

Research Article

اثرات زیرکندگی تیمتوکسام-لامبدا سایه‌الوترین روی فراسنجه‌های رشد جمعیتی سفید بالک گلخانه

Trialeurodes vaporariorum و زنبور پارازیتوئید آن، *Encarsia formosa*، در شرایط آزمایشگاهی

سودا دادرس^۱، فریبا مهرخو^۱، رمزی آتلیهان^۲ و مریم فروزان^۳

۱- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران
۲- گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یوزینجی یل، وان، ترکیه
۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

چکیده: سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* Weswood، یکی از مهم‌ترین آفات گیاهان زینتی، سبزی و صیفی می‌باشد. در این پژوهش، اثرات زیرکندگی تیمتوکسام-لامبدا سایه‌الوترین روی ویژگی‌های زیستی، فراسنجه‌های جدول زندگی و پیش‌بینی روند رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید آن، *Encarsia formosa* Gahan، تحت شرایط کنترل شده 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 10 درصد و دوره روشنایی به تاریکی ۸:۱۶ ساعت بررسی شد. زیست‌سنجی به روش فروبردن برگ‌های گوجه‌فرنگی حاوی پوره‌های سن سوم سفیدبالک گلخانه در غلظت زیرکشنده LC₃₀ تیمتوکسام-لامبدا سایه‌الوترین صورت گرفت. داده‌های حاصل از جدول زندگی، با استفاده از برنامه TWOSEX-MSChart و بر اساس تئوری جدول زندگی دو جنسی سن-مرحله رشدی تجزیه شدند. نتایج نشان داد که غلظت زیرکشنده حشره‌کش مزبور، ویژگی‌های زیستی و رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه را با کاهش طول دوره مراحل نابالغ، کاهش طول عمر حشرات کامل، میزان باروری و کاهش فراسنجه‌های رشد جمعیتی تحت تاثیر قرار داد. همچنین غلظت زیرکشنده تاثیر منفی بر طول دوره زیستی و جدول زندگی زنبور پارازیتوئید داشت. به‌طوری‌که منجر به تاخیر رشد و نمو مراحل نابالغ، کاهش طول عمر حشرات کامل، کاهش نرخ بقا و فراسنجه‌های رشد جمعیتی گردید. نتایج حاصله از پیش‌بینی روند جمعیتی همسو با نتایج فراسنجه‌های رشد جمعیتی بود. نتیجه نهایی حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمتوکسام-لامبدا سایه‌الوترین نباید در برنامه‌های مدیریت تلفیقی سفیدبالک گلخانه در مواردی که عامل بیولوژیک زنبور پارازیتوئید وجود دارد، مورد استفاده قرار گیرد.

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۰

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹

دبیر تخصصی: محمد قدمیاری

نویسنده مسئول: فریبا مهرخو

ایمیل: f.mehrkhou@urmia.ac.ir

کلمات کلیدی: آفت گلخانه، زنبور پارازیتوئید، نئونیکوتینوئید، پایریتروئید، دینامیسم جمعیت

DOI: <https://doi.org/10.61186/jesi.45.3.9>

مقدمه

سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum* Weswood (Hemiptera: Aleyrodidae) یکی از مهمترین آفات اقتصادی با دامنه وسیع میزبانی روی گیاهان زینتی، زراعی و صیفی در مزارع و گلخانه‌ها محسوب می‌شود و از دامنه میزبانی وسیعی برخوردار است (Capinera, 2008; Sharifiyan et al., 2024). خسارت مستقیم این گونه در نتیجه تغذیه مراحل پورگی و حشرات کامل از گیاهان میزبان بوده که منجر به کاهش کمی و کیفی میزبان‌های گیاهی می‌شود. علاوه بر آن، عسلک تولید شده توسط پوره‌ها زمینه را برای فعالیت قارچ‌های فومازین فراهم می‌کند. این آفت در انتقال عوامل بیماری‌زای گیاهی نظیر ویروس‌ها هم نقش دارد (Rashidi & Ganbalani, 2018; Costa, 1976). حشره‌کش‌های شیمیایی به طور گسترده برای مدیریت سفیدبالک گلخانه‌ای استفاده می‌شود (Bi, 2011). حشره‌کش‌های با طیف اثر وسیع، اثرات مضر بر موجودات غیرهدف دارند، بنابراین در توسعه برنامه‌های کنترل بیولوژیکی در گلخانه‌ها اختلال ایجاد می‌کنند. بعلاوه، باقیمانده آفت‌کش‌ها روی محصولات گلخانه‌ای نگرانی‌های جدی سلامتی را برای مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند (Lozowicka et al., 2015). با این حال، این آفت به دلیل نرخ تولیدمثل بالا و رشد و نمو سریع، دارای توان بالقوه‌ای برای مقاوم شدن به حشره‌کش‌های مختلف می‌باشد و همین دلیل کارایی روش شیمیایی را تحت تاثیر قرار داده است (Pappas et al., 2013). با توجه به تعدد و تداخل نسل در چرخه زندگی سفیدبالک گلخانه و عدم کنترل آفت‌کش‌ها متداول، استفاده از آفت‌کش‌های جدید با ماندگاری کم در محصول، اثر سریع و کنترل کامل آفت مزبور می‌تواند راهکار مناسبی تلقی شود (Nikakhtar et al., 2022).

تیمتوکسام- لامبادا سایه‌الوترین (IRAC, 2023) (IRAC 3A+4A) (TLC)، با نام تجاری افوریا® از جمله حشره‌کش‌های نسبتاً جدید، و ترکیبی از دو حشره‌کش نئونیکوتینوئید (تیمتوکسام) و پایریتروئیدی (لامبدا سایه‌الوترین) با اثر گوارشی و تماسی است که برای کنترل آفات مکنده و برگ‌خوار استفاده می‌شود.

(Sohrabi et al., 2012; Nikolova & Gorgieva, 2018). این حشره‌کش با اختلال در گیرنده‌های نیکوتینیک استیل کولین و همچنین با تاثیر بر کانال سدیمی در سامانه عصبی، دارای اثر ضربه‌ای و سریع بوده و به دلیل دارا بودن دو شیوه اثر متفاوت، مقاومت آفات به آفت کش‌ها را به تعویق می‌اندازد (Mahmoodi et al., 2020). زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) یکی از پرکاربردترین پارازیتوئیدها برای مدیریت *T. vaporariorum* در سراسر دنیا روی محصولات گلخانه‌ای و گیاهان زینتی است (Drobnjaković et al., 2018). حشرات مفید نقش مهمی در کنترل آفات کشاورزی در سراسر جهان ایفا می‌کنند. ادغام عوامل کنترل بیولوژیکی با حشره‌کش‌ها برای مدیریت تلفیقی آفات (IPM) در صورتی مؤثرتر خواهد بود که آفت‌کش‌های مورد استفاده در برابر گونه‌های آفت مؤثر بوده و برای بندپایان مفید مانند پارازیتوئیدها و شکارگرها نسبتاً ایمن باشند (Chitgar & Ghadamyari, 2013; Wilkinson et al., 1979). ارزیابی اثرات بیولوژیکی آفت‌کش‌ها روی آفات و دشمنان طبیعی، روی سمیت حاد و برآورد مرگ و میر، متمرکز شده و توجه کمتری به اثرات دراز مدت آفت‌کش‌ها (سمیت مزمن) روی آفات گردیده است، اما بهترین روش برای ارزیابی اثر کلی یک آفت‌کش، تجزیه و تحلیل جداول زیستی یا سم‌شناسی دموگرافیک می‌باشد (Nikakhtar et al., 2022). برآورد فراسنجه‌های رشد جمعیت و تعیین نحوه تغییر جمعیت حشرات از طریق مطالعه اثر آفت‌کش روی توانایی تولیدمثلی، می‌تواند در انتخاب یک حشره‌کش بسیار مفید باشد. تعیین اثرات زیرکشنده به همراه اثرات کشنده آن برای ارزیابی صحیح خاصیت حشره‌کشی ضروری می‌باشد. یک مزیت مهم برای ارزیابی اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌ها، توانایی اجرای برنامه‌های مؤثرتر و سازگار با محیط زیست در برنامه‌های مدیریت آفات می‌باشد (Desneux et al., 2007). لذا مطالعات سم‌شناسی دموگرافی در برآورد اثرات زیرکشنده حشره‌کش روی رشد جمعیت آفت هدف و دشمنان طبیعی بسیار اهمیت دارد (Stark & Banks, 2003).

در مطالعه‌ای که توسط Safavi & Bakhshaei (2017) انجام یافت، نتایج اثرات کشندگی (LC_{50} : 0.465 ml/L) حشره‌کش تیاکلوپراید، بیانگر حساسیت بالای مراحل پورگی سفیدبالک گلخانه نسبت به حشرات کامل و تخم بود. نتایج مطالعات Bughdady et al. (2020) در طی سال‌های زرع ۲۰۱۶-۲۰۱۷ در مزارع گوجه فرنگی بر جمعیت سفیدبالک پنبه، بیانگر کنترل مؤثر حشره‌کش لامیدا سای هالوترین (Cyhalothrin 5% EC, 1.44 Cm 3/2.88L) نسبت به تیماتوکسام و استامی پراید بود. همچنین مطالعات انجام شده توسط Mahmoodi et al. (2020) روی شته مومی کلم، بیانگر تاثیر بالای حشره‌کش تیماتوکسام-لامیداسای هالوترین در مقایسه با تیماتوکسام و استامی پراید بود. اثرات جانبی برخی از حشره‌کش‌های شیمیایی بر ویژگی‌های زیستی، رشد جمعیتی، رفتاری و جستجوگری زنبور پارازیتوئید *E. formosa* توسط برخی محققین بررسی شده است (Drobnjakovic et al., 2018, 2019; He et al., 2018; Heidari et al., 2015; Hoseininaveh et al., 2012). تاکنون اطلاعات جامع و کاملی درخصوص اثرات کشندگی و زیرکشنده‌گی حشره‌کش تیماتوکسام-لامیداسای هالوترین روی گونه مذکور با استفاده از جدول زندگی دو جنسی در دسترس نمی‌باشد و از طرف دیگر به دلیل قابلیت این روش در توصیف و نقش هریک از مراحل زیستی حشره در افزایش و روند تغییرات جمعیتی، اهمیت این نوع مطالعات بیش از پیش نمایان می‌شود (Atlihan et al., 2017). با توجه به اهمیت سفیدبالک گلخانه و بروز مقاومت آن به آفت‌کش‌های مرسوم، اثرات کشندگی و زیرکشنده‌گی حشره‌کش نسبتاً جدید تیماتوکسام-لامیداسای هالوترین بر فراسنجه‌های دموگرافی و پیش‌بینی رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید *E. formosa* در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت تا کارایی حشره‌کش مزبور در کنترل جمعیت آفت و دشمن طبیعی آن تعیین شود و روش مدیریتی متناسب با آنها اتخاذ گردد.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه میزبان. جهت کشت گیاهان گوجه فرنگی اقدام به کشت بذر رقم فرمونت در سینی‌های نشا گردید. بعد از ۳-۴ برگی شدن، نشاهای گوجه فرنگی به گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۸ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری حاوی خاک مزرعه، پیت ماس، هوموس انتقال داده شده و از آنها به عنوان میزبان گیاهی برای سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید آن در آزمایش‌های دموگرافی استفاده گردید. جهت جلوگیری از آلوده شدن گلدان‌ها، پرورش و نگهداری آنها در اتاق رشد مجزا داخل قفس‌های چوبی به ابعاد (۶۰×۷۰×۹۰ سانتی‌متری) صورت گرفت. در طول مدت آزمایش‌ها، کاشت گلدان‌ها هر سه ماه یکبار تجدید گردید. همچنین هیچگونه سمپاشی در طی کشت گلخانه‌ای صورت نگرفت. کشت گیاهان در گلخانه با شرایط دمایی ۲۵±۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت روشنایی و تاریکی انجام گرفت.

پرورش سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید. برگ‌های آلوده به مراحل مختلف زیستی سفیدبالک گلخانه، از گلخانه آلوده اطراف شهر ارومیه جمع‌آوری و به آزمایشگاه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه انتقال داده شدند. جهت تشخیص و اطمینان از گونه سفیدبالک گلخانه، حشرات کامل جمع‌آوری شده به موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور ارسال و توسط دکتر شهاب منظری شناسایی شدند. تفکیک جنس نر و ماده نیز براساس روش (Shahbazvar et al., 2011; Gerling, 1990) صورت گرفت.

جهت هم‌سن‌سازی کلنی سفیدبالک گلخانه، حشرات کامل روی گلدان‌های حاوی گیاه گوجه‌فرنگی درون قفس‌های توری رهاسازی شده و بعد از ۲۴ ساعت حشرات کامل از قفس‌ها حذف شدند. بعد از گذشت تقریبی ۲۲ روز (Reshadat-Salvanagh, 2021) جمعیت زیادی از سفیدبالک روی گیاه ایجاد و کلنی با جمعیت کافی برای انجام آزمایش‌ها فراهم شد. کلنی حشرات قبل از استفاده در آزمایش‌ها، حداقل به مدت دو تا سه نسل روی گیاه میزبان پرورش داده شدند. پرورش زنبور روی گیاهان گوجه فرنگی آلوده به سفیدبالک انجام یافت، بدین ترتیب که پوره‌های سن سوم و چهارم پارازیت شده سفیدبالک، از گلخانه دانشگاه ارومیه جمع‌آوری شده و از زنبورهای ظاهر شده با طول عمر ۲۴ ساعت، جهت هم‌سن‌سازی کلنی زنبور استفاده گردید. جهت اطمینان از گونه مورد نظر، حشرات کامل ظاهر شده زنبور به روش (Polaszek et al., 1992) شناسایی شدند. برای تغذیه زنبور از چسب‌های نواری آغشته به آب عسل ۱۰٪ استفاده شد. پرورش سفیدبالک و زنبور پارازیتوئید در اتاقک رشد تحت شرایط دمایی ۲۵±۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام گرفت.

حشره‌کش مورد استفاده. حشره‌کش مورد استفاده در این پژوهش، تیموتوکسام - لامبدا سای‌هالوترین با نام تجاری افوریا®، فرمولاسیون (SC 247) و غلظت توصیه شده مزرعه‌ای ۳۰۰ میلی‌لیتر در هکتار بود. این حشره‌کش ساخت کشور سوئیس از شرکت سینجنتا بوده و دارای خاصیت تماسی و گوارشی است.

زیست‌سنجی سفیدبالک گلخانه. ابتدا آزمون مقدماتی جهت تعیین دوزهای موثر انجام و بر این اساس غلظت‌هایی که در حشرات مورد آزمایش تلفات ۲۰-۸۰ درصد را ایجاد نمودند، برای زیست‌سنجی اصلی انتخاب شدند. بر این اساس غلظت‌های انتخاب شده جهت آزمایش‌ها زیست‌سنجی ۲۵۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ پی‌پی‌ام برای حشره‌کش تیماتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین بود. با توجه به اینکه بیشترین میزان ترجیح زنبور پارازیتوئید *E. formosa* پوره‌های سن سوم و چهارم سفیدبالک می‌باشند (Oliveira et al., 2003) لذا در زیست‌سنجی سفیدبالک از پوره سن سوم آن استفاده شد. فرو بردن برگ‌های گوجه فرنگی حاوی پوره‌های سن سوم در غلظت‌های مورد نظر روش زیست‌سنجی برای انجام آزمایش‌ها بود (Hoseininaveh et al., 2012). 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 فروبرده شده و پس از نیم ساعت (جهت خشک شدن قطرات حشره‌کش)، به درون تشتک‌های پتری هشت سانتی‌متری منتقل شدند. با پیچیدن پنبه مرطوب به دور دمبرگ، رطوبت برگ در طول آزمایش تامین گردید. سپس تشتک‌های پتری به اتاقک رشد با دمای ۵ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵۰ ± ۶۰ درصد، دوره نوری ۸:۱۶ (تاریکی: روشنایی) منتقل شدند. در این آزمایش پوره‌هایی که خشک شده و یا تغییر رنگ داده به عنوان مرده تلقی شد (Nikakhtar et al., 2022). میزان تلفات افراد تیمار شده پس از طی ۲۴ ساعت ثبت شد (Mahmoodi et al., 2020; Safavi & Bakhshaei, 2017). غلظت زیرکشنده LC₃₀ حشره‌کش، پس از ۲۴ ساعت از تیمار محاسبه و مورد استفاده قرار گرفتند. برای تیمار شاهد، برگ‌های گوجه فرنگی حاوی پوره‌های سن سوم داخل آب مقطر غوطه‌ور شدند. آزمایش مذکور برای هر تیمار ۴ تکرار در نظر گرفته شد.

با توجه به اینکه اثرات جانبی حشره‌کش تیماتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین روی زنبور پارازیتوئید، یکی دیگر از اهداف پژوهش بود، بنابراین برای همسان سازی شرایط آزمایش با شرایط گلخانه و مزرعه، از غلظت زیرکشنده LC₃₀ به‌دست آمده برای سفیدبالک گلخانه‌ای در آزمایش‌های مربوط به اثرات زیرکشدگی زنبور پارازیتوئید استفاده شد و آزمون‌های زیست‌سنجی مجزا برای زنبور صورت نگرفت.

بررسی اثرات زیرکشنده حشره‌کش تیماتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین بر فراسنجه‌های زیستی و رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید.

جهت انجام اثرات زیرکشدگی حشره‌کش تیماتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین بر سفیدبالک گلخانه، پوره‌های سن سوم با غلظت زیرکشنده LC₃₀ (۲۷۶/۰۹۳ پی‌پی‌ام) با روش فروبردن برگ گوجه فرنگی حاوی پوره سن سوم (همانند روشی که برای آزمون‌های مقدماتی انجام گرفته بود)، تیمار شدند. با ظهور حشرات کامل و رهاسازی آنها روی بوته‌های گوجه‌فرنگی 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 تفریح تخم‌ها و ظهور پوره‌های سن اول، به حالت انفرادی به درون ظروف پلاستیکی (ارتفاع ۴ و قطر ۲ سانتی‌متر) حاوی برگ‌گوجه‌فرنگی عاری از حشره‌کش، منتقل شدند. با پیچیدن پنبه مرطوب، به دور دمبرگ رطوبت برگ تامین 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 گوجه‌فرنگی 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. جهت مطالعه اثرات زیرکشنده تیماتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین بر ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های جدول زندگی زنبور پارازیتوئید از غلظت LC₃₀ به دست آمده در آزمایش زیست‌سنجی سفیدبالک استفاده شد. برای این منظور ابتدا تعداد ۵۰ عدد پوره سن سوم پارازیت شده روی برگ مستقرشده و به داخل غلظت زیرکشنده به مدت بیست ثانیه فروبرده شدند و پوره‌های پارازیت شده تا زمان ظهور زنبورها نگهداری شدند. با ظهور زنبورها، تعداد ۲۲ عدد حشره کامل زنبور پارازیتوئید به طور انفرادی روی دیسک‌های برگ‌های حاوی پوره‌های سن سوم میزبان رهاسازی شد (با توجه به درصد پارازیتسم روزانه زنبور، به طور متوسط ۱۳ عدد پوره سن سوم روزانه در اختیار زنبور ماده قرار می‌گرفت) (Hoseininaveh et al., 2012). جهت بررسی باروری روزانه زنبور، حشرات کامل زنبور به طور روزانه به وسیله اسپیراتور به ظروف جدید منتقل شدند. با بررسی برگ‌ها، تعداد تخم گذاشته شده و تعداد تخم‌های تفریح شده روزانه ثبت می‌شد. این کار تا آخر عمر زنبور ادامه یافت و میزان بقا و تولیدمثل زنبور مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تیمار شاهد نیز، برگ‌های گوجه فرنگی حاوی پوره‌های سن سوم پارازیت شده در آب مقطر غوطه‌ور شدند.

آنالیز داده‌ها. میزان LC₅₀ و LC₃₀ آزمون‌های زیست‌سنجی با استفاده از پروبیت و نرم‌افزار SPSS (Ver. 22) محاسبه شد. داده‌های حاصل از جدول زندگی و روند جمعیتی، بر اساس تئوری جدول زندگی دو جنسی سن-مرحله رشدی با استفاده از نرم‌افزارهای Twosex-MsChart و Timing تجزیه شد (Chi, 2020a, b; Chi, 1988; Chi & Liu, 1985). میانگین، واریانس و خطای معیار فراسنجه‌های زیستی با استفاده از تکنیک بوت‌استرپ و با ۱۰۰۰۰۰ تکرار محاسبه گردید. به‌منظور مقایسه داده‌های به‌دست آمده از تکنیک بوت‌استرپ جفت شده (Paired bootstrap) و نرم‌افزار آماری TWO-SEX MSChart در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد استفاده شد. رسم تمامی نمودارها با استفاده از نرم‌افزار سیگماپلات (Ver. 12.3) انجام پذیرفت.

نتایج

اثرات کشندگی تیماتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین روی پوره سن سوم سفیدبالک. LC₃₀ و LC₅₀ حشره‌کش تیماتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین روی پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه به ترتیب ۲۷۶/۰۹۳ و ۳۶۹/۸۷۷ پی‌پی‌ام بدست آمد (جدول ۱).

اثر غلظت زیرکشنده تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین بر طول دوره زیستی، طول دوره تخم گذاری و باروری *T. vaporariorum* و زنبور پارازیتوئید *E. formosa*. تجزیه آماری داده های مربوط به بررسی اثر حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین روی طول دوره زیستی سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید آن در جدول ۲ نشان داده شده اند. نتایج نشان داد که حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین تنها طول دوره تخم سفیدبالک گلخانه را نسبت به شاهد افزایش داد، بیشترین طول دوره مراحل نابالغ سفیدبالک گلخانه مربوط به تیمار شاهد با $25/93 \pm 0/58$ روز بود و با تیمار حشره کش اختلاف معنی دار داشت (جدول ۲). استفاده از غلظت زیرکشنده تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین در زنبور نیز باعث تاخیر در طول دوره مراحل نابالغ گردید. بیشترین و کمترین طول دوره مراحل نابالغ به ترتیب مربوط به حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین ($19/75$ روز) و شاهد ($15/13$ روز) بود (جدول ۲). نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر حشرات کامل مربوط به نسل اول نیز تحت تاثیر غلظت LC_{30} حشره کش قرار گرفتند، به طوری که کل دوره زندگی ماده ها در هر دو تیمار شاهد و حشره کش دارای طول عمر بیشتری نسبت به نرها بوده (جدول ۲) و باعث کاهش طول عمر حشرات کامل ماده و نر نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر زنبورهای پارازیتوئید نیز تحت تاثیر غلظت LC_{30} تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین قرار گرفتند به طوری باعث کاهش طول عمر حشرات کامل ماده نسبت به شاهد شد (جدول ۲). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت LC_{30} حشره کش باعث بیشترین تلفات افراد نابالغ زنبور نسبت به شاهد شد (جدول ۲).

تجزیه و تحلیل آماری داده های مربوط به بررسی طول دوره پیش از تخم گذاری، کل دوره پیش از تخم گذاری، تخم گذاری و طول دوره تخم گذاری سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره کش مورد آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. همان طور که در جدول مشاهده می شود، حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین باعث افزایش طول دوره پیش از تخم گذاری (APOP= Adult Pre-Ovipositional Period (from eclosion to) و کاهش طول دوره تخم ریزی سفیدبالک نسبت به شاهد گردید ($P < 0/05$). نتایج مربوط به میزان باروری حشرات کامل F1 بیانگر تاثیر غلظت زیرکشنده روی سفیدبالک و زنبور پارازیتوئید بود به طوری که ماده های سفیدبالک حاصل از نسل اول تیمار شده با حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین ($4/87 \pm 0/37$ تخم/ماده) و شاهد ($22/13 \pm 3/98$ تخم/ماده) در طول عمر داشتند (جدول ۲). زنبورهای تیمار شده با تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین و شاهد به ترتیب ($11/0 \pm 0/35$ تخم/ماده) ($1/881 \pm 36/61$ تخم/ماده) نتایج در طول عمر داشتند (جدول ۲).

نتایج فراسنجه های رشد جمعیت پایدار *T. vaporariorum* تحت تاثیر غلظت زیرکشنده تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین و زنبور پارازیتوئید *E. formosa*. فراسنجه های رشد جمعیت پایدار سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید *E. formosa* تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین در جدول ۳ نشان داده شده است. حشرات کامل ماده سفیدبالک و زنبور پارازیتوئیدی که مراحل نابالغ آن ها تحت تاثیر غلظت LC_{30} این حشره کش قرار گرفته بودند، دارای میانگین نرخ خالص تولیدمثل (R_0) کمتری در مقایسه با شاهد بودند. به طوری که میزان نرخ خالص تولیدمثل در سفیدبالک از ($6/8$) نمف/ به ازای هر ماده در شاهد به ($2/2$) نمف/ به ازای هر ماده رسید. در زنبور پارازیتوئید نیز میزان این فراسنجه در تیمار حشره کش ($2/0$) و شاهد ($28/06$) تخم/ به ازای هر ماده بود، که حاکی از تاثیر منفی بیشتر این تیمار نسبت به شاهد بود. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) نشان دهنده نرخ تغییرات روزانه جمعیت به ازای هر فرد از آن جمعیت است. استفاده از غلظت زیرکشنده تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین در آفت سفیدبالک گلخانه و دشمن طبیعی آن باعث کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت نسبت به شاهد شد. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) زنبور نیز تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره کش مورد آزمایش، کاهش پیدا کرد ($0/31$ روز). بیشترین مقدار این فراسنجه در تیمار شاهد ($0/182$) به دست آمد. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) نیز همانند سایر فراسنجه های رشد جمعیتی در تیمار حشره کش مربوط به سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید نسبت به شاهد کاهش یافت به طوری که در سفیدبالک از $1/07 - 1/02$ بر روز متغیر بود. در زنبور *E. formosa* میزان این فراسنجه از ($1/20$) در تیمار شاهد به ($1/03$) در تیمار با غلظت LC_{30} حشره کش مورد آزمایش کاهش یافت. نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) نشان دهنده تعداد پوره های اضافه شده به جمعیت در طول یک نسل بدون در نظر گرفتن درصد تلفات می باشد. نتایج بدست آمده نشان داد کمترین مقدار این میانگین مربوط به تیمار LC_{30} و بیشترین آن مربوط به شاهد می باشد. کمترین و بیشترین میزان نرخ ناخالص تولیدمثلی در زنبور پارازیتوئید به ترتیب در تیمارهای حشره کش ($10/52$) و شاهد ($41/13$) نتایج/ به ازای هر ماده مشاهده شد. میانگین طول یک نسل (T) سفیدبالک تحت تاثیر غلظت زیرکشنده، در مقایسه با شاهد اختلاف معنی دار نشان نداد (جدول ۳). بیشترین مقدار فراسنجه مدت زمان یک نسل (T) زنبور پارازیتوئید در تیمار با حشره کش ($22/33$ روز) ثبت گردید. بر اساس نتایج به دست آمده این حشره کش باعث افزایش معنی داری در مقدار این فراسنجه نسبت به شاهد شد. متوسط مدت زمان یک نسل (T) مدت زمانی است که جمعیت به اندازه ی نرخ خالص تولیدمثل افزایش می یابد (جدول ۳).

جدول ۱- آنالیز پروبیت سمیت تماسی حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین بر پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه

Table 1. Probit analysis results of contact toxicity of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on the third instar nymph of *Trialeurodes vaporariorum*

Insecticide	LC ₃₀ (ppm; ml/L)	LC ₅₀ (ppm)	Slope±SE	χ ² (df)	Number of adults used
Thiamethoxam-lambda cyhalothrin	276.093 (681.94 ml/L) (227.830-310.894)*	369.877 (913.59 ml/L) (331.952-408.142)*	4.12±0.66	1.003 (3)	300

*: 95% Confidence limits (C. L.

جدول ۲- اثرات زیرکشدگی (LC_{30}) تیمتوکسام-لامبدا سای هالوترین بر طول دوره زیستی و باروری (میانگین $\pm$ خطای معیار) سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید آن، *Encarsia formosa*.

Table 2. Sublethal effects (LC_{30}) of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on developmental time, and fecundity (mean $\pm$ SE) of *Trialeurodes vaporariorum* and its parasitoid, *Encarsia formosa*.

Stages	Species	Parameters	Control	TLC*
Developmental time	<i>T. vaporariorum</i>	Egg (days)	5.12 $\pm$ 0.06 ^b	5.93 $\pm$ 0.07 ^a
		L1 (days)	4.83 $\pm$ 0.16 ^a	5.09 $\pm$ 0.07 ^a
		L2 (days)	4.97 $\pm$ 0.20 ^a	4.64 $\pm$ 0.09 ^a
		L3 (days)	5.16 $\pm$ 0.12 ^a	4.58 $\pm$ 0.09 ^b
		L4 (days)	5.16 $\pm$ 0.12 ^a	4.29 $\pm$ 0.10 ^b
		Pre-adult duration (days)	25.93 $\pm$ 0.58 ^a	24.59 $\pm$ 0.18 ^b
	<i>E. formosa</i>	Survival of immature stages	0.66 $\pm$ 0.05 ^a	0.80 $\pm$ 0.04 ^a
		Egg-Larva (day)	7.47 $\pm$ 0.10 ^a	7.05 $\pm$ 0.05 ^a
		Pupa (day)	7.61 $\pm$ 0.10 ^b	12.50 $\pm$ 0.29 ^a
		Pre-adult duration (days)	15.13 $\pm$ 0.14 ^b	19.75 $\pm$ 0.25 ^a
Adult longevity and Fecundity	<i>T. vaporariorum</i>	Survival of immature stages	0.76 $\pm$ 0.07 ^a	0.18 $\pm$ 0.08 ^b
		Male Adult (days)	3.61 $\pm$ 0.36 ^a	2.21 $\pm$ 0.15 ^b
		Male total longevity(days)	28.91 $\pm$ 0.72 ^a	26.55 $\pm$ 0.30 ^b
		Female Adult (days)	5.60 $\pm$ 0.52 ^a	4.28 $\pm$ 0.29 ^b
		Female total longevity (days)	32.25 $\pm$ 0.57 ^a	29.05 $\pm$ 0.36 ^b
		APOP (days)	0.50 $\pm$ 0.15 ^b	0.90 $\pm$ 0.06 ^a
	<i>E. formosa</i>	TPOP (days)	27.15 $\pm$ 0.79 ^a	25.66 $\pm$ 0.29 ^a
		Oviposition period (days)	4.60 $\pm$ 0.53 ^a	2.77 $\pm$ 0.2 ^b
		Fecundity(eggs/female)	22.10 $\pm$ 3.98 ^a	4.87 $\pm$ 0.37 ^b
		Female Adult (days)	7.22 $\pm$ 0.14 ^a	6.75 $\pm$ 0.25 ^b
	<i>E. formosa</i>	Female total longevity (days)	22.35 $\pm$ 0.25 ^b	26.50 $\pm$ 0.29 ^a
		TPOP (days)	15.13 $\pm$ 0.14 ^b	19.75 $\pm$ 0.25 ^a
		Oviposition period (days)	6.96 $\pm$ 0.17 ^a	4.75 $\pm$ 0.25 ^b
		Fecundity(eggs/female)	36.63 $\pm$ 1.88 ^a	11.00 $\pm$ 1.35 ^b

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

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

TLC: Thiamethoxam-lambda cyhalothrin

جدول ۳- اثرات زیرکشدگی (LC_{30}) حشره کش تیمتوکسام-لامبدا سای هالوترین بر فراسنجه های جمعیت (میانگین $\pm$ خطای معیار) سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید آن، *Encarsia formosa*.

Table 3 Sublethal effects (LC_{30}) of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on the population parameters of *Trialeurodes vaporariorum* and its parasitoid, *Encarsia formosa*.

	Population parameters	Treatments	
		Control	TLC*
<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Intrinsic rate of increase (r) (day ⁻¹)	0.068 $\pm$ 0.009 ^a	0.028 $\pm$ 0.005 ^b
	Finite rate of population increase (λ) (day ⁻¹)	1.07 $\pm$ 0.01 ^a	1.02 $\pm$ 0.005 ^b
	Net reproductive rate (R_0) (offspring)	6.8 $\pm$ 1.72 ^a	2.20 $\pm$ 0.30 ^b
	Gross reproductive rate (GRR) (offspring)	16.34 $\pm$ 3.44 ^a	8.59 $\pm$ 1.22 ^b
	Mean generation time (T) (days)	28.09 $\pm$ 0.42 ^a	27.78 $\pm$ 0.31 ^a
	Intrinsic rate of increase (r) (day ⁻¹)	0.182 $\pm$ 0.006 ^a	0.031 $\pm$ 0.023 ^b
<i>Encarsia formosa</i>	Finite rate of population increase (λ) (day ⁻¹)	1.20 $\pm$ 0.007 ^a	1.03 $\pm$ 0.023 ^b
	Net reproductive rate (R_0) (offspring)	28.06 $\pm$ 3.16 ^a	2.00 $\pm$ 0.90 ^b
	Gross reproductive rate (GRR) (offspring)	41.13 $\pm$ 2.34 ^a	10.52 $\pm$ 1.54 ^b
	Mean generation time (T) (days)	18.24 $\pm$ 0.20 ^b	22.33 $\pm$ 0.34 ^a

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

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

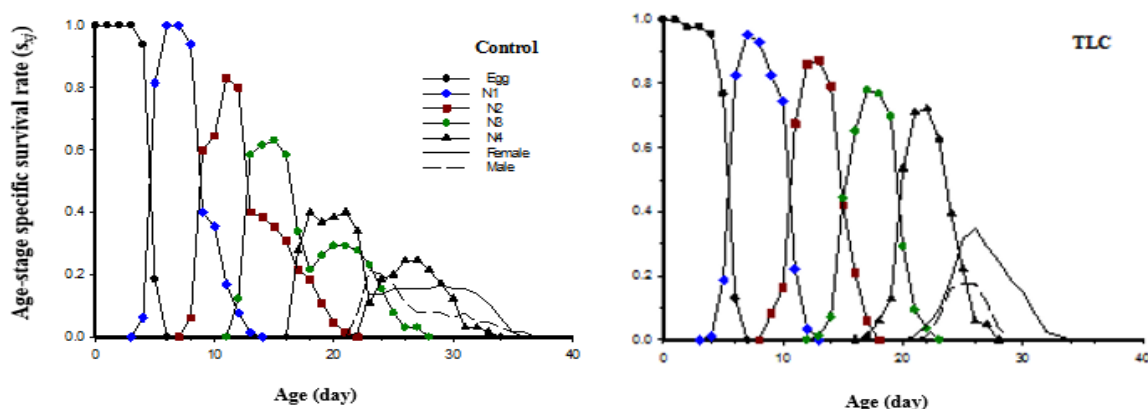
TLC: Thiamethoxam-lambda cyhalothrin; R_0 : net reproductive rate (offspring per female); GRR : gross reproductive rate (offspring per female); r_m : intrinsic rate of increase (per day); λ : finite rate of increase (per day); T : generation time (day)

اثرات زیرکشدگی تیمتوکسام-لامبدا سای هالوترین بر نرخ بقا، زادآوری ناخالص، زادآوری خالص، امید به زندگی و نرخ تولیدمثلی ویژه سنی سفیدبالک و زنبور پارازیتوئید. منحنی های مربوط به نرخ زندهمانی ویژه سن- مرحله زیستی سفیدبالک گلخانه (s_{ij}) تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره کش تیمتوکسام-لامبدا سای هالوترین 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 بدین ترتیب، امکان انطباق مراحل مختلف زیستی در مدت رشد و نمو میسر می شود. در حقیقت تفکیک نرخ زندهمانی به مراحل مختلف زیستی از جمله ویژگی های استفاده از آنالیز جدول زندگی دو جنسی ویژه سن- مرحله زیستی می باشد که در روش های سنتی تجزیه داده های جدول زندگی وجود

ندارد. بررسی منحنی باروری ویژه سنی ($l_x m_x$) و باروری ویژه سن- مرحله رشدی (m_x) نشان داد که حشرات کاملی که والدین آن‌ها تحت تاثیر حشره‌کش مذکور قرار گرفتند با تاخیر وارد مرحله تولیدمثلی شدند (۰/۹ روز عمر) و این در حالی است که حشرات کاملی که تحت تاثیر حشره‌کش تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوتترین قرار نگرفته بود سریع‌تر از تیمار حشره‌کش وارد این مرحله از زندگی (۰/۵ روز عمر) شدند. نرخ باروری ویژه سن-مرحله رشدی در حشرات ماده (نمف $m_x = 2/02$) و باروری ویژه سنی حشرات بالغ (نتاج $l_x m_x = 1/16$) در شاهد نسبت به تیمار حشره‌کش تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوتترین بیشترین میزان را داشت. کمترین باروری ویژه سنی حشرات بالغ در تیمار حشره‌کش (نتاج $l_x m_x = 0/44$) در روز عمر بوده است (شکل ۲).

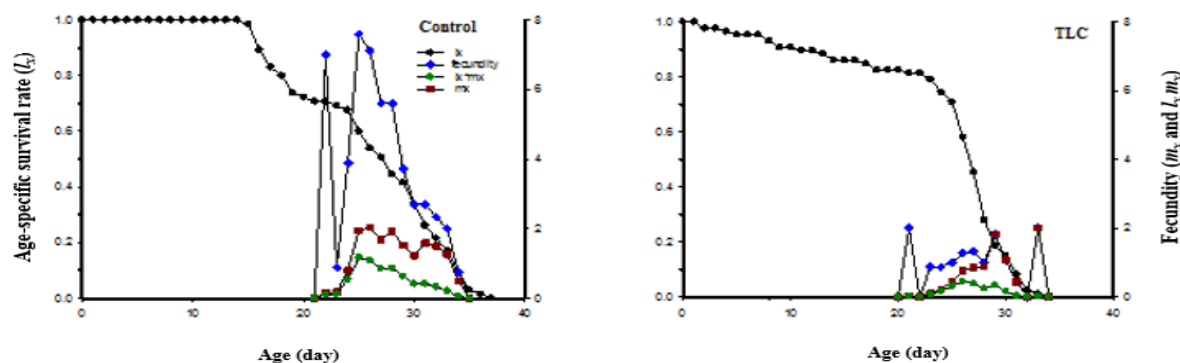
تاثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوتترین بر امید به زندگی ویژه سن-مرحله‌ای (e_{xj}) سفیدبالک در شکل ۳ نشان داده شده است. روز صفر امید به زندگی شاهد در تخم سفیدبالک گلخانه ۲۶/۳۸ روز بود، در صورتی که در غلظت زیرکشنده میزان امید به زندگی کاهش یافته و در روز صفر به ۲۴/۷۴ روز رسید. در شاهد اولین فرد ماده ۹/۱۸ روز امید به زندگی داشت، در حالی که در غلظت زیرکشنده حشره‌کش تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوتترین روند نزولی داشته و به ۷/۲۵ روز کاهش یافت. با توجه به نتایج به‌دست آمده، ارزش تولیدمثلی در ماده‌ها در شاهد ۳۳/۵۲ تخم و در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوتترین نسبت به شاهد کاهش یافته و به ۶/۸۴ تخم رسید که کاهش چشم‌گیری را نشان داد (شکل ۴). ارزش تولیدمثلی در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش داشته و تحت تاثیر حشره‌کش قرار گرفت. با کاهش میزان باروری و زنده‌مانی، به‌تدریج از مقدار این فراسنجه نیز کاسته شده و با رسیدن به مرحله پس از پوره‌زایی این مقدار به صفر رسید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ماده‌ها در شاهد پنج روز زودتر از تیمار ظاهر شدند و نرخ بقای ویژه سنی زنبور *E. formosa* در زمان ورود به مرحله حشره کامل ماده، با شاهد (۷۶ درصد) و تیمار حشره‌کش تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوتترین (۱۸ درصد) بود. به طوری که کاهش میزان نرخ بقای مرحله ماده بالغ در غلظت زیرکشنده حشره‌کش مورد آزمایش نسبت به شاهد مشاهده گردید (شکل ۵).

بررسی منحنی باروری ویژه سنی ($l_x m_x$) و باروری ویژه سن- مرحله رشدی (m_x) نشان داد که بیشترین مقدار باروری زنبور پارازیته *E. formosa* برای شاهد ثبت شد که ۷/۰۶ تخم در روز پانزده بود. باروری در تیمار، ۳/۰ تخم در روز نوزدهم بود. نرخ باروری ویژه سن-مرحله رشدی در حشرات ماده (نمف $m_x = 7/0$) و باروری ویژه سنی حشرات بالغ (نتاج $l_x m_x = 5/36$) در شاهد نسبت به تیمار حشره‌کش تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوتترین بیشترین میزان را داشت. کمترین باروری ویژه سنی حشرات بالغ در تیمار تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوتترین (نتاج $l_x m_x = 0/54$) در روز عمر بوده است (شکل ۶). امید به زندگی ویژه سنی-مرحله‌ای (e_{xj}) زنبور *E. formosa* در شاهد، اولین فرد ماده ۸/۳۴ روز امید به زندگی دارد در حالی که در غلظت زیرکشنده این رقم به ۷/۵ روز کاهش یافته است. مراحل نابالغ در تیمار زیرکشنده نسبت به شاهد تحت تاثیر سم قرار گرفته و افزایش طول دوره را نشان دادند (شکل ۷). با توجه به نتایج به‌دست آمده ارزش تولیدمثلی در زنبور در شاهد ۲۷/۵۹ تخم و در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش نسبت به شاهد کاهش یافته و به ۱۲/۴۸۸۴ تخم رسید که کاهش چشم‌گیری را نشان داد. ارزش تولیدمثلی مراحل نابالغ نیز در تیمار زیرکشنده نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. (شکل ۸).



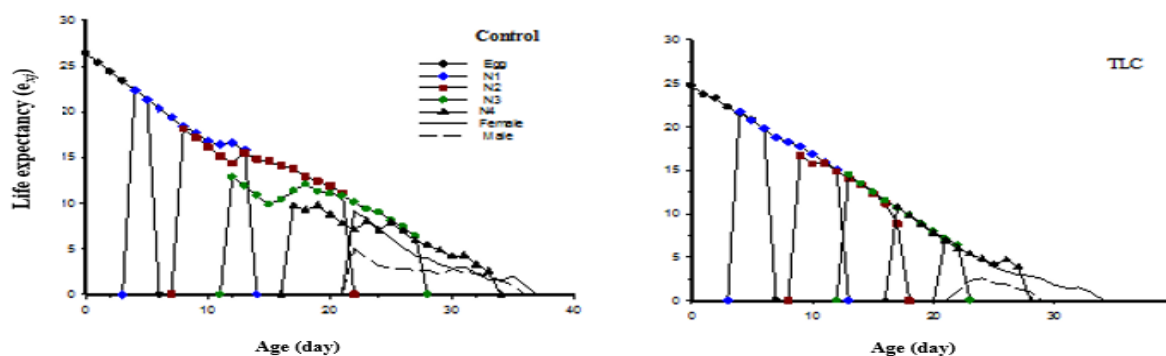
شکل ۱- اثرات زیرکشنده تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوتترین بر نرخ بقا ویژه سن-مرحله‌ای (s_{xj}) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Fig. 1. Sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin (TLC) on age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*



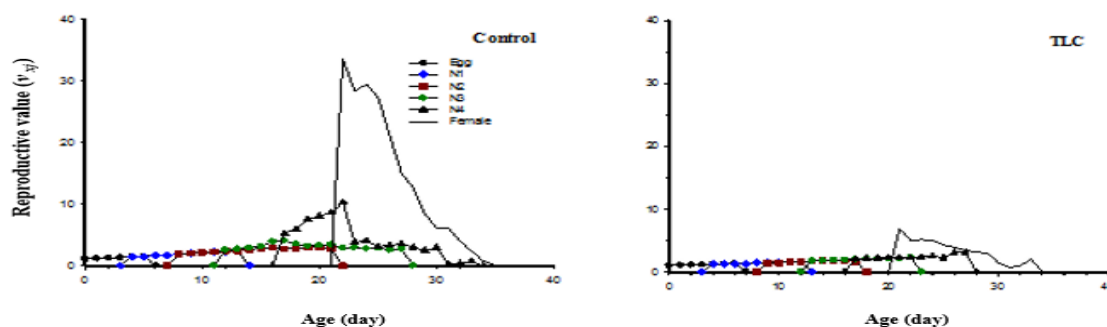
شکل ۲- اثرات زیر کشندهی تیامتوکسام-لامبدا سایهالوترین بر زندهمانی ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سن-مرحلهای (m_x) و باروری خالص روزانه ($l_x m_x$) سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Fig. 2. Sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin (TLC) on age-specific survival (l_x), age-stage specific fecundity (m_x) and net maternity ($l_x m_x$) of *Trialeurodes vaporariorum*



شکل ۳- اثرات زیر کشندهی تیامتوکسام-لامبدا سایهالوترین بر امید به زندگی سن-مرحلهای سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Fig. 3. Sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on life expectancy (e_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

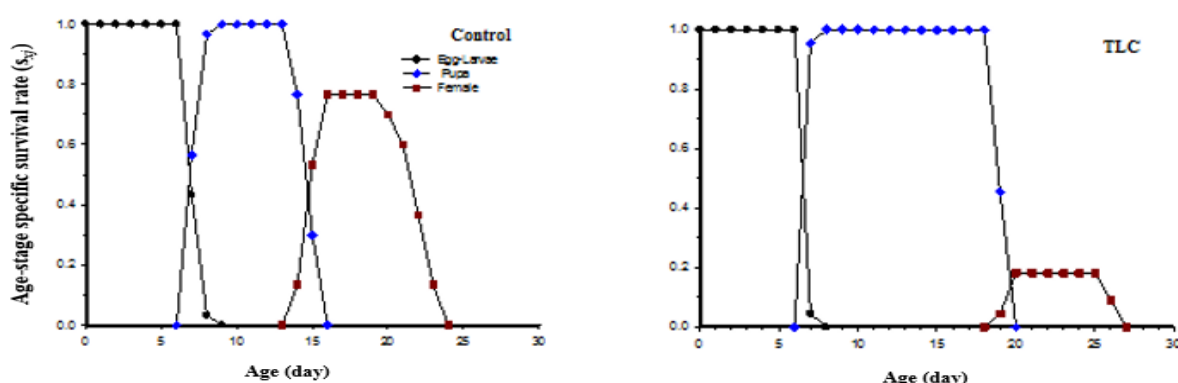


شکل ۴- اثرات زیر کشندهی تیامتوکسام-لامبدا سایهالوترین بر ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحلهای سفیدبالک گلخانه *Trialeurodes vaporariorum*

Fig. 4. Sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on age-stage-specific reproductive value (v_{xj}) of *Trialeurodes vaporariorum*

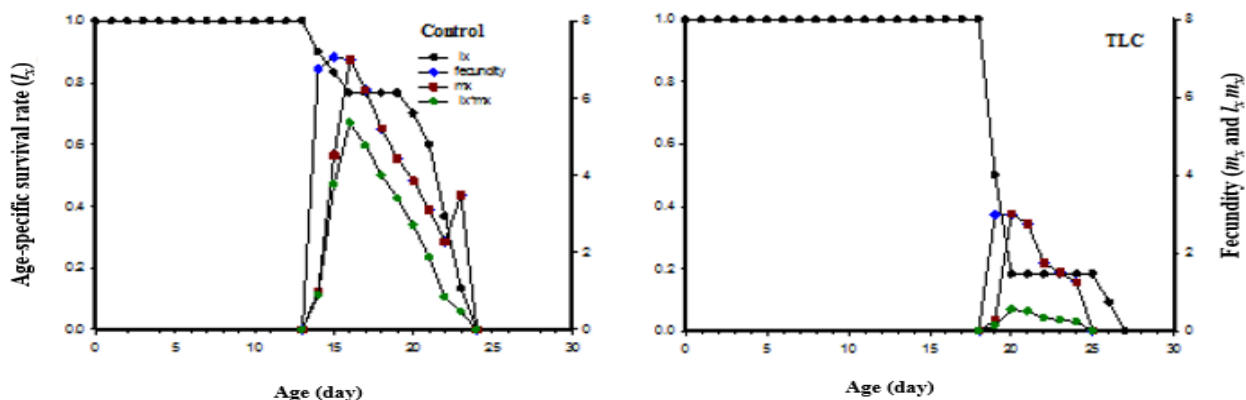
پیش بینی روند جمعیتی سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید. اثرات زیرکشندهی حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین بر تغییرات و پیش بینی رشد جمعیت سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید به تفکیک مرحله سنی حشره، بعد از گذشت شصت روز نشان داده شده است (شکل های ۹ و ۱۱). نتایج این تحقیق نشان داد که در صورت عدم استفاده از حشره کش (گروه شاهد)، اندازه جمعیت سفیدبالک و زنبور پارازیتوئید به علت بالا بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت بعد از گذشت دو ماه به بیشترین میزان خود می رسد در حالی که اگر در معرض غلظت زیر کشنده حشره کش قرار بگیرند، کمترین میزان رشد جمعیتی را تجربه خواهند کرد.

پیش بینی روند رشد جمعیت کل سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید در تیمارهای مختلف مورد مطالعه در یک بازه زمانی ۶۰ روزه در شکل های ۱۰ و ۱۲ نشان داده شده است. می دهد. بالاترین سرعت رشدونمو در تیمار شاهد و کمترین آن در حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین مشاهده گردید (شکل ۱۰). این مساله نشان می دهد که با کاهش غلظت توصیه شده یک حشره کش و استفاده از غلظت های زیر کشنده، ضمن کاهش میزان مصرف آفت کش، می توان سرعت رشد و نمو آفت را نیز کاهش داد. کاهش میزان مصرف آفت کش در زیست بوم های کشاورزی علاوه منجر به کاهش آلودگی های زیست محیطی می گردد.



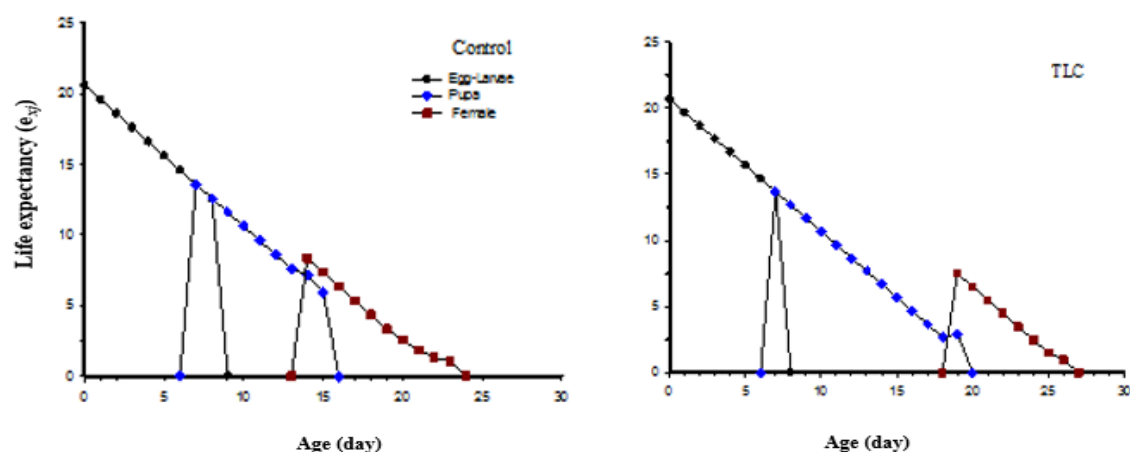
شکل ۵- اثرات زیرکشندهی تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین بر نرخ بقا ویژه سن-مرحله ای (s_{xj}) زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa*

Fig. 5. Sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Encarsia formosa*



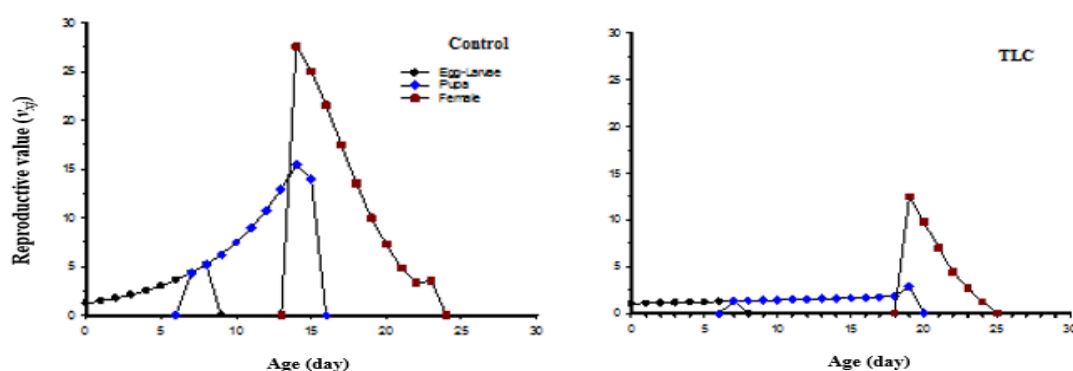
شکل ۶- اثرات زیرکشندهی حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین بر زندهمانی ویژه سنی (l_x)، باروری ویژه سن-مرحله ای (m_x) و باروری خالص روزانه ($l_x m_x$) زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa*

Fig. 6. Sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on age-specific survival (l_x), age-stage specific fecundity (m_x) and net maternity ($l_x m_x$) of *Encarsia formosa*



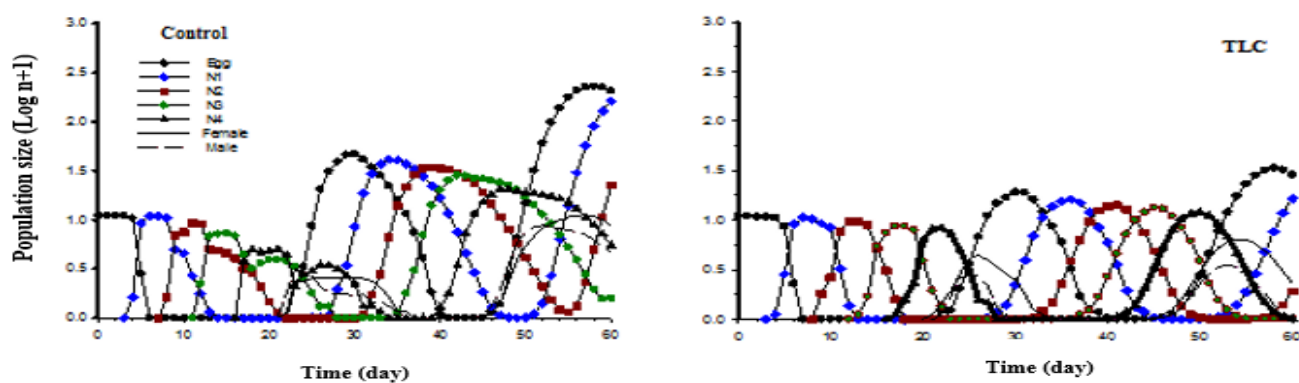
شکل ۷- اثرات زیرکشنده‌ی حشره‌کش تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین بر امید به زندگی سن-مرحله‌ای (e_{xj}) زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa*

Fig. 7. Sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on life expectancy(e_{xj}) of *Encarsia formosa*



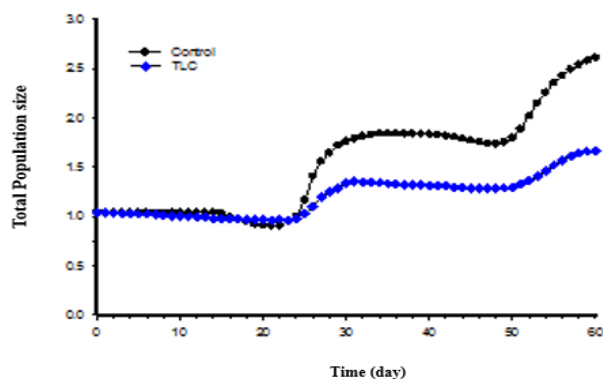
شکل ۸- اثرات زیرکشنده‌ی حشره‌کش تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین بر ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحله‌ای (v_{xj}) زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa*

Fig. 8. Sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on age-stage-specific reproductive value (v_{xj}) of *Encarsia formosa*.



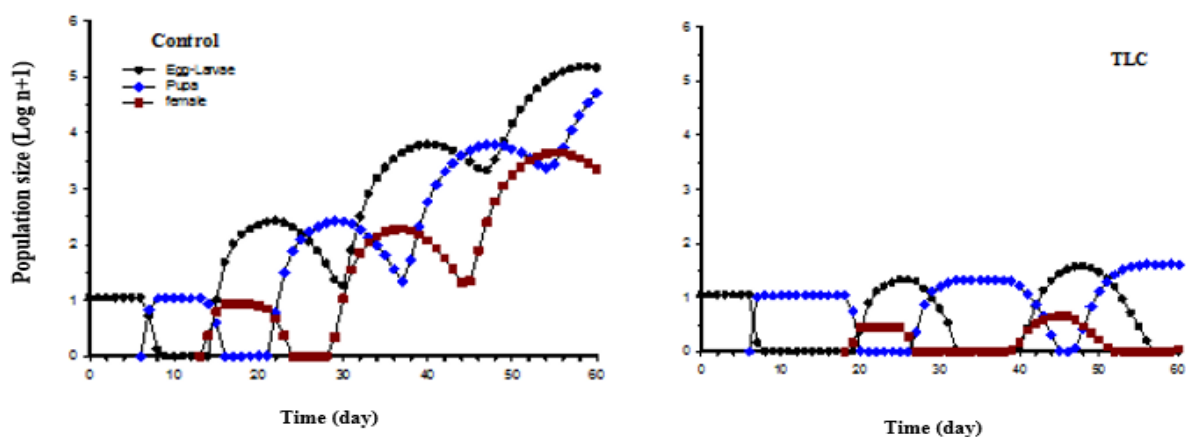
شکل ۹- پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار مرحله سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* تیمار شده با غلظت LC_{30} حشره‌کش تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز

Fig. 9. Projection of population growth potential and stage structure of *Trialeurodes vaporariorum* treated with LC_{30} of thiamethoxam-lambda cyhalothrin in comparison with control during 60 days



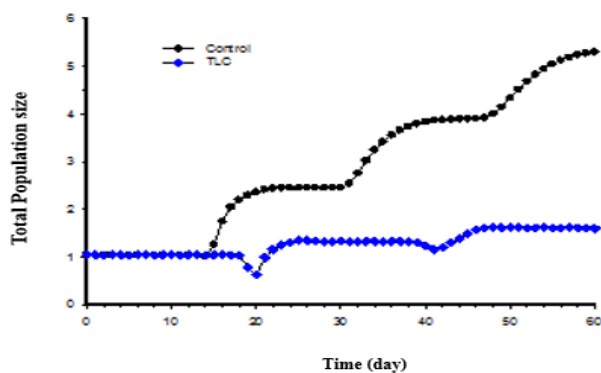
شکل ۱۰- رشد جمعیت کل *Trialeurodes vaporariorum* تیمار شده با غلظت LC_{30} حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین در مقایسه با تیمار شاهد در طول ۶۰ روز

Fig. 10. Population projection of *Trialeurodes vaporariorum* (total stage) treated with LC_{30} of thiamethoxam-lambda cyhalothrin (TLC) in comparison to control treatment during 60 days



شکل ۱۱- پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار مرحله زنبور پارازیتوئید، *Encarsia formosa* تیمار شده با غلظت LC_{30} حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین در مقایسه با شاهد در طول ۶۰ روز

Fig. 11. Projection of population growth potential and stage structure of *Encarsia formosa* treated with LC_{30} of thiamethoxam-lambda cyhalothrin in comparison with control during 60 days



شکل ۱۲- رشد جمعیت کل *Encarsia formosa* تیمار شده با غلظت LC_{30} حشره کش تیامتوکسام-لامبدا سای هالوترین در مقایسه با تیمار شاهد در طول ۶۰ روز

Fig. 12. Population projection of *Encarsia formosa* (total stage) treated with LC_{30} of thiamethoxam-lambda cyhalothrin in comparison to control treatment during 60 days

بحث

یکی از اهداف مدیریت تلفیقی آفات، امکان استفاده همزمان روش‌های کنترلی نظیر حشره‌کش‌های شیمیایی و دشمنان طبیعی برای مدیریت آفات می‌باشد، به‌طوری که روش‌های مورد استفاده باید بالاترین تاثیر را روی آفات و کم‌ترین اثر را روی دشمنان طبیعی نشان دهند (Chitgar & Ghadamyari, 2013). استفاده ناآگاهانه از هریک از روش‌ها به ویژه حشره‌کش‌ها می‌تواند اثرات جبران ناپذیری بر محیط زیست و موجودات غیرهدف داشته باشد (van Emden & Service, 2004). از این‌رو، استفاده از غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها گامی موثر در جهت کاهش اثر سوء آنها بر دشمنان طبیعی به شمار می‌رود. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات کشندگی و زیرکشنده گی تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین، با مطالعه فراسنجه‌های جدول زندگی و روند رشد جمعیتی سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید آن، *E. formosa*، انجام شد.

علت انتخاب سن سوم پورگی سفیدبالک جهت مطالعات زیست سنجی، حساسیت بالای پوره‌ها نسبت به تخم و حشرات کامل (Safavi & Bakhshaei, 2018; Ashtari, 2017; Ghahharri et al., 2007) و ترجیح بیشتر سنین سوم و چهارم پورگی سفیدبالک گلخانه توسط زنبور پارازیتوئید *E. formosa* بود (Hoseininaveh et al., 2012). در پژوهش حاضر نیز، استفاده از غلظت کشنده LC₅₀ تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین، باعث حساسیت پوره‌های سن سوم سفیدبالک گردید. جهت ارزیابی کارایی حشره‌کش، علاوه بر سمیت حاد و تعیین درصد تلفات می‌توان از سم شناسی دموگرافیک با تلفیق اثرات اکولوژیکی و سم شناسی بهره برد (Safavi & Bakhshaei, 2017). نتایج این تحقیق نشان داد که حشره‌کش تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین، علاوه بر اثرات کشندگی در ۲۴ ساعت بعد از تیمار (کوتاه مدت)، دارای اثرات زیرکشنده گی روی نسل اول نیز می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد غلظت زیرکشنده این حشره‌کش مراحل مختلف رشدی سفیدبالک گلخانه را تحت تاثیر قرار داده و باعث افزایش طول دوره تخم، کاهش طول عمر ماده، افزایش طول دوره پیش از تخم‌گذاری، کاهش دوره تخم‌گذاری و کاهش فراسنجه‌های نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ خالص و ناخالص تولیدمثل گردید. موارد محدودی از اثرات کشندگی و زیرکشنده گی این حشره‌کش بر سایر آفات از جمله شته مومی کلم (Mahmoodi et al., 2020) و *Ommatissus lybicus* (Dehghan et al., 2021) وجود دارد. مقایسه نتایج حاصله از اثرات کشندگی و زیرکشنده گی تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین روی سفیدبالک گلخانه در این تحقیق با یافته‌های (Mahmoodi et al., 2020) می‌توان به تفاوت نوع گونه، مرحله سنی مورد مطالعه ربط داد. در مطالعه‌ای که توسط Safavi & Bakhshaei (2017) انجام یافت، نتایج اثرات زیرکشنده گی (LC₃₀: 0.263ml/l) حشره‌کش تیاکلورپراید با کاهش طول عمر، باروری و کاهش فراسنجه‌های رشد جمعیتی حشرات ماده نظیر نرخ ذاتی افزایش جمعیت سفیدبالک گلخانه روی گیاه لوبیا همراه بود که همسو با یافته‌های این پژوهش بود. علت این تشابه را می‌توان به هم گروه بودن و مکانیسم عمل مشابه حشره‌کش تیاکلورپراید با تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین ربط داد (IRAC, 2023).

در این پژوهش، اثرات زیرکشنده گی تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین نه تنها فراسنجه‌های جدول زندگی سفیدبالک را تحت تاثیر قرار داد بلکه غلظت زیرکشنده آن، اثرات سوء روی زنبور داشته و منجر به افزایش طول دوره شفیرگی، کاهش طول عمر ماده، افزایش مرگ و میر مراحل نابالغ، کاهش تخم‌ریزی، کاهش نرخ ناخالص تولیدمثل و نرخ ذاتی افزایش جمعیت گردید. نتایج یافته‌های (Mousavi et al., 2023) که روی کنه شکارگر *Amblyseius swirskii* Athias Henriot انجام یافت، نشان داد که تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین اثرات زیرکشنده گی مشابهی همانند آنچه که روی زنبور پارازیتوئید در این پژوهش داشت، دارای اثرات سوء بر ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های جدول زندگی کنه شکارگر *A. swirskii* داشته بوده و با کاهش باروری، طول عمر، نرخ خالص تولید مثل و نرخ ذاتی افزایش جمعیت کارایی کنه شکارگر را تحت تاثیر قرار داده است. علت این تشابه را می‌توان به سازوکار عمل تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین نسبت داد. این حشره‌کش دارای اثر گوارشی و تماسی است که روی حشراتی با قطعات دهانی مکند و جونده توصیه شده است (Nikolova & Gorgieva, 2018; Sohrabi et al., 2012). در بررسی اثرات جانبی آفت‌کش‌های آمیتراز، بوپروفزین و پروپارزیت روی زنبور *E. formosa* توسط (Hoseininaveh et al., 2012) مشخص گردید که بوپروفزین و پروپارزیت برای زنبور جزئی آفت‌کش‌های ایمن بوده ولی استفاده از آمیتراز را در مدیریت سفیدبالک گلخانه‌ای به دلیل اثرات جانبی بیشتر بر زنبور پارازیتوئید *E. formosa* توصیه نکردند. مشابه با یافته‌های این پژوهش، در مطالعه (Drobnjaković & Marčić, 2021)، اثرات کشندگی (LC₅₀) برابر با ۶۰۰-۷۰۰ میلی‌گرم/لیتر، اسپیروترامات بر جمعیت‌های مختلف زنبور *E. formosa* با کاهش طول عمر زنبورهای بالغ و سرعت افزایش جمعیت همراه بود. به طوری که طول عمر حشرات کامل زنبور از ۱۰/۸ روز در تیمار شاهد به ۷/۳ روز در جمعیت هلندی رسید.

اثرات زیرکشنده گی تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین بر طول دوره زیستی سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید آن با کاهش طول عمر مراحل نابالغ و بالغ در سفیدبالک، و کاهش طول مرحله قبل شفیرگی و طول عمر حشرات کامل زنبور *E. formosa* همراه بود. کاهش طول عمر در نتیجه قرارگیری در معرض حشره‌کش‌ها برای بسیاری از آفات و دشمنان طبیعی گزارش شده است (Desneux et al., 2004, 2007). کاهش طول عمر می‌تواند مرتبط با غلظت زیرکشنده تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین باشد (Hoseininaveh et al., 2012). پیامدها و اثرات کاهش طول عمر روی دینامیسم جمعیت با ارزیابی فراسنجه‌های جدول زندگی قابل ارزیابی می‌باشد (Stark & Banks, 2000, 2003). نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه استفاده از غلظت زیرکشنده تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین از پتانسیل کنترلی بالایی برای سفیدبالک برخوردار بود ولی اثرات منفی بر فراسنجه‌های جدول زندگی زنبور پارازیتوئید داشت. فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت یکی از مهمترین فراسنجه‌های جدول زندگی و رشد جمعیتی پایدار برای تعیین نرخ رشد جمعیت حشره می‌باشد. این فراسنجه منعکس‌کننده اثرات تجمعی از رشد و نمو، تولیدمثل و بقا می‌باشد (Southwood & Handerson, 2000). اگرچه اختلاف معنی داری از نظر نرخ بقا مراحل قبل بلوغ سفیدبالک بین شاهد و تیامتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین وجود نداشت ولی، نتایج مربوط به منحنی بقا نشان داد که نرخ بقا در زنبور پارازیتوئید با کاهش همراه بود. کاهش طول عمر و نرخ بقا منجر به کاهش فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت و اثرات منفی بر سطوح جمعیتی زنبور شد (Stark & Banks, 2000, 2003). هر چه مقدار این فراسنجه بیشتر باشد نرخ افزایش جمعیت سریع‌تر و دور‌ترشد و نمو کوتاه‌تر خواهد بود (Medeiros et al., 2000). غلظت زیرکشنده گی حشره‌کش‌ها، اثرات سوء بر

E. formosa فراسنجه‌های جدول زندگی، ویژگی‌های رفتاری و جستجوگری زنبور دارد (He *et al.*, 2018). هرگونه تغییرات احتمالی در میزان تولیدمثل زنبور پارازیتوئید *E. formosa* را می‌توان به اثرات متقابل میزان-پارازیتوئید نسبت داد (Hoseininaveh *et al.*, 2012). کاهش در میزان تولیدمثل زنبور مذکور در این پژوهش را می‌توان به اختلالات فیزیولوژیکی سامانه تولیدمثلی و اختلالات رفتاری در تولیدمثل و جستجوگری این زنبور پارازیتوئید همانند سایر پارازیتوئیدها ربط داد (Desneux *et al.*, 2007; Hoseininaveh *et al.*, 2012).

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین از پتانسیل کنترلی بالاتری برای سفیدبالک گلخانه برخوردار بود به‌طوری که غلظت زیرکشنده آن توانست فراسنجه‌های جدول زندگی (زیستی و رشد جمعیتی) سفیدبالک را کاهش دهد، ولی تاثیر منفی روی ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های جدول زندگی زنبور پارازیتوئید *E. formosa* نیز داشت. از این‌رو، استفاده از آن در برنامه‌های مدیریت تلفیقی سفیدبالک گلخانه توصیه نمی‌شود و در صورت استفاده از آن باید احتیاط لازم را انجام داد. به عبارت دیگر پیش از استفاده تیمتوکسام-لامبدا سای‌هالوترین، باید از عدم فعالیت زنبور پارازیتوئید در محیط سمپاشی اطمینان حاصل کرد.

Author's Contributions

Sevda Dadras: methodology, formal analysis, investigation, draft preparation, final review and edit; **Fariba Mehrkhlo:** conceptualization, investigation, final review and edit, visualization, supervision and project administration; **Remzi Atlihan:** conceptualization, investigation, final review and edit, visualization, supervision and project administration **Maryam Fourouzan:** methodology, analysis data, final review and edit.

Author's Information

Sevda dadras	✉ sevdashad@yahoo.com	 https://orcid.org/0009-0008-5082-6114
Fariba Mehrkhlo	✉ f.mehrkhlo@urmia.ac.ir	 https://orcid.org/0000-0023-4220-8396
Remzi Atlihan	✉ ratlihan@yyu.edu.tr	 https://orcid.org/0000-0003-3924-7812
Maryam Fourouzan	✉ maryam_fourouzan@yahoo.com	 https://orcid.org/0000-0002-5440-3329

Funding

This research has received financial support from the Urmia University.

Data Availability Statement

All data supporting the findings of this study are available within the paper.

Acknowledgments

We are grateful from Urmia University for financial support.

Ethics Approval

Insects and plant were used in this study. All applicable international, national, and institutional guide lines for the care and use of animals were followed. This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Generative AI statement

The authors declare that no Gen AI was used in the creation of this manuscript.

REFERENCES

- Ashtari, S. (2018) Studies on the susceptibility of different developmental stages of *Bemisia tabaci* (Gennadius)] to pyriproxyfen and citowett oil. *Journal of Plant Protection* 31 (4), 639-644. <https://doi.org/10.22067/jpp.v31i4.60021>.
- Atlihan, R., Kasap, İ., Özgökçe, M. S., Polat-Akköprü, E. & Chi, H. (2017) Population growth of *Dysaphis pyri* (Hemiptera: Aphididae) on different pear cultivars with discussion on curve fitting in life table studies. *Journal of Economic Entomology* 110: 1890-1898. <https://doi.org/10.1093/jee/tox174>
- Bi, J. (2011) Development of an integrated greenhouse whitefly management program on strawberries. in T. Liu & Kang, L. (eds) Recent advances in entomological research: From molecular biology to pest management 404-416. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17815-3_23.
- Bughdady, A., Mehna, A. E. & Amin, T. (2020) Effectiveness of some synthetic insecticides against the whitefly *Bemisia tabaci* on tomato, *Lycopersicon esculentum*, Mill. and infestation impacts on certain photosynthetic pigments concentrations of tomato plant leaves. *Journal of Productivity and Development* 25(3), 307-321. <https://doi.org/10.21608/jpd.2020.126072>
- Capinera, J. L. (2008) Greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae). In J. L. Capinera (eds). Encyclopedia of entomology. 1835–1840. Springer. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands. Boston. MA. USA. London. UK.
- Chi, H. & Liu, H. (1985) Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, 225-240.
- Chi, H. (1988) Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology* 17(1), 26-34.
- Chi, H. (2020a) TWOSEX-MSChart: a computer program for age stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan; available from <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX-MSChart.rar>.
- Chi, H. (2020b) TIMING-MSChart: a computer program for the population projection based on age-stage, two-sex life table. Taichung, Taiwan: National Chung Hsing University; Available from <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TimingMSChart.rar>.
- Chitgar, M. G. & Ghadamyari, M. (2013) Effects of amitraz on the parasitoid *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae) for control of *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera: Aleyrodidae): *IOBC methods. Journal of the Entomological Research Society* 15(1), 61-69.
- Costa, A. S. (1976) Whitefly-transmitted plant diseases. *Annual Review of Entomology* 14: 429–449.
- Dehghan, A., Payandeh, A. & Imani, S. (2021) Lethal and sublethal effects of Eforia on the reproduction, development and feeding behavior of *Ommatissus lybicus* (Hemiptera: Tropicoduchidae). *International Journal of Tropical Insect Science* 41, 123-130. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00183-y>.
- Desneux, N., Wajnberg, E., Fauvergue, X., Privet, S. & Kaiser, L. (2004) Sublethal effects of a neurotoxic insecticide on the oviposition behaviour and the patch-time allocation in two aphid parasitoids, *Diaeretiella rapae* and *Aphidius matricariae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 112, 227-235. <https://doi.org/10.1111/j.0013-8703.2004.00198.x>.
- 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>.
- Drobnjaković, T. & Marčić, D. (2021) Effects of spirotetramat insecticide on life history traits and population growth of *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Biocontrol Science and Technology* 31(6), 604-618. <https://doi.org/10.1080/09583157.2021.1873248>.
- Drobnjaković, T., Marčić, D., Prijović, M. & Milenković, S. (2019) Toxic and sublethal effects of buprofezin on the whitefly parasitoid *Encarsia formosa* Gahan. *Pesticidi i fitomedicina*, 34(3-4): 201-209. <https://doi.org/10.2298/PIF1904201D>.
- Drobnjaković, T., Marčić, D., Prijović, M., Perić, P., Milenković, S. & Bošković, J. (2018) Sublethal effects of NeemAzal-T/S botanical insecticide on Dutch and Serbian populations of *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Biocontrol Science and Technology* 28(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/09583157.2017.1409336>.
- Gerling, D. (1990) Whiteflies: their bionomics, pest status and management. Intercept Limited, Andover, UK.
- Ghahhari, H., Imani S. & Parvanak k. (2007) Effect of two insect growth regulators on *Trialeurodes vaporariorum*, *Journal of Agriculture* 9(2), 77-89.
- He, Z., Liu, Y., Wang, L., Guo, Q., Ali, S., Chen, X. S. & Qiu, B. L. (2018) Risk assessment of two insecticides on *Encarsia formosa*, parasitoid of whitefly *Bemisia tabaci*. *Insects* 9(3): p.116. <https://doi.org/10.3390/insects9030116>.

- Heidari, A., Alford, L. & Kishani Farahani, H. (2015) Effects of three insecticides on adult bionomics of the parasitoid *Encarsia formosa*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 48(17-20): 898-909. <https://doi.org/10.1080/03235408.2016.1142926>.
- Hoseininaveh, V., Salehi, L., Ghadamyari, M. & Gholamzadeh, M. (2012) Effects of amitraz, buprofezin and propargite on some fitness parameters of the parasitoid *Encarsia formosa* (Hym.: Aphelinidae), using life table and IOBC methods. *Journal of Entomological Society of Iran* 31(2):1-14.
- IRAC, (2023) IRAC MoA classification scheme (version 10.6). <https://irac-online.org/documents/moa-classification/>.
- Lozowicka, B., Abzeitova, E., Sagitov, A., Kaczynski, P., Toleubayev, K. & Li, A. (2015) Studies of pesticide residues in tomatoes and cucumbers from Kazakhstan and the associated health risks. *Environmental Monitoring and Assessment* 187, 609. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4818-6>.
- 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>.
- Mousavi, A., Kheradmand, K., Mosallanejad, H., Fathipour, Y. & Havasi, M. R. (2023) Effect of low lethal concentrations of Eforia on biological parameters of the predatory mite *Amblyseius swirskii*. *Journal of Crop Protection*, 12(1). 65-77.
- Medeiros, G. F., Mendes, A., Castro, R. A., Baú, E. C., Nader, H. B. & Dietrich, C. P. (2000) Distribution of sulfated glycosaminoglycans in the animal kingdom: widespread occurrence of heparin-like compounds in invertebrates. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1475(3): 287-294. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(00\)00079-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(00)00079-9).
- 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>.
- Nikolova, I. & Georgieva, N. (2018) Effect of biological products on the population of aphids and chemical components in alfalfa. *Banat's Journal of Biotechnology* 9(18). [https://doi.org/10.7904/2068-4738-IX\(19\)-43](https://doi.org/10.7904/2068-4738-IX(19)-43).
- Oliveira, M. R. V., Amancio, M., Laumann, R. A. & de O. Gomes, L. (2003) Natural enemies of *Bemisia tabaci* (Gennadius) B biotype and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) in Brasília, Brazil. *Neotropical Entomology* 32 (1): 151-154. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000100023>.
- Pappas, M. L., Migkou, F. & Broufas, G. D. (2013) Incidence of resistance to neonicotinoid insecticides in greenhouse populations of the whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) from Greece. *Applied Entomology and Zoology* 48(3), 373-378. <https://doi.org/10.1007/s13355-013-0197-z>.
- Polaszek, A., Evans, G. A. & Bennett, E. D. (1992) *Encarsia* parasitoids of *Bemisia tabaci* (Hymenoptera: Aphelinidae, Homoptera: Aleyrodidae): A preliminary guide to identification. *Bulletin of Entomological Research* 82(3): 375– 392. <https://doi.org/10.1017/S0007485300041171>
- Rashidi, F. & Ganbalani, G. N. (2018) Toxicity and sublethal effects of selected insecticides on life parameters of *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae), a parasitoid of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Entomological Science* 53(4), 543-553. <https://doi.org/10.18474/JES18-03.1>.
- 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.
- 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.
- 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.
- Sharifiyan, M., Mehrkhou, F. & Negahban, M. (2024) Lethal and sublethal effects of *Mentha piperita* L. and its nanoformulation form on the biological and population growth parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) under laboratory conditions. *Journal of Entomological Society of Iran* 44 (1), 25-41. <https://doi.org/10.22117/jesi.2024.363757.1557>.
- Sohrabi, F., Shishehbor, P., Saber, M. & Mosaddegh, M. S. (2012) Lethal and sublethal effects of buprofezin and imidacloprid on the whitefly parasitoid *Encarsia inaron* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Crop Protection* 32: 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.10.005>.
- Southwood, T. R. E. & Handerson, P. A. (2000) Ecological methods. 3rd Edition, Wiley-Blackwell Science. Hoboken. 575.

- Stark, J. D. & Banks, J. (2000) The toxicologists. and ecologists. point of view-unification through demographic approach. In J., Kammege & R. Laskowski (eds). *Demography in Ecotoxicology*. pp. 9-23, John Wiley and Sons. New York.
- Stark, J. D. & Banks, J. E. (2003) Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology* 48: 505-519. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621>.
- van Emden, H. F. (2004) Pest and vector control. Cambridge University Press.
- Wilkinson, J. D., Biever, K.B. & Ignoffo, C. M. (1979) Synthetic pyrethroid and organophosphate insecticides against the parasitoid *Apanteles marginiventris* and the predators *Geocoris punctipes*, *Hippodamia convergens* and *Podisus maculiventris*. *Journal of Economic Entomology* 72(4), 473-475. 1

Citation: Dadras, S., Mehrkhou, F., Atlihan, R. & Fourouzan, M. (2025) The sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on the life table parameters and the population prediction of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, and its parasitoid, *Encarsia formosa*, under laboratory conditions. *J. Entomol. Soc. Iran*, 45 (3), 429–444.

DOI: <https://doi.org/10.61186/jesi.45.3.9>

URL: https://jesi.areeo.ac.ir/article_131275.html



The sublethal effects of thiamethoxam-lambda cyhalothrin on the population growth performance of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, and its parasitoid, *Encarsia formosa*, under laboratory conditions

Sevda Dadras¹, Fariba Mehrkhou¹, Remzi Atlihan² & Maryam Fourouzan³

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

2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye

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

Abstract. The greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae), is one of the most important pests of vegetables and ornamental plants. In this research, the effects of sub-lethal concentration (LC₃₀) of thiamethoxam-lambda cyhalothrin (TLC) on the biological properties, life table parameters and population projection of *T. vaporariorum* and its parasitoid, *Encarsia formosa*, Gahan were studied at controlled conditions [25 ± 2 °C, R.H. 60 ± 10 % and a photoperiod of 16:8 h (L:D)]. Bioassays were conducted by dipping tomato leaves containing third-instar nymphs of the greenhouse whitefly in the obtained LC₃₀ concentration of TLC. The life table data were analyzed using the computer program, TWOSEX-MSChart, based on the age-stage, two-sex life table theory. The results showed that the sublethal concentration of the above-mentioned insecticide had an impact on the population growth of greenhouse whiteflies by shortening their development time and adult lifespan as well reducing their fecundity. The LC₃₀ concentration of TLC had also negative effects on the life history and life table parameters of *E. formosa*. The results illustrated that the sublethal concentration of TLC resulted in prolonged developmental time, decreased adult longevity, survival rate, and population growth parameters of *E. formosa*. The population projection results were in accordance with the population growth parameters of the greenhouse whitefly and *E. formosa*. We concluded that TLC should not be used in integrated pest management programs where *E. formosa* exists.

Article Info

Received: 31 July 2024
Accepted: 29 April 2025
Published: 20 July 2025

Subject Editor: Mohammad Ghadamyari

Corresponding author: Fariba Mehrkhou
mail: f.mehrkhou@urmia.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.61186/jesi.45.3.9>

Keywords: Greenhouse pest, parasitoid wasp, neonicotinoide, pyrethroid, population dynamics