه‌ای کارآمد در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات، به ویژه در محیط‌های گلخانه‌ای که جمعیت آفت در طول سال فعال است، مدنظر قرار گیرد. استفاده از شاخص‌های جدول زندگی در کنار آزمون‌های کلاسیک سمیت، نه تنها امکان مقایسه دقیق‌تر ترکیبات مختلف را فراهم می‌کند، بلکه می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای طراحی برنامه‌های پایدار مدیریت سفیدبالک گلخانه‌ای و کاهش خطر بروز مقاومت به حشره‌کش‌ها باشد.

References

- Abdollahzadeh, M., Mehrkhou, F., & Fourouzan, M. (2025). Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate & spiromesifen, on life table and population projection of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 39 (2), 133-152. <https://doi.org/10.22067/jpp.2025.91258.1214>
- Bagheri, M. R., Hassanpour, M., Golizadeh, A. L. I., & Farrokhi, S. (2022). Biological and age–stage, two-sex life table parameters of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hem., Aleyrodidae) on three important greenhouse crops. *Journal of Entomological Society of Iran*, 42(2), 157-171. <https://doi.org/10.52547/jesi.42.2.4>
- Bartling, M. T., Brandt, A., Hollert, H., & Vilcinskis, A. (2024). Current insights into sublethal effects of pesticides on insects. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11), 6007; <https://doi.org/10.3390/ijms25116007>
- Bayramzadeh, N., Mehrkhou, F., Pourmirza, A. A., & Mahmoudian, M. (2019). Fumigant toxicity of two nano-capsulated essential oils with sublethal rate of phosphine against three stored-product pests. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(4), 857–872.
- Bendis, R. J., & Relyea, R. A. (2016). If you see one, have you seen them all Community-wide effects of insecticide cross-resistance in zooplankton populations near and far from agriculture. *Environmental Pollution*, 215, 234-246.
- Bezzar-Bendjazia, R., Kilani-Morakchi, S., Maroua, F., & Aribi, N. (2017). Azadirachtin induced larval avoidance and antifeeding by disruption of food intake and digestive enzymes in *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 143, 135-140. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.08.006> Abstract

- Casida, J. E., & Durkin, K. A. (2013). Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. *Annual Review of Entomology*, 58, 99-117. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153645>
- Cavaliere, V., Manglli, A., Tiberini, A., Tomassoli, L., & Rapisarda, C. (2014). Rapid identification of *Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci* (MEAM1 and MED) and tomato-infecting criniviruses in whiteflies and in tomato leaves by real-time reverse transcription-PCR assay. *Bulletin of Insectology*, 67 (2): 219-225.
- Chen, Y. X., Tian, H. J., Lin, S., Yu, Y., Xie, L. C., Li, H., ... & Wei, H. (2023). Sublethal effects of emamectin benzoate on development, reproduction, and vitellogenin and vitellogenin receptor gene expression in *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Insect Science*, 23(3), 12. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iead035>
- Chen, Z., Luo, Y., Wang, L., Sun, D., Wang, Y., Zhou, J., & Wang, L. (2025). Advancements in life tables applied to integrated pest management with an emphasis on two-sex life tables. *Insects*, 16(3), 261. <https://doi.org/10.3390/insects16030261>
- Chi H, (2021b). 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/>.
- Chi, H. (1988). Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17(1), 26-34. <https://doi.org/10.1093/EE/17.1.26>
- Chi, H. (2020). Age-stage, two-sex life table: An introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis*, 40, 103–124. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2020/0936>
- Chi, H. S. I. N., & Liu, H. J. B. I. Z. A. S. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 24(2), 225-240.
- Dadras, S., Mehrkhou, F., Atlihan, R., & Fourouzan, M. (2024). The sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on the life table parameters and the population prediction of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, and its parasitoid, *Encarsia formosa*, under laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, 45 (3), 429-444. (in Farsi), <https://doi.org/10.22034/jesi.45.3.9>
- Dalmon, A., Fabre, F., Guilbaud, L., Lecoq, H., & Jacquemond, M. (2009). Comparative whitefly transmission of Tomato chlorosis virus and Tomato infectious chlorosis virus from single or mixed infections. *Plant Pathology*, 58(2), 221-227.
- Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52(1), 81-106. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>
- 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.43.3.3>
- Gerling, D., Orion, T. and Delarea, Y. (1990). Eretmocerus penetration and immature development: a novel approach to overcome host immunity. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 13(3-4), Pp:2253. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296157>
- 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>

Guedes, R. N. C., Walse, S. S., & Throne, J. E. (2017). Sublethal exposure, insecticide resistance, and community stress. *Current Opinion in Insect Science*, 21, 47-53. DOI: 10.1146/annurev-ento-010715-023646. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47473-1>

Haddi, K., Tomé, H. V., Du, Y., Valbon, W. R., Nomura, Y., Martins, G. F., ... & Oliveira, E. E. (2017). Detection of a new pyrethroid resistance mutation (V410L) in the sodium channel of *Aedes aegypti*: a potential challenge for mosquito control. *Scientific Reports*, 7(1), 46549. <https://doi.org/10.1038/srep46549>

Hardy, M. C. (2012). Using selective insecticides in sustainable IPM. CABI Reviews, (2011), 1-7. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20116039>

He, Y., Zhao, J., Zheng, Y., Weng, Q., Biondi, A., Desneux, N., & Wu, K. (2013). Assessment of potential sublethal effects of various insecticides on key biological traits of the tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. *International Journal of Biological Sciences*, 9(3), 246. <https://doi.org/10.7150/ijbs.5762>

Jafarbeigi, F., Samih, M. A., Zarabi, M., & Esmaeily, S. (2014). Age Stage Two-Sex Life Table Reveals Sublethal Effects of Some Herbal and Chemical Insecticides on Adults of *Bemisia tabaci* (Hem.: Aleyrodidae). *Psyche: A Journal of Entomology*, 2014(1), 164271. <https://doi.org/10.1155/2014/164271>

Jam, N. A., & Saber, M. (2018). Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on the functional response of the aphid parasitoid, *Lysiphlebus fabarum*. *Entomologia Generalis*, 38(2) <https://doi.org/10.1127/entomologia/2018/0734>

Kalyabina, V. P., Esimbekova, E. N., Kopylova, K. V., & Kratasyuk, V. A. (2021). Pesticides: Formulants, distribution pathways and effects on human health – a review. *Toxicology Reports*, 8, 1179–1192. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.06.004>

Kapantaidaki, D. E., Ovčarenko, I., Fytrou, N., Knott, K. E., Bourtzis, K., & Tsagkarakou, A. (2015). Low levels of mitochondrial DNA and symbiont diversity in the worldwide agricultural pest, the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Heredity*, 106(1), 80-92. <https://doi.org/10.1093/jhered/esu061>

Khan, M. M., Ali, M. W., Hafeez, M., Fan, Z. Y., Ali, S., & Qiu, B. L. (2021). Lethal and sublethal effects of emamectin benzoate on life-table and physiological parameters of citrus red mite, *Panonychus citri*. *Experimental and Applied Acarology*, 85(2), 173-190. <https://doi.org/10.1007/s10493-021-00667-7>

Lasota, J. A., & Dybas, R. A. (1991). Avermectins, a novel class of compounds: implications for use in arthropod pest control. DOI: 10.1146/annurev.en.36.010191.000515. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.36.010191.000515>

Mahdavi, R., Rasekh, A., Jam, N. A., Rakhshani, E., & Farsi, A. (2025). Evaluation of sublethal and intergenerational effects of three insecticides on life table parameters of currant lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Mosely) (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 28(4), 10.1016/j.aspen.2025.102500

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>

Matsuda, K., Shimomura, M., Ihara, M., Akamatsu, M., & Sattelle, D. B. (2005). Neonicotinoids show selective and diverse actions on their nicotinic receptor targets: electrophysiology, molecular biology, and receptor modeling studies. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 69(8), 1442-1452. <https://doi.org/10.1271/bbb.69.1442>

- Milenovic, M., Ghanim, M., Hoffmann, L., & Rapisarda, C. (2022). Whitefly endosymbionts: IPM opportunity or tilting at windmills. *Journal of Pest Science*, 95(2), 543-566. 10.1007/s10340-021-01448-2
- Mokbel, E. S., & Huesien, A. (2020). Sublethal effects of emamectin benzoate on life table parameters of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1), 155. 10.1186/s42269-020-00401-8.
- Nikakhtar, S., Aramideh, Sh., Mirfakhraie, Sh. and Frouzan, M., 2022. Effect of three commercial formulations includes Nimbecidine, NeemAzal T/S and Kofa from plant compound of neem on the biological stages of *Trialeurodes vaporariorum* (Hem.: Aleyrodidae) and its parasitoid, *Encarsia formosa*. *Plant Pest Research*, 12(1): 59-72. <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.28597.1597>
- 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://doi.org/10.22124/iprj.2024.26113.1544>(in Farsi)
- Plapp Jr, F. W., Browning, C. R., & Sharpe, P. J. (1979). Analysis of rate of development of insecticide resistance based on simulation of a genetic model. *Environmental Entomology*, 8(3), 494-500. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.21.010176.001143>
- Rahman, M. M., Baker, G., Powis, K. J., Roush, R. T., & Schmidt, O. (2010). Induction and transmission of tolerance to the synthetic pesticide emamectin benzoate in field and laboratory populations of diamondback moth. *Journal of Economic Entomology*, 103(4), 1347-1354. <https://doi.org/10.1603/ec09171>
- Rahmani, S., & Bandani, A. R. (2013). Sublethal concentrations of thiamethoxam adversely affect life table parameters of the aphid predator, *Hippodamia variegata* (Goeze)(Coleoptera: Coccinellidae). *Crop Protection*, 54, 168-175. <https://doi.org/10.1515/jppr-2016-0048>
- Rajabi, H., Safavi, S. A., & Forouzan, M. (2023). The lethal and sub lethal effects of the combined insecticide Emamectin benzoate+ Acetamiprid on the life table parameters of *Aphis gossypii* (Hem.: Aphididae). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 46(1), 105-118. <https://doi.org/10.22055/ppr.2023.42995.1681>
- 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(5), 90. <https://doi.org/10.1007/s12600-024-01209-8>
- Reshadat Salvanagh, N., Mehrkhou, F., Aamideh Sh. & Fourouzan, M. (2026). Sublethal effects of Alpha-Cypermethrin and integration of Emamectin benzoate with Acetamiprid on biological parameters of *Encarsia formosa*. *Plant Pest Research*, 16(1), 49-65. <https://doi.org/10.22124/iprj.2026.33432.1685>
- Sadeghi Nasab, F., Safavi, S. A., Ghadamyari, M., & Hosseini Naveh, V. (2021). Cellular energy allocation of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) treated with flubendiamide and thiocyclam hydrogen oxalate on different tomato cultivars. *Neotropical Entomology*, 50(3), 398-407. <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00856-4>
- Safavi, S. A. and Bakhshae, 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. <https://doi.org/10.48311/jcp.2017.1338>
- Samietz, J., & Köhler, G. (2012). A fecundity cost of (walking) mobility in an insect. *Ecology and Evolution*, 2(11), 2788-2793.

- Shafaghi, F., Foruzan, M., Morowati, M., Khosravi, M., Namvar, P. & Sheikhi Garjan, A. (2022). The Efficacy of different insecticides against *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) and the determination of Emamectin Benzoate and Acetamiprid residue levels on greenhouse cucumber. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 45(2), 109-120. <https://doi.org/10.22055/ppr.2022.17578>.
- 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. <https://doi.org/10.52547/jesi.44.1.3>
- Siahaya, V. G. (2021). Effect of sublethal dose/concentration on various insect behaviors. *Agrologia*, 10(1), 360293.
- Stark, J. D., & Banks, J. E. (2003). Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology*, 48(1), 505-519. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621>
- Smykal, V., & Raikhel, A. S. (2015). Nutritional control of insect reproduction. *Current Opinion in Insect Science*, 11, 31-38.
- Teixeira, P. R., Dusi, R. G., Jimenez, P. C., Espindola, L. S., & Costa-Lotufo, L. V. (2022). What can we learn from commercial insecticides? Efficacy, toxicity, environmental impacts, and future developments. *Environmental Pollution*, 300, 1-20.
- Wang, B., Hui, H., Li, X., Yang, X., & Li, Y. (2025). Sublethal Effects of Abamectin and Acetamiprid on the Longevity, Fecundity and detoxification enzyme activity of *Rhopalosiphum padi*. *Insects*, 16(6), 629. [10.3390/insects16060629](https://doi.org/10.3390/insects16060629). <https://doi.org/10.3390/insects16060629>
- Wintermantel, W. M. (2004). Emergence of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) transmitted criniviruses as threats to vegetable and fruit production in North America. *APSnet Features*, 10.
- Zhang, P., Liu, F., Mu, W., Wang, Q., Li, H., & Chen, C. (2014). Life table study of the effects of sublethal concentrations of thiamethoxam on *Bradysia odoriphaga* Yang and Zhang. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 111, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.04.003>
- Zidan, N. E., El-Naggar, J. B., Aref, S. A., & El-Dewy, M. E. (2012). "Field Evaluation of different pesticides against cotton bollworms and sucking insects and their side effects." *Journal of American Science*, 8(2), 128–136.
- Zimmer, C. T., Panini, M., Singh, K. S., Randall, E. L., Field, L. M., Roditakis, E. & Bass, C. (2017). Use of the synergist piperonyl butoxide can slow the development of alpha-cypermethrin resistance in the whitefly *Bemisia tabaci*. *Insect Molecular Biology*, 26(2), 152-163.