تحقیقات آفات گیاهی

علمی پژوهشی ۱۴۰۵ -۱۶(۱): ۴۹-۶۵	https://doi.org/10.22124/iprj.2026.33432.1685	pISSN:2322-2409 eISSN: 2538-6123

OPEN ACCESS

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و تلفیق امامکتین بنزوات با استامی پراید بر فراسنجه‌های زیستی زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa*

نازی رشادت سلوانق[۱]
https://orcid.org/0000-0003-4220-6165
فریبا مهرخو [۲*]
https://orcid.org/0000-0023-4220-8396
شهرام آرمیده [۳]
https://orcid.org/0009-0005-0912-5381
۱، ۲ و ۳- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
مریم فروزان [۴]
https://orcid.org/0000-0002-5440-3329
۴- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

چکیده: حشره‌کش‌های شیمیایی برای کنترل سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* به طور گسترده استفاده می‌شوند که ممکن است اثرات زیرکشنده‌ای بر زنبور پارازیتوئید غالب آن، *Encarsia formosa* ، داشته باشند. در این مطالعه، اثرات زیرکشنده (LC_{25}) حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و تلفیق امامکتین بنزوات با استامی‌پراید بر فراسنجه‌های جمعیتی و تولیدمثلی *E. formosa* بررسی شد. بررسی‌های زیرکشندگی با روش فروبردن برگ‌های گوجه‌فرنگی حاوی پوره‌های سن سوم پارازیت‌شده سفیدبالک گلخانه (مصادف با مرحله شفیرگی زنبور) درون غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها انجام شد. داده‌های جدول زندگی بر اساس جدول زندگی دو جنسی سن- مرحله نشوونمایی تحلیل شدند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین طول عمر حشرات کامل ماده، طول دوره تخم‌ریزی و باروری به‌ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد (۰/۱۹ ±۵/۱۶ روز، ۴/۰±۶۳/۲۷ روز و ۱۷/۹۵±۱/۳۴ تخم) و آلفاسایپرمترین بود (۰/۱۹ ±۲/۲۵ روز، ۱/۲۹±۰/۱۳ روز و ۲/۰۰±۰/۲۷ تخم). همچنین حشرات کامل ماده مربوط به نسل اول (F_1) زنبور پارازیتوئیدکه تحت تاثیر غلظت زیرکشنده آلفاسایپرمترین فرار گرفته بودند، با تاخیر وارد مراحل دوره پیش از تخم‌ریزی و کل دوره پیش از تخم‌ریزی بیشتری نسبت به تیمار امامکتین بنزوات+ استامی‌پراید شدند. نتایج به‌دست‌آمده از فراسنجه‌های رشد جمعیت (R_0، r و λ) نشان داد که کمترین میزان فراسنجه‌های مذکور مربوط به حشره‌کش آلفاسایپرمترین (به‌ترتیب ۱/۳۱±۰/۲۴ نتاج/ماده/روز، ۰/۰۱۰۱ ±۰/۰۱۴۷ بر روز و ۰/۰۱ ±۱/۰۱ بر روز) بود. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد آلفاسایپرمترین اثرات زیرکشنده شدیدتری بر *E. formosa* نسبت به امامکتین+ بنزوات داشت که استفاده از آن در برنامه‌های مدیریت تلفیقی سفیدبالک گلخانه نیازمند احتیاط بیشتری است.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۵/۱/۱۲
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۵/۳/۲۰

واژه‌های کلیدی: جدول زندگی، سفیدبالک گلخانه، فراسنجه‌های رشد جمعیت، مدیریت تلفیقی آفت

***Citation*:** 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. **DOI: https://doi.org/10.22124/iprj.2026.33432.1685**

*Corresponding author: f.mehrkhou@urmia.ac.ir

Journal of Plant Pest Research is published by University of Guilan
This journal is an open access journal licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC BY 4.0)

مقدمه

سفیدبالک گلخانه، *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) از جمله مخرب‌ترین آفات در کشت‌های گلخانه‌ای محسوب می‌شود که به طیف وسیعی از محصولات سبزی، صیفی و زینتی خسارت وارد می‌کند (Perić *et al*., 2013; Reshadat Salvanagh *et al*., 2024). این آفت نه‌تنها از طریق تغذیه مستقیم از شیره گیاهی و ترشح عسلک موجب ضعف گیاه میزبان می‌شود (Stansly & Natwick, 2010)، بلکه به‌عنوان ناقل مهم ویروس‌های گیاهی خطرناکی نظیر ویروس پیچیدگی برگ زرد گوجه‌فرنگی (TYLCV) نیز عمل می‌کند و خسارت‌های اقتصادی جبران‌ناپذیری را به بار می‌آورد (Karatolos *et al*., 2010; Safavi & Bakhshaei, 2017). در بیشتر کشورها، به‌ویژه ایران، کنترل سفیدبالک‌ها به‌طور عمده بر پایه کاربرد حشره‌کش‌های شیمیایی استوار است (Whalon *at al*., 2008; Manzano & van Lenteren, 2009). با توجه به اینکه این آفت اغلب در سطح زیرین برگ‌های گیاه میزبان فعالیت می‌کند، میزان تماس مؤثر آن با حشره‌کش‌ها محدود بوده و این امر به مصرف مکرر و بی‌رویه حشره‌کش‌ها و در نتیجه، تسریع در شکل‌گیری مقاومت آفات نسبت به آفت‌کش‌ها و کاهش جمعیت و کارایی دشمنان طبیعی منجر می‌شود (Vassiliou *et al*., 2011; Cuthbertson *et al*., 2012; Basit *et al*., 2013). سازگاری آفت‌کش‌ها و عوامل کنترل بیولوژیک، دغدغه اصلی برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات (IPM) است؛ چرا که دشمنان طبیعی می‌توانند به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم از طریق بقایای آفت‌کش، گرده و طعمه آلوده با آفت‌کش‌ها مواجه شوند (Wu *et al*., 2022; Agathokleous *et al*., 2023). بنابراین، ارزیابی اثرات بالقوه آفت‌کش‌های شیمیایی بر حشرات غیرهدف، برای ادغام هرچه بهتر روش‌های کنترل بیولوژیک و شیمیایی ضروری است.

زنبور *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) یک پارازیتوئید مهم است که برای کنترل بیولوژیک سفیدبالک‌ها در محصولات گلخانه‌ای استفاده می‌شود و به عنوان یک الگو برای کنترل بیولوژیک در سطح جهانی مطرح شده است (Wang *et al*., 2019). کاربرد گسترده حشره‌کش‌ها، به‌ویژه در غلظت‌های پایین (پس از سم‌پاشی) از طریق اثرات زیرکشنده، موجودات غیرهدف را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Desneux *et al*., 2007) و می‌تواند تلفیق کنترل شیمیایی و عوامل کنترل بیولوژیک برای مهار آفات را با مشکل مواجه نماید. رفتارهای جستجوگری یا میزبان‌یابی زنبور *E. formosa* در نتیجه برخورد یا تماس مستقیم با قطرات سمپاشی و باقیمانده‌های برخی از انواع حشره‌کش‌ها، هم‌چنین از طریق تماس با گیاهان یا میزبان‌های آلوده و یا تغذیه از آن‌ها ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد (Drobnjaković & Marčić, 2021). این اثرات می‌تواند شامل کاهش طول عمر، کاهش باروری، تغییر نسبت جنسی، اختلال در رفتار جست‌وجوی میزبان و کاهش توان رشد جمعیتی پارازیتوئیدها باشد (Stark *et al*., 2004; Desneux *et al*., 2006; Desneux *et al*., 2007). باروری، حساس‌ترین شاخص زیستی است که تحت تاثیر حشره‌کش‌ها قرار می‌گیرد و کاهش در میزان باروری یک دشمن طبیعی از توانایی آن برای تنظیم جمعیت میزبان خود می‌کاهد. غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌ها به‌طور معمول باروری و زادآوری حشرات ماده را با کاهش مستقیم تخم‌ریزی یا کاهش درصد تفریخ تخم تحت تاثیر قرار می‌دهند (Croft, 1990). در نتیجه، این پیامدها ممکن است در بلندمدت، با تضعیف کارایی عوامل کنترل بیولوژیک یا کاهش عملکرد آنها، به شکست پنهان برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات منجر شوند (Desneux *et al*., 2007; Asadi *et al*., 2019).

جدول زیستی به‌عنوان یک روش مناسب برای بررسی اثرات کلی حشره‌کش‌ها پیشنهاد شده‌است، چون تمام اثرات یک ترکیب سمی را روی جمعیت مورد آزمایش مشخص می‌کند (Mardani *et al*., 2016). نرخ ذاتی رشد جمعیت یا r به‌عنوان بهترین فراسنجه جدول زندگی برای مطالعه اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌ها روی حشرات پیشنهاد شده است، زیرا این فراسنجه اثرات همه جانبه روی رشد، تولیدمثل و بقا را منعکس می‌کند (Southwood & Handerson, 2009).

پژوهش‌های متعددی به بررسی اثرات جانبی حشره‌کش‌های اسپینتورام (Drobnjacovic *et al*., 2025)، پیری‌پروکسی فن و سیانترینیلی‌پرول (Wang *et al*., 2019)، بوپروفزین و فن‌پروپاترین (Heidari *et al*., 2015)، اسپیروتترامات (Drobnjacovic & Marcic, 2021) و آبامکتین (Rashidi & Ghanbalani, 2018) بر فراسنجه‌های زنبور پارازیتوئید *E. formosa* پرداخته‌اند. حشره‌کش آلفا-سایپرمترین (با نام تجاری روبی)، دارای اثرات تماسی، گوارشی و ضربه‌ای سریع بر طیف گسترده‌ای از حشرات با قطعات دهانی ساینده، زننده و مکنده است (Baruah & Chaurasia, 2020). این ترکیب از گروه پایرتروئیدها است و مکانیسم اثر آن از طریق تأثیر بر کانال‌های سدیم-پتاسیم سیستم عصبی حشرات انجام می‌شود و در دسته‌بندی IRAC با عنوان تعدیل‌کننده‌های کانال سدیم گروه سوم قرار دارد (Soderlund, 2012). سمیت بالای این حشره‌کش‌ها به‌طور عمده به خاصیت چربی‌دوست بودن آن‌ها مربوط است که امکان جذب سریع در غشاها و بافت‌های حشرات را فراهم می‌کند (Oros *et al*., 2005; Gao *et al*., 2016).

امامکتین بنزوات، یک حشره‌کش با اثر تماسی و گوارشی از گروه آورمکتین‌ها است که از تخمیر باکتری *Streptomyces avermitilis* حاصل می‌شود (Govindan *et al*., 2010). مکانیسم اثر آن، تحریک گیرنده‌های GABA با میل ترکیبی بالا و سپس افزایش نفوذپذیری یون کلر است (Sallard *et al*., 2021). همچنین، استامی‌پراید، شته‌کش تماسی و گوارشی از گروه نئونیکوتینوئیدهاست و به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص، کاربرد گسترده‌ای در کنترل آفات مختلف دارد. این ترکیب عملکرد گیرنده‌های استیل‌کولین در فضای پس سیناپسی را مختل می‌سازد و منجر به تلفات آن‌ها می‌شود (Matsuda *et al*., 2005). این حشره‌کش‌ها توسط سازمان حفظ نباتات کشور برای کنترل آفات توصیه شده‌اند (Noorbakhsh, 2021).

به منظور درک کامل خطرات زیست‌محیطی مرتبط با مصرف آفت‌کش‌ها و امکان تلفیق آنها با عوامل کنترل بیولوژیک آفات در چارچوب مدیریت تلفیقی، ارزیابی اثرات حاد و زیرکشنده آنها بر موجودات غیرهدف به‌ویژه دشمنان طبیعی برای تدوین راهبردهای مدیریت کنترل کارآمد آفات ضروری است. بنابراین، اثرات جانبی حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و تلفیق امامکتین بنزوات با استامی‌پراید بر فراسنجه‌های جدول زندگی و رشد جمعیتی زنبور پارازیتوئید *E. formosa* در شرایط آزمایشگاهی، با هدف امکان سازگاری حشره‌کش‌های مذکور با برنامه‌های رهاسازی این زنبور پارازیتوئید در مدیریت تلفیقی سفیدبالک گلخانه، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

کشت گیاه میزبان

برای پرورش سفیدبالک گلخانه و زنبور پارازیتوئید، بذرهای گوجه فرنگی (رقم فرمونت) ابتدا در سینی‌های نشا کاشته شدند و بعد از ۳-۴ برگی‌شدن آنها، نشاهای گوجه فرنگی به گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۱۸ و ارتفاع ۲۵سانتی‌متری حاوی خاک مزرعه، پیت ماس و هوموس به نسبت ۱: ۱: ۱ منتقل و از آنها در آزمایش‌های دموگرافی استفاده شد. به‌منظور جلوگیری از آلوده شدن گلدان‌ها به آفات دیگر نظیر شته‌ها، تریپس‌ها و کنه‌ها، پرورش و نگهداری آنها در یک اتاق رشد ایزوله و داخل قفس‌های چوبی به ابعاد ۵۰×۶۰×۹۰ سانتی‌متر مکعب صورت گرفت (Reshadat Salvanagh *et al*., 2024). در طول انجام آزمایش‌ها، کاشت بوته‌های گوجه‌فرنگی هر سه ماه یکبار تجدید شد و همچنین هیچگونه عملیات سمپاشی طی کشت گلخانه‌ای روی این گیاهان صورت نگرفت. گیاهان در گلخانه با شرایط دمایی ۲ ±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت روشنایی و تاریکی نگهداری شدند (Abdollahzadeh- Bovani, 2024).

پرورش سفیدبالک گلخانه

به‌منظور پرورش سفیدبالک گلخانه، *T. vaporariorum*، برگ‌های آلوده به مراحل مختلف زیستی این آفت، از گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه جمع‌آوری و به آزمایشگاه گیاه‌پزشکی انتقال داده شدند. برای هم‌سن‌سازی کلنی سفیدبالک گلخانه، حشرات کامل آن روی گلدان‌های گوجه‌فرنگی درون قفس‌های چوبی به ابعاد ۵۰×۶۰×۹۰ سانتی‌متر مکعب رهاسازی شدند

و بعد از ۲۴ ساعت، حشرات کامل سفیدبالک گلخانه از قفس‌ها حذف شدند. بدین‌ترتیب تخم‌های هم‌سن از سفید بالک گلخانه به‌دست آمد و بعد از گذشت حدود ۲۲ روز، جمعیت زیادی از سفیدبالک روی بوته‌های گوجه‌فرنگی ایجاد و کلنی با جمعیت کافی برای انجام آزمایش‌ها فراهم شد (Reshadat Salvanagh, 2021). شایان ذکر است که حشرات قبل از استفاده در آزمایش‌ها، حداقل به مدت دو تا سه نسل روی گیاه میزبان پرورش داده شدند.

پرورش زنبور پارازیتوئید

پرورش زنبور پارازیتوئید روی گیاهان گوجه فرنگی آلوده به سفیدبالک، مشابه روش عبدالله‌زاده بوانی (Abdollahzadeh-Bovani, 2024) اجرا شد. بدین منظور، برگ‌های حاوی پوره‌های پارازیته‌شده سفید بالک، از گلخانه دانشگاه ارومیه جمع‌آوری شدند. پس از اطمینان از گونه زنبور، پرورش آن روی کلنی‌های سفیدبالک درون قفس‌های رشد انجام شد. پس از ظهور حشرات کامل، زنبورهای با طول عمر۲۴ ساعت، برای هم سن‌سازی کلنی زنبور پارازیتوئید استفاده شد. تغذیه زنبورها با کاغذهای نواری آغشته به آب عسل ۱۰٪ صورت گرفت. پرورش سفیدبالک و زنبور پارازیتوئید در شرایط کنترل‌شده (دمای ۵ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) انجام گرفت.

حشره‌کش‌های مورد استفاده

در این پژوهش از حشره‌کش‌های امامکتین بنزوات ۴/۸ درصد+ استامی پراید ۶/۴ درصد با فرمولاسیون EC 11.2% شرکت آریسان به شیمی البرز و آلفاسایپرمترین (روبی®) ۱۰۰ و فرمولاسیون (SC10%) از شرکت بصیر شیمی، Tagros استفاده شد.

آزمون زیست‌سنجی پوره سن سوم سفیدبالک گلخانه

غلظت‌های توصیه‌شده روی برچسب فرمولاسیون تجاری آفت‌کش‌های مورد استفاده، برای حشره‌کش ترکیبی امامکتین بنزوات+ استامی‌پراید و آلفاسایپرمترین، به‌ترتیب ۱/۵ و ۰/۲ در هزار بود و از این مقادیر به‌عنوان مبنایی برای تعیین دامنه غلظت‌ها در آزمون‌های مقدماتی زیست‌سنجی استفاده شد. محدوده غلظت های مورد استفاده برای حشره‌کش امامکتین بنزوات+ استامی پراید (۰/۸ – ۵۰۰ پی‌پی‌ام) و آلفاسایپرمترین (۰/۳ – ۲۰۰ پی‌پی‌ام) بود. برای هر یک از حشره‌کش‌های مورد مطالعه، پنج غلظت به‌همراه تیمار شاهد در نظر گرفته شد. به‌منظور تعیین غلظت‌های مورد استفاده در آزمون اصلی غلظت‌هایی با فواصل لگاریتمی بین حد بالا و پایین کشندگی محاسبه و در زیست‌سنجی اصلی برای تعیین مقادیر LC_{50} و LC_{25} به‌کار گرفته شد (Piri Ouchtape *et al*., 2024). پس از آن، داده‌های مربوط به LC_{50} و LC_{25} برای هر تیمار با استفاده از تجزیه پروبیت فینی (Finney, 1971) و به‌کمک نرم‌افزار SPSS محاسبه شد.

با توجه به اینکه بیشترین میزان ترجیح زنبور پارازیتوئید *E. formosa* مربوط به پوره‌های سنین سوم و چهارم سفیدبالک است (Oliveira *et al*., 2003)، بنابراین، در زیست‌سنجی، برگ‌های گوجه‌فرنگی حاوی پوره‌های یک روزه سن سوم سفیدبالک گلخانه در غلظت‌های مختلف حشره‌کش غوطه‌ور شدند (Hoseininaveh *et al*., 2012). بدین منظور روی هر برگ آلوده تعداد ۱۵ عدد پوره سن سوم شمارش و حفظ شد و سایر پوره‌ها و مراحل زیستی از سطح برگ حذف شدند. سپس برگ‌ها به‌مدت ۲۰ ثانیه درون محلول‌های حشره‌کش با غلظت‌های تعیین‌شده غوطه‌ور شد و پس از خشک‌شدن قطرات حشره‌کش در دمای اتاق به‌مدت ۳۰ دقیقه، به تشتک‌های پتری با قطر ۸ سانتی‌متر منتقل شدند. به‌منظور حفظ رطوبت و شادابی برگ‌ها در طول آزمایش، دمبرگ‌ها با پنبه مرطوب پوشانده شد. تشتک‌های پتری به اتاقک رشد با شرایط دمایی ۲۵±۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی منتقل شدند. در این آزمایش پوره های سیاه‌شده و خشکیده به‌عنوان افراد تلف‌شده و معیاری برای میزان تلفات در نظر گرفته شدند (Hosseininia *et al*., 2016). میزان مرگ‌ومیر افراد تیمارشده پس از ۲۴ ساعت ثبت شد و غلظت زیرکشنده LC_{25} برای هر حشره‌کش محاسبه و در مراحل بعدی آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. در تیمار شاهد، برگ‌های گوجه‌فرنگی حاوی پوره‌های سن سوم در آب مقطر غوطه‌ور شدند. آزمایش برای هر تیمار در چهار تکرار انجام شد. همچنین به‌منظور همسان‌سازی شرایط آزمایشگاهی با شرایط واقعی گلخانه و مزرعه، زیست‌سنجی جداگانه‌ای برای تعیین LC_{25}

روی زنبور پارازیتوئید انجام نشد (Dadras *et al.*, 2024) و از همان غلظت زیرکشنده LC_{25} به‌دست‌آمده برای سفیدبالک گلخانه‌ای، در آزمایش‌های مربوط به بررسی اثرات زیرکشندگی بر زنبور پارازیتوئید استفاده شد.

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌ها بر فراسنجه‌های زیستی و دموگرافیک زنبور پارازیتوئید *E. formosa*

برای بررسی اثرات زیرکشنده حشره‌کش‌های امامکتین بنزوات + استامی‌پراید و آلفاسایپرمترین بر فراسنجه‌های زیستی و تولیدمثلی زنبور پارازیتوئید، از غلظت‌های LC_{25} به‌ترتیب، معادل ۰/۳۴۳ و ۰/۳۵۹ پی‌پی‌ام ماده فرموله که در آزمایش زیست‌سنجی به‌دست آمده بود، استفاده شد. بدین‌منظور، برگ‌های گوجه‌فرنگی حاوی ۵۰ عدد پوره سن سوم سفیدبالک پارازیته‌شده (مصادف با مرحله شفیرگی زنبور) به‌مدت ۲۰ ثانیه درون محلول حشره‌کش با غلظت زیرکشنده بیان‌شده، غوطه‌ور شدند. برگ‌های تیمارشده تا زمان ظهور زنبورها در شرایط اتاقک رشد، نگه‌داری شدند. عدم ظهور حشرات کامل زنبور بعد از گذشت تقریبی ۷–۸ روز معیاری برای مرگ و میر شفیره‌های زنبور بود (Hoseininaveh *et al.*, 2012). پس از خروج زنبورها، حشرات کامل به‌صورت انفرادی روی دیسک‌های برگی حاوی پوره‌های سن سوم سفیدبالک رهاسازی شدند. با توجه به میزان پارازیتیسم روزانه زنبور، به‌طور متوسط روزانه ۱۳ عدد پوره سن سوم در اختیار هر زنبور ماده قرار داده شد (Hoseininaveh *et al.*, 2012). به‌منظور بررسی باروری روزانه، هر زنبور به صورت روزانه با استفاده از آسپیراتور به ظرف جدید حاوی برگ آلوده به پوره سفیدبالک منتقل می‌شد و روند رشد، تخم‌ریزی و نشوونمای آن به‌طور روزانه تا زمان مرگ آخرین فرد حشره کامل زنبور ثبت می‌شد. دوره پیش از بلوغ پارازیتوئید با توجه به مراحل قبل از تغییر رنگ و پس از تغییر رنگ پوره سفیدبالک پارازیت‌شده تعیین شد. در این زنبور، مجموع دوره رشد تخم و سه سن لاروی، به عنوان مرحله سفیدرنگ ودوره شفیرگی، مرحله تغییر رنگ به سیاه در نظر گرفته می‌شود (Fazeli Dinan *et al.*, 2012; Abdollahzadeh- Bovani *et al.*, 2024).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه داده‌ها برای تخمین مقادیر مختلف LC (کشنده) با استفاده از روش پروبیت و نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت (SPSS 2019). فراسنجه‌های جدول زندگی زنبور پارازیتوئید *E. formosa* بر اساس جدول زندگی دوجنسی ویژه سن- مرحله‌ی رشدی و با استفاده از نرم‌افزار TWO-SEX MSChart مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (Chi & Liu, 1985; Chi, 1988; Chi, 2020a). میانگین، واریانس و خطای معیار فراسنجه‌های زیستی با استفاده از تکنیک بوت‌استرپ جفت‌شده (Paired bootstrap) و با صدهزار نمونه‌برداری در نرم‌افزار TWO-SEX MSChart محاسبه شد. پیش‌بینی روند رشد جمعیت زنبور *E. formosa* در تیمار حشره‌کش‌های مورد مطالعه در دوره زمانی ۶۰ روزه و با استفاده از نرم افزار TIMING-MSChart انجام شد (Chi, 2020b). رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Sigmaplot (ver. 14.0) انجام شد.

نتایج

اثرات کشندگی حشره‌کش‌های مورد آزمایش روی پوره‌های سن سوم سفیدبالک گلخانه

نتایج تجزیه پروبیت تاثیر تماسی غلظت‌های مختلف امامکتین بنزوات+ استامی پراید و آلفاسایپرمترین بعد از ۲۴ ساعت روی پوره‌های سفیدبالک گلخانه در جدول ۱ ارایه شده است. با توجه به مقادیر LC_{50} به‌دست‌آمده بعد از ۲۴ ساعت، آلفاسایپرمترین دارای سمیت بیشتری نسبت به امامکتین بنزوات + استامی پراید بود (جدول ۱).

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های مورد آزمایش بر طول دوره‌های زیستی زنبور پارازیتوئید *E. formosa*

تجزیه آماری داده‌های مربوط به تاثیر تماسی دو حشره‌کش آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات+استامی‌پراید روی طول دوره‌های زیستی و نشوونمایی زنبور پارازیتوئید *E. formosa* در جدول ۲ ارائه شده است. غلظت زیرکشنده حشره‌کش آلفاسایپرمترین باعث طولانی شدن طول دوره مراحل نابالغ زنبور پارازیتویید نسبت به شاهد شد. بیشترین و کمترین طول دوره مراحل نابالغ به‌ترتیب مربوط به تیمارهای آلفاسایپرمترین(۱۶/۹۲روز) و شاهد(۱۵/۷۹روز) بود (جدول ۲). نتایج این تحقیق نشان داد که طول عمر زنبورهای پارازیتوئید و نیز طول دوره تخمریزی تحت تاثیر غلظت LC_{25} هر دو حشره‌کش قرار گرفتند. بیشترین و کمترین طول عمر زنبورهای

ماده به‌ترتیب در تیمارهای آلفاسایپرمترین (۲/۲۵ روز) و شاهد (۵/۱۶ روز) مشاهده شدند. بیشترین و کمترین دوره تخم‌ریزی نیز به‌ترتیب به تیمارهای شاهد (۴/۶۳ روز) و آلفاسایپرمترین (۱/۲۹ روز) تعلق داشت. نتایج مربوط به میزان باروری زنبورهای ماده نسل اول (F_1) بیانگر تاثیر غلظت زیرکشنده بود، به‌طوری‌که زنبورهای تیمار شده با آلفاسایپرمترین، امامکتین بنزوات+استامی‌پراید و شاهد به‌ترتیب کم‌ترین میزان زادآوری را داشتند (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه پروبیت سمیت تماسی امامکتین بنزوات + استامی پراید و آلفاسایپرمترین روی پوره‌های سن سوم سفیدبالک گلخانه

Table 1. Probit analysis of contact toxicity of emamectin benzoate+acetamiprid and alpha-cypermethrin on the third-instar nymphs of greenhouse whitefly

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

جدول ۲- اثرات غلظت زیر کشنده (LC_{25}) حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات+استامی‌پراید بر طول دوره‌های مراحل نابالغ، طول عمر حشرات کامل و باروری زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa*

Table 2. Effects of sublethal concentrations (LC_{25}) of alpha-cypermehtrin and emamectin benzoate-acetamiprid on developmental time, adult longevity, and fecundity of the parasitoid, *Encarsia formosa*

Biological characteristic	Control	alpha-cypermethrin	emamectin benzoate+ acetamiprid
Egg-Larva (day)	9.29±0.13^{a}	8.79±0.2^{b}	8.1±0.15^{c}
Pupa (day)	6.42±0.14^{b}	8.12±0.17^{a}	7.93±0.15^{a}
Pre-adult duration (day)	15.79±0.22^{b}	16.92±0.25^{a}	16.03±0.17^{ab}
Female longevity (day)	5.16±0.19^{a}	2.25±0.19^{c}	3.21±0.17^{b}
Total female longevity (day)	20.95±0.3^{a}	19.17±0.27^{b}	19.24±0.24^{b}
APOP*(day)	0.32±0.13^{b}	0.62±0.16^{a}	0.39±0.11^{b}
TPOP*(day)	16.1±0.21^{b}	17.52±0.34^{a}	16.43±0.17^{b}
Oviposition period (day)	4.63±0.27^{a}	1.29±0.13^{c}	2.43±0.16^{b}
Fecundity (eggs/female)	17.95±1.34^{a}	2.00±0.27^{c}	3.57±0.34^{b}

*Different letters in each row indicate a significant difference between treatments (Paired bootstrap test, P<0.05)
*TPOP: Total pre-oviposition period
*APOP: Adult pre-oviposition period

تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد استفاده بر فراسنجه‌های دموگرافیک *E. formosa*

میانگین فراسنجه‌های دموگرافیک زنبور پارازیتوئید *E. formosa* تحت تاثیر غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد استفاده قرار گرفت، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین نرخ خالص تولیدمثل (R_0) مربوط به تیمار آلفاسایپرمترین (۱/۳۱ نتاج به ازای هر فرد ماده) و شاهد (۱۵/۵۰ نتاج به ازای هر فرد ماده) بود، که حاکی از تأثیر منفی بیشتر این تیمار نسبت به شاهد می‌باشد. کمترین و بیشترین نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) نیز به‌ترتیب در تیمارهای آلفاسایپرمترین (۳/۰۳ نتاج به ازای هر ماده) و شاهد (۲۹/۹۶ نتاج به ازای هر ماده) مشاهده شد. نرخ ذاتی رشد جمعیت (r)، تحت تاثیر غلظت زیرکشنده آفت‌کش‌های مورد آزمایش کاهش پیدا کرد و بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این فراسنجه به‌ترتیب در تیمار شاهد (۰/۱۴۴۲ بر روز) و آلفاسایپرمترین (۰/۰۱۴۷ بر روز) به دست آمد. نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) نیز تحت تأثیر حشره‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد (۱/۱۵ بر روز) کاهش یافت، به‌طوری که مقدار آن در حشره‌کش آلفاسایپرمترین (۱/۰۱ بر روز) و در حشره‌کش امامکتین بنزوات-استامی‌پراید (۱/۰۵ بر روز)

محاسبه شد. میانگین طول یک نسل (T) در تیمار شاهد (۱۸/۹۹ روز) ثبت شد، در حالی‌که استفاده از حشره‌کش امامکتین بنزوات- استامی‌پراید باعث کاهش معنی‌دار مقدار این فراسنجه نسبت به شاهد شد و به ۱۸/۲ روز رسید.

جدول ۳- اثرات غلظت زیرکشنده (LC_{25}) آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات – استامی‌پراید بر فراسنجه‌های دموگرافیک جمعیت زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa*

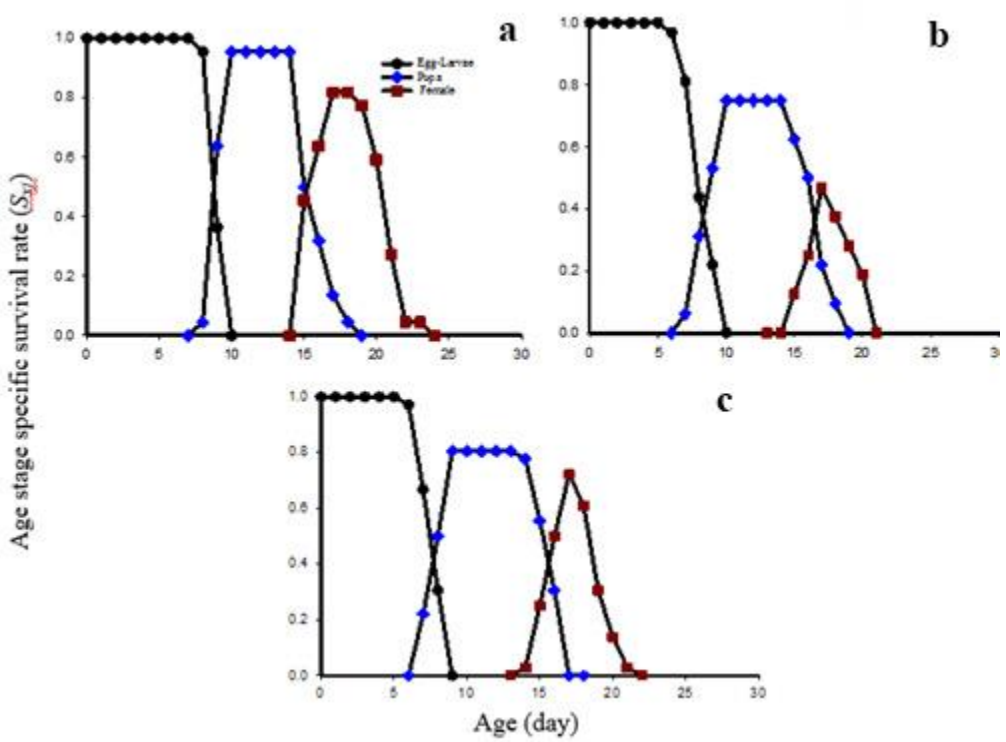
Table 3. Effects of sublethal concentrations (LC_{25}) of alpha-cypermethrin and emamectin benzoate + acetamiprid on demographic parameters of the parasitoid wasp, *Encarsia formosa*

Population parameters	Treatments		
	Control	Alpha cypermethrin	Emamectin benzoate+ acetamiprid
Net reproductive rate (R_0) (offspring/female)	15.5±1.72[a]	1.31±0.24[c]	2.86±0.35[b]
Gross reproductive rate (GRR) (offspring/female)	29.96±4.76[a]	3.03±0.39[c]	6.21±0.76[b]
Intrinsic rate of increase (r) (day^{-1})	0.1442±0.0058[a]	0.0147±0.0101[c]	0.0577±0.0070[b]
Finit rate of population increase (λ) (day^{-1})	1.15±0.006[a]	1.01±0.01[c]	1.05±0.007[b]
Mean generation time (T) (day)	18.99±0.26[a]	18.48±0.39[ab]	18.20±0.2[b]

*Different letters in each row indicate a significant difference between treatments (Paired bootstrap test, P<0.05)

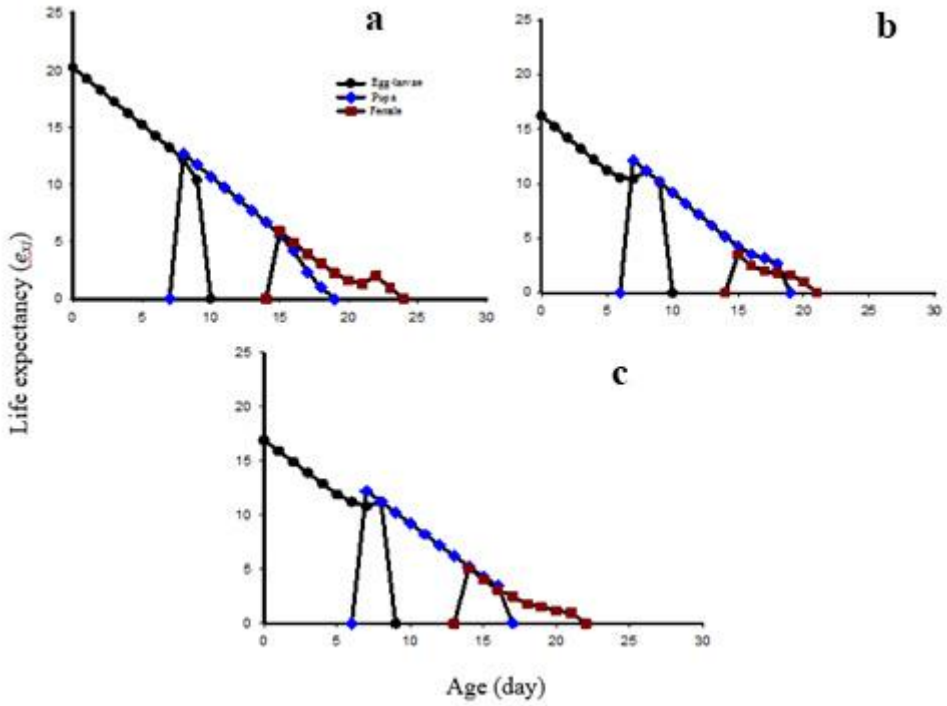
تغییرات نرخ زنده مانی ویژه سن- مرحله‌ی زیستی سفیدبالک گلخانه (s_{xj}) تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات - استامی پراید و شاهد در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ماده‌ها در شاهد تا روز ۲۳، تیمار آلفاسایپرمترین تا روز ۲۰ و در تیمار امامکتین بنزوات + استامی پراید تا روز ۲۱ زنده بودند (شکل ۱). تغییرات امید به زندگی ویژه سنی-مرحله‌ای (e_{xj}) زنبور *E. formosa* تحت تاثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش در شکل ۲ ارائه شده است. میزان امید به زندگی حشرات کامل زنبور در روز اول خروج از شفیره در تیمار شاهد ۵/۹۳ روز بود، در حالی که در تیمارهای آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات-استامی‌پراید این مقدار به‌ترتیب به ۳/۴۸ و ۵/۰۸ روز کاهش یافت. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ارزش تولیدمثلی (v_{xj})(سهم هر فرد در ایجاد نسل بعد) در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد آزمایش نسبت به شاهد کاهش چشمگیری داشت، به طوری‌که مقدار آن در تیمار شاهد ۱۳/۱۷ تخم و در ماده‌های تیمار شده با غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات-استامی پراید به‌ترتیب ۲/۶۵ و ۳/۷۸ تخم بود (شکل ۳).

بررسی روند تغییرات باروری خام (m_x) و خالص روزانه (l_xm_x) زنبور پارازیتوئید *E. formosa* حاکی از تاثیر منفی حشره‌کش‌های مذکور بر آنها بود. بیشترین مقدار زادآوری در تیمار شاهد و در روز بیست و دوم ثبت شد (۶ تخم/روز). بیشترین مقدار زادآوری در تیمارهای آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات+استامی پراید به‌ترتیب در روزهای هفدهم (۱/۰۶ تخم/روز) و شانزدهم (۱/۳۸ تخم/روز) بود. باروری ویژه سن-مرحله رشدی در زنبور ماده (پوره ۶= m_x) و باروری ویژه سنی زنبورهای بالغ (نتاج ۳/۳۱= l_xm_x) در شاهد نسبت به حشره‌کش‌ها بیشتر بودند. در مقابل، کمترین باروری ویژه سنی زنبورهای ماده در تیمار آلفاسایپرمترین (نتاج ۰/۵= l_xm_x) بوده است. تغییر در تمام این فراسنجه‌ها نشان از اثر سو کمتر حشره‌کش امامکتین بنزوات+استامی‌پراید در مقایسه با حشره‌کش آلفاسایپرمترین روی زنبور *E. formosa* می‌باشد (شکل ۴).



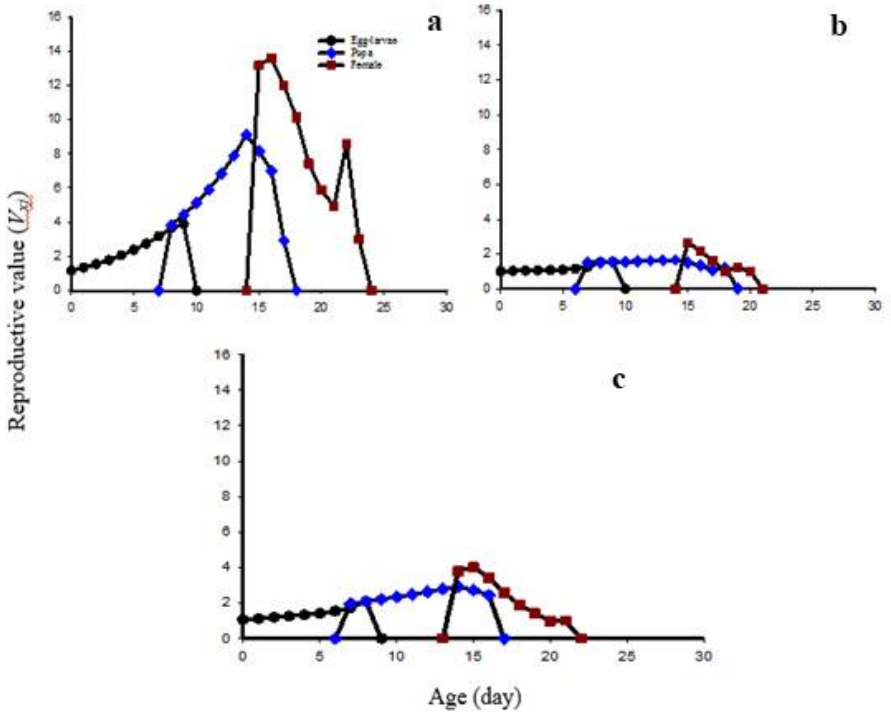
شکل ۱- اثرات غلظت زیرکشنده آلفاسایپرمترین (b) و امامکتین بنزوات-استامی پراید (c) بر نرخ زنده‌مانی ویژه سن-مرحله نشوونمایی *Encarsia formosa* در مقایسه با شاهد (a)

Figure 1. Sublethal effects of alpha-cypermethrin (b) and emamectin benzoate - acetamiprid (c) on the age-stage-specific survival rate (S_{xj}) of *Encarsia formosa* compared to the control (a)



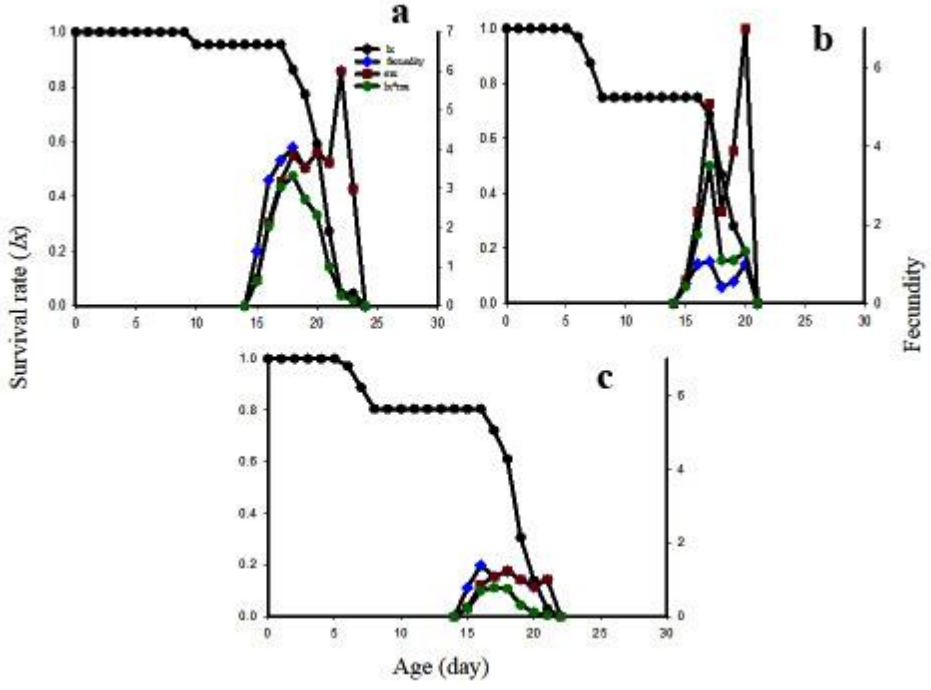
شکل ۲- اثرات غلظت زیر کشنده حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین (b) و امامکتین بنزوات+استامی پراید (c) بر امید به زندگی ویژه سنی-مرحله‌ای (e_{xj}) *Encarsia formosa* در مقایسه با شاهد (a)

Figure 2. Sublethal effects of alpha-cypermethrin (b) emamectin benzoate -acetamiprid (c) on the age-stage life expectancy (e_{xj}) of *Encarsia formosa* compared to the control (a)



شکل ۳- اثرات زیر کشنده آلفاسایپرمترین (b) و امامکتین بنزوات+استامی پراید (c) بر ارزش تولیدمثلی ویژه سن-مرحله‌ای (v_{xj}) *Encarsia formosa* در مقایسه با شاهد (a)

Figure 3. Sublethal effects of alpha-cypermethrin (b) and emamectin benzoate- acetamiprid (c) on the age-stage-specific reproductive value (v_{xj}) of *Encarsia formosa* compared to the control (a)

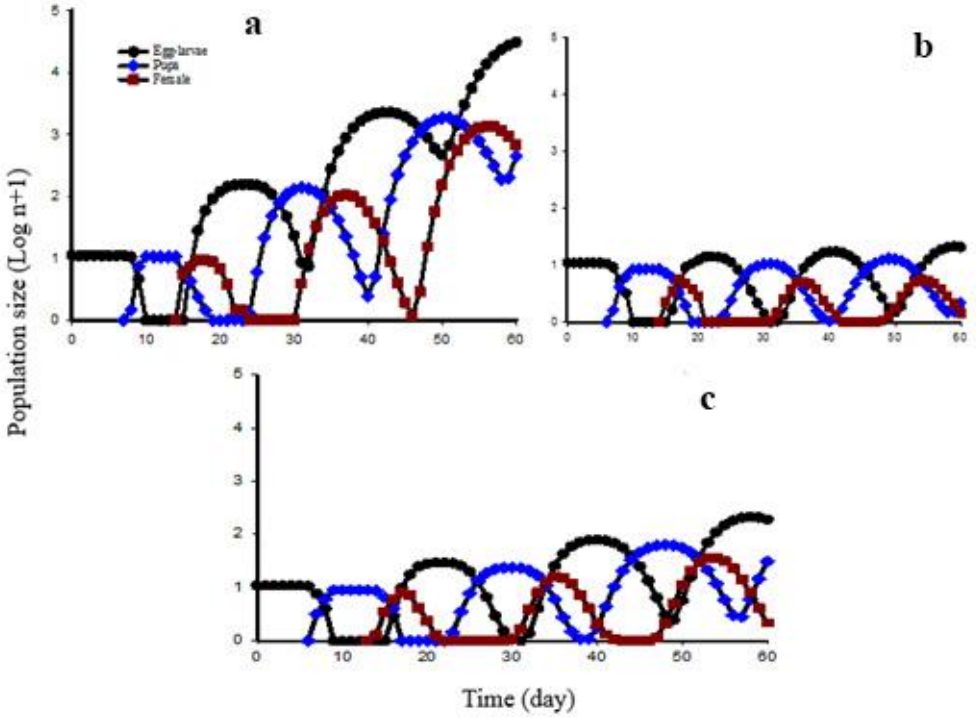


شکل ۴- اثرات زیرکشنده آلفاسایپرمترین (b) و امامکتین بنزوات+استامی پراید (c) بر زنده‌مانی سن- ویژه (l_x)، باروری ویژه سن-مرحله‌ای (m_x) و باروری خالص روزانه (l_xm_x) *Encarsia formosa* در مقایسه با شاهد (a)

Figure 4. Sublethal effects of alpha-cypermethrin (b) and emamectin benzoate - acetamiprid (c) on fecundity (l_xm_x) of **را** age-specific survival (l_x), age-stage-specific fecundity (m_x), and net daily *Encarsia formosa* compared to the control (a)

پیش بینی روند رشد جمعیت زنبور پارازیتوئید *E. formosa*

پیش‌بینی تأثیر غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات+استامی پراید بر روند رشد جمعیت مراحل مختلف نشوونمایی زنبور پارازیتوئید *E. formosa* در یک بازه زمانی ۶۰ روزه حاکی از روند رشد کندتر مراحل مختلف نشوونمایی زنبور تحت تأثیر غلظت زیرکشنده آلفاسایپرمترین بود، ولی در مورد امامکتین بنزوات+استامی پراید، جمعیت تمام مراحل نشوونمایی را به طور یکسانی طی نمود (شکل ۵). پیش‌بینی روند رشد جمعیت کل زنبور پارازیتوئید نشان داد که در صورت عدم استفاده از حشره‌کش (گروه شاهد)، اندازه جمعیت به علت بالا بودن نرخ ذاتی رشد جمعیت، بعد از گذشت دو ماه به بیشترین میزان خود رسید، در حالی که پس از قرار گرفتن در معرض دز زیر کشنده حشره‌کش آلفاسایپرمترین، کمترین میزان رشد جمعیتی را تجربه کردند. به‌طور کلی، بالاترین سرعت رشد جمعیت در تیمار شاهد و کم‌ترین آن در حشره‌کش آلفاسایپرمترین مشاهده شد (شکل ۶).

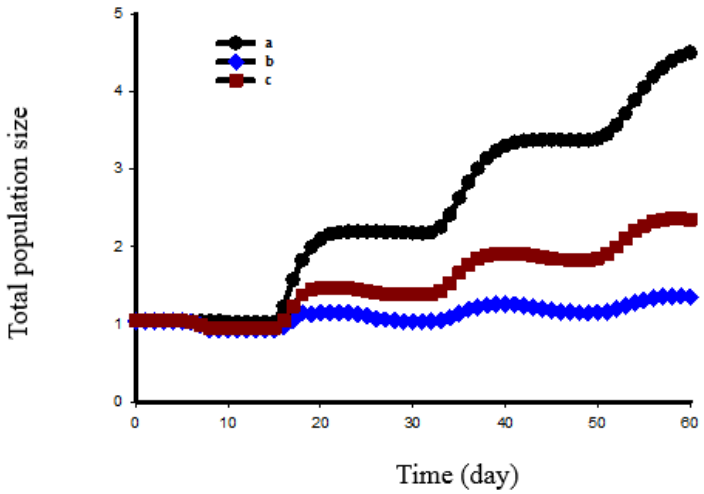


شکل ۵- پیش‌بینی پتانسیل رشد جمعیت و ساختار نشوونمایی زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa* تیمار شده با غلظت LC_{25} حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین (b) و امامکتین بنزوات (c) در مقایسه با شاهد (a) در طول ۶۰ روز

Figure 5. Prediction of population growth potential and stage structure of the parasitoid wasp, *Encarsia formosa*, treated with LC_{25} alpha-cypermethrin (b) and emamectin benzoate + acetamiprid (c) compared to the control (a) over 60 days

بحث

ارزیابی اثرات کشنده و زیرکشنده حشره‌کش‌ها بر فراسنجه‌های زیستی، رفتاری و دموگرافیک دشمنان طبیعی، به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اساسی ارزیابی خطر آفات اهمیت فزاینده‌ای یافته است (Desneux *et al*., 2007; Guedes *et al*., 2016). نتایج این تحقیق نشان داد که حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات+استامی پراید، علاوه بر اثرات کشندگی در ۲۴ ساعت بعد از تیمار (کوتاه مدت)، روی نتاج نسل اول (F_1) زنبور *E. formosa* دارای اثرات زیرکشندگی مانند به صورت تاخیر در مدت زمان رشد و نمو مراحل نابالغ، کاهش طول دوره تولیدمثلی نیز بود که این یافته با نتایج تحقیق عبدالله‌زاده-بوانی و همکاران (Abdollahzadeh-Bovani *et al*., 2024) با تاثیر دوز زیرکشنده حشره‌کش‌های اسپیرومسیفن و تیوسیکلام هیدروژن اکسالات بر فراسنجه‌های زیستی و تولیدمثلی *E. formosa* انطباق داشت.



شکل ۶- اثرات غلظت زیر کشنده (LC_{25}) حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین (b) و امامکتین بنزوات (c) در مقایسه با شاهد (a) بر رشد جمعیت کل زنبور پارازیتوئید *Encarsia formosa* در طول ۶۰ روز

Figure 6. Effects of sublethal concentrations (LC_{25}) of alpha-cypermethrin (b) and emamectin benzoate + acetamiprid (c) compared to the control (a) on the growth of the total population of the parasitoid wasp, *Encarsia formosa*, over 60 days

در مطالعه حاضر مشخص شد که طول دوره‌های پیش از تخم‌ریزی حشرات کامل ماده (APOP) و کل دوره پیش از تخم‌ریزی (TPOP) تحت تأثیر معنی‌دار غلظت زیرکشنده حشره‌کش امامکتین بنزوات+استامی پراید قرار نگرفت که با یافته‌های عبدالله‌زاده بوانی و همکاران (Abdollahzadeh-Bovani *et al.*,2024) در خصوص عدم تاثیرغلظت زیرکشنده دو حشره‌کش اسپیرومسیفن و تیوسیکلام هیدروژن اکسالات روی طول دوره پیش از تخم‌ریزی زنبورهای ماده *E. formosa* انطباق داشت. در مقابل، دوره پیش از تخم‌ریزی حشرات کامل ماده و کل دوره پیش از تخم‌ریزی زنبور *E. formosa* تحت تاثیر معنی‌دار غلظت زیرکشنده آلفاسایپرمترین قرار گرفت.

نتایج پژوهش حاضر، بیانگر اثرات منفی غلظت زیرکشنده حشره‌کش‌های مورد مطالعه روی باروری و طول عمر زنبور *E. formosa* بود. بیشترین طول عمر زنبور در تیمار شاهد ۵/۲۱ روز بوده، در حالی‌که در تیمار آلفاسایپرمترین تقریباً به نصف آن یعنی ۲/۲۵ روز کاهش یافت. همسو با نتایج تحقیق حاضر، حشره‌کش اسپیروتترامات نیز طول عمر زنبور *E. formosa* را ۱/۶ تا ۲/۸ روز کاهش داد (Drobnjacovic & Marcic, 2021). کاهش طول عمر حشرات کامل عموماً در پارازیتوئیدهایی مشاهده شده است که در مراحل رشدی پیش از بلوغ درون بدن میزبانشان با حشره‌کش‌ها تیمار شده‌اند (Schneider *et al.*, 2004; Desneux *et al.*, 2006). بیشترین باروری ماده‌ها در تیمار شاهد به میزان ۱۷/۹۵ تخم/ماده/روز بود. میزان باروری ماده‌های تیمارشده با حشره‌کش آلفاسایپرمترین با ۸۹ درصد کاهش به ۲ تخم/ ماده/روز رسید و کاهش باروری در تیمار امامکتین بنزوات + استامی‌پراید به ۳/۵۷ تخم/ ماده/روز رسید. تاثیر منفی حشره‌کش‌های اسپینتورام (Drobnjacovic *et al.*, 2025)، تیامتوکسام-لامبداسای‌هالوترین (Dadras *et al.*, 2024) و اسپیروتترامات (Yang *et al.*, 2021) بر میزان باروری *E. formosa* نیز گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. کاهش میزان تولیدمثل ممکن است به‌دلیل اختلالات فیزیولوژیکی در سیستم تولیدمثلی زنبورهای پارازیتوئید و یا اختلال در رفتار جفتگیری و تولیدمثلی این حشرات مفید باشد (Desneux *et al.*, 2007). نتایج این پژوهش نشان داد که حشره‌کش‌های مورد آزمایش به‌صورت معنی‌داری فراسنجه‌های جمعیت پایدار زنبور *E. formosa* را تحت تاثیر قرار دادند، به طوری که مقدار r در تیمارهای آلفاسایپرمترین و امامکتین بنزوات + استامی‌پراید به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد

بود، هرچند که تیمار آلفاسایپرمترین در مقایسه با امامکتین بنزوات + استامی‌پراید تاثیر منفی بیشتری روی نرخ ذاتی رشد جمعیت زنبور پارازیتوئید داشت. در بررسی‌های صورت‌گرفته توسط سایر پژوهشگران، نرخ ذاتی رشد جمعیت زنبور *E. formosa* تحت تاثیر دوز زیرکشنده حشره‌کش‌های اسپیروتترامات (Drobnjakovic & Marcic, 2021)، اسپینتورام (Drobnjacovic *et al*., 2025) و آزادیراختین (Drobnjacovic *et al*., 2018) همسو با نتایج تحقیق حاضر، روند کاهشی نشان داد. در مقابل، غلظت زیرکشنده حشره‌کش تیوسیکلام هیدروژن اکسالات بر نرخ ذاتی رشد جمعیت (r) این زنبور تاثیر سوئی نداشت (Abdollahzadeh-Bovani *et al*., 2024). تفاوت در شرایط آزمایشگاهی، نوع و ساختار شیمیایی آفت‌کش‌های انتخابی و همچنین سطح حساسیت گونه‌های مختلف دشمنان طبیعی می‌تواند دلیل نتایج متفاوت در پژوهش‌های گوناگون باشد (Asadi *et al*., 2019).

با کاهش نرخ ذاتی رشد جمعیت، آماره‌های وابسته به آن، مانند نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) که از معیارهای رشدی جمعیت محسوب می‌شوند، نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرند (Hoddle, 2006). این کاهش چشمگیر در باروری زنبور تیمار یافته با دز زیرکشنده حشره‌کش آلفاسایپرمترین، همراه با کاهش قابل‌توجه نرخ خالص تولیدمثل (R_0) به ۱/۳۱ تخم در هر ماده (در مقایسه با ۱۵/۵۰ در شاهد) و نرخ متناهی افزایش جمعیت به ۱/۰۱ بر روز (در برابر ۱/۱۵ در شاهد) حاکی از تأثیر منفی عمیق این آفت‌کش بر پویایی و پایداری جمعیت زنبور است. مشابه با یافته‌های این پژوهش، در مطالعه دادرس و همکاران (Dadras *et al*., 2024) اثرات زیرکشنده تیامتوکسام-لامبداسای‌هالوترین به‌طور قابل توجهی فراسنجه‌های رشد جمعیت *E. formosa* را کاهش داد. این نتایج با گزارش‌هایی همسو است که نشان داده‌اند برخی حشره‌کش‌های عصبی، از جمله پایرتروئیدها و نئونیکوتینوئیدها، علاوه بر تلفات مستقیم، اثرات بازدارنده قابل‌توجهی بر رفتار میزبان‌یابی و پارازیتیسم زنبورهای پارازیتوئید دارند (Drobnjaković *et al*., 2017). در پژوهش حاضر، حشره‌کش امامکتین بنزوات + استامی‌پراید اگرچه اثرات سوئی بر فراسنجه‌های دموگرافیک زنبور *E. formosa* نشان داد، اما نسبت به آلفاسایپرمترین، این اثرات منفی خفیف‌تر بود و از این منظر، گزینه‌ای کم‌خطرتر برای استفاده همزمان با این پارازیتوئید ارزیابی می‌شود. تفاوت مشاهده‌شده بین اثرات سوء این ترکیبات می‌تواند ناشی از اختلاف در مکانیسم عمل، سمیت ذاتی، یا پایداری محیطی آن‌ها باشد. بررسی‌های یانگ و همکاران (Yang *et al*., 2021) روی اثرات زیر کشنده اسپیروتترامات روی *E. formosa* نشان داد که پاسخ پارازیتوئیدها به آفت‌کش‌ها می‌تواند دوگانه و کاملاً وابسته به غلظت باشد. آن‌ها مشاهده کردند که اسپیروتترامات در غلظت بسیار پایین (LC_{10})، حتی می‌تواند رفتار جستجوگری را در *E. formosa* تحریک کند، در حالی که در غلظت‌های بالاتر (LC_{50})، همان رفتارها را به شدت مهار می‌نماید. این موضوع بر پیچیدگی ارزیابی تاثیر سوء آفت‌کش‌ها بر دشمنان طبیعی تأکید دارد و نشان می‌دهد که تعیین دقیق دز کم‌خطر از اهمیت فوق‌العاده‌ای در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات برخوردار است.

در نتایج رجبی و همکاران (Rajabi *et al*., 2023)، ترکیب امامکتین بنزوات + استامی‌پراید، اگرچه موجب کاهش قابل‌توجه مقادیر فراسنجه‌های جدول زندگی شته جالیز *Aphis gossypii* می‌شود، اما این سطح از کارایی شیمیایی لزوماً به‌معنای سازگاری کامل این ترکیب با سایر اجزای سامانه IPM نیست. یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که همین ترکیب، در مواجهه غیرمستقیم با میزبان پارازیته‌شده، می‌تواند فراسنجه‌های کلیدی زیستی و دموگرافیک *E. formosa* را تضعیف کند و از طریق ایجاد اثرات زیرکشنده پنهان بر دشمنان طبیعی، پایداری کنترل بیولوژیک را در بلندمدت کاهش دهد. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که غلظت زیرکشنده آلفاسایپرمترین می‌تواند بر پارازیتوئید *E. formosa* تاثیر منفی گذاشته و کارایی آن را کاهش دهد. از این‌رو، استفاده از آلفاسایپرمترین در برنامه‌های IPM سفیدبالک گلخانه‌ای باید با احتیاط جدی، زمان‌بندی دقیق و محدودیت فضایی همراه باشد، در حالی که ترکیبات کم‌خطرتر مانند امامکتین بنزوات + استامی‌پراید، در صورت رعایت غلظت مؤثر حداقل و فاصله زمانی ایمن از اوج فعالیت پارازیتوئیدها، می‌توانند سازگاری بیشتری با کنترل بیولوژیک داشته باشند. این مطالعه بر ضرورت گنجاندن ارزیابی اثرات زیرکشنده دموگرافیک و رفتاری در فرآیند تصمیم‌گیری IPM و توسعه حشره‌کش‌های انتخابی‌تر تأکید می‌کند تا پایداری کنترل بیولوژیک در سیستم‌های گلخانه‌ای تضمین شود.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی و مدیریت گروه گیاهپزشکی دانشگاه ارومیه به خاطر حمایت مادی از این پژوهش تشکر می‌شود.

References

Abdollahzadeh-Bovani, M. (2025)**.** Lethal and sublethal effects of Thiocyclam and Oberon on the life table parametres of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) and foraging behaviour of *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinida). PhD. Thesis.The University of Urmia.

Abdollahzadeh-Bovani, M., Mehrkhou, F., & Forouzan, M. (2024). Sublethal effects of thiocyclam hydrogen oxalate and spiromesifen on life table and population growth parameters of *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Biological Control of Pests and Plant Diseases, 12*(1), 95-110. (in Farsi), **DOI: https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.376343.343**

Agathokleous, E., Blande, J. D., Masui, N., Calabrese, E. J., Zhang, J., Sicard, P., & Benelli, G. (2023). Sublethal chemical stimulation of arthropod parasitoids and parasites of agricultural and environmental importance. *Environmental Research, 237*, 116876. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116876**

Asadi, M., Rafiee–Dastjerdi, H., Nouri–Ganbalani, G., Naseri, B., & Hassanpour, M. (2019). Lethal and sublethal effects of five insecticides on the demography of a parasitoid wasp. *International Journal of Pest Management, 65*(4), 301–312.

Baruah, P., & Chaurasia, N. (2020). Ecotoxicological effects of alpha-cypermethrin on freshwater alga *Chlorella* sp.: Growth inhibition and oxidative stress studies. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *76*, 103347. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103347**

Basit, M., Saeed, S., Saleem, M. A., & Sayyed, A. H. (2013). Can resistance in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) be overcome with mixtures of neonicotinoids and insect growth regulators. *Crop Protection*, *44*, 135-141. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.021**

Chi, H. (1988). Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, *17*, 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.

Chi, H., & Liu, H. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, *24* (2), 225-240.

Croft BA, 1990. Arthropod Biological Control Agents and Pesticides. John Willey and Sons, New York, USA. 723 pp.

Cuthbertson, A. G. S., Buxton, J. H., Blackburn, L. F., Mathers, J. J., Robinson, K. A., Powell, M. E., Fleming, D. A., & Bell, H. A. (2012). Eradicating *Bemisia tabaci* Q biotype on poinsettia plants in the UK. *Crop Protection*, *42*, 42-48. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.08.009**

D'Ávila, V. A., Barbosa, W. F., Guedes, R. N., & Cutler, G. C. (2018). Effects of spinosad, imidacloprid, and lambda-cyhalothrin on survival, parasitism, and reproduction of the aphid parasitoid *Aphidius colemani*. *Journal of Economic Entomology*, *111*(3), 1096-1103. **DOI: https://doi.org/10.1093/jee/toy055**

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), **DOI: https://doi.org/10.22034/jesi.45.3.9**

Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, *52*(1), 81-106. **DOI: https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405**

Desneux, N., Denoyelle, R., & Kaiser, L. (2006). A multi–step bioassay to assess the effect of the deltamethrin on the parasitic wasp *Aphidius ervi*. *Chemosphere*, *65*(10), 1697–1706. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.04.082**

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. **DOI: https://doi.org/10.1080/09583157.2021.1873248**

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. **DOI: https://doi.org/10.1080/09583157.2017.1409336**

Drobnjaković, T., Marić, D., Prijović, M., Perić, P., Milenković, S., & Bošković, J. (2017). Sublethal effects of imidacloprid on the whitefly parasitoid *Encarsia formosa* Gahan. *Pesticidi i fitomedicina, 32*(4), 205–216.

Drobnjaković, T., Prijović, M., Dervišević, M., Brkić, D., Ricupero, M., & Marčić, D. (2025). Side effects of semi-synthetic insecticide spinetoram on the whitefly parasitoid *Encarsia formosa*. *Pest Management Science, 81*(1), 490-497. **DOI: https://doi.org/10.1002/ps.8450**

Fazeli Dinan, M., Talaei-Hassanloui, R., Allahyari, H., Kharazi Pakdel, A., & Goldansaz, S. H. (2012). The effect of the fungus *Lecanicillium longisporum* (Hypocreales: Clavicipitaceae) on the parameters of the life table of the parasitoid bee *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Plant Pest Research, 2*(2), 1-11. (in Farsi)

Finney, D. L. (1971). *Probit Analysis*. Cambridge University Press. Cambridge.

Gao, Y., Lim, T. K., Lin, Q., & Li, S. F. Y., (2016). Identification of cypermethrin induced protein changes in green algae by iTRAQ quantitative proteomics. *Journal of Proteomics, 139*, 67-76. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.03.012**

Govindan, K., Gunasekaran, K., Kuttalam, S., & Aiswariya, K. K. (2010). Bioefficacy of new formulation of emamectin benzoate 5 SG against Bollworm complex in cotton. *Indian Journal of Plant Protection, 38*(2), 159-165.

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. **DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023646**

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. **DOI: https://doi.org/10.1080/03235408.2016.1142926**

Hoddle, M. S. (2006). Phenology, life tables and reproductive biology of *Tetraleurodes perseae* (Hemiptera: Aleyrodidae) on *California avocados*. *Annual Entomological Society of America*, *99*(3), 553–559 **DOI: https://doi.org/10.1603/0013-8746(2006)99[553:PLTARB]2.0.CO;2**

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. (in Farsi)

Hosseininia, A., Khanjani, M., Khobdel, M., & Javadi Khodri, S. (2016). Comparision the effectiveness of common oils and insecticidal compounds in controlling the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hem.: Aleyrodidae) on rose and investigating their interaction. *Iranian Plant Protection Research, 30*(4), 718-726. (in Farsi)

Karatolos, N., Denholm, I., Williamson, M., Nauen, R., & Gorman, K. (2010). Incidence and characterization of resistance to neonicotinoid insecticides and pymetrozine in the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science, 66*, 1304-1307. **DOI: https://doi.org/10.1002/ps.2014**

Manzano, M. R., & van Lenteren, J. C. (2009). Life history parameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) at different environmental conditions on two bean cultivars. *Neotropical Entomology, 38*(4), 452-458. **DOI: https://doi.org/10.1590/ S1519566X2009000400002**

Mardani, A., Sabahi, Q., Rasekh, A., & Almasi, A. (2016). Lethal and sublethal effects of three insecticides on the aphid parasitoid, *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hymenoptera: Aphidiidae). *Phytoparasitica*, *44*(1), 91–98. **DOI: https://doi.org/10.1007/s12600-015-0502-1**

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. *Bioscieance, Biotechnology, and Biochemistry*, *69*(8), 1442-1452. **DOI: https://doi.org/10.1271/bbb.69.1442**

Noorbakhsh, S. 2021. List of important pests, diseases, and weeds of major agricultural crops, pesticides and recommended methods for their control. *Ministry of Agriculture Jihad and Plant Protection Organization*. 210 p. (In Persian).

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. **DOI: https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000100023**

Oros, D.R., & Werner, I. (2005). Pyrethroid insecticides: an analysis of use patterns, distributions, potential toxicity and fate in the Sacramento-San Joaquin Delta and Central Valley (pp. 8-101). Oakland: San Francisco Estuary Institute.

Peric, P. (2013). Life history traits and population growth of greenhouse Whitefly (*Trialeurodes vapo rariorum* Westwood) on different tomato genotypes. *Journal Pesticides and Phytomedicine*, *28*, 239–245. **DOI: https://doi.org/10.2298/pif.v28i4.5034**

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. (in Farsi) **DOI: https://doi.org/10.22124/iprj.2024.26113.1544**

Rajabi, H., Safavi, S. A., & Forouzan, M. (2023). The lethal and sublethal effects of the combined insecticide emamectin benzoate + acetamiprid on the life table parameters of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Agricultural Science and Technology*, *46*(1), 105–118. (in Farsi), **DOI: https://doi.org/10.22055/ppr.2023.42995.1681**

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.

Reshadat Salvanagh, N., Mehrkhou, F., & Fourozan, M. (2024). Lethal and sublethal effects of Flonicamid and BIo2 on life span and population growth parameters of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Phytoparasitica*, *52*(5), 90. **DOI: https://doi.org/10.1007/s12600-024-01209-8**

Reshadat-Salvanagh, N. (2021). Survey on the sublethal effects of Flonicamid and Bino2 on the population growth prameters of *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). MSc thesis. The University of Urmia.

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.

Sallard, E., Letourneur, D., & Legendre, P. (2021). Electrophysiology of ionotropic GABA receptors. *Cellular and Molecular Life Sciences*, *78*(13), 5341-5370. **DOI: https://doi.org/ 10.1007/s00018-021-03846-2**

Schneider, M. I., Smagghe, G., Pineda, S., & Vinuela, E. (2004). Action of insect growth regulator insecticides and spinosad on life history parameters and absorption in third–instar larvae of the endoparasitoid *Hyposoter didymator*. *Biological Control*, *31*(2), 189–198. **DOI: https://doi.org/ 10.1016/j.biocontrol.2004.04.013**

Soderlund, D. M. (2012). Molecular mechanisms of pyrethroid insecticide neurotoxicity: Recent advances. *Archives of Toxicology*, *86*, 165–181. **DOI: https://doi.org/10.1007/s00204-011-0726-x**

Southwood, T. R. E., & Henderson, P. A. (2009). *Ecological methods*. John Wiley & Sons.

Stansly, P. A., & Natwick, E (2010). Integrated systems for managing *Bemisia tabaci* in protected and open field agriculture. In Stansly, P. A, and Naranjo, S. E. (Eds.) *Bemisia: bionomics and management of a global pest*. Dordrecht, the Netherlands: Springer. pp. 467-497.

Stark, J. D., Banks, J. E., & Acheampong, S. (2004). Estimating susceptibility of biological control agents to pesticides: Influence of life history strategies and population structure. *Biological Control*, *29*, 392-398. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2003.07.003**

Vassiliou, V., Emmanouilidou, M., Perrakis, A., Morou, E., Vontas, J., Tsagkarakou, A., & Roditakis, E. (2011). Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* from Cyprus. *Insect Science*, *18*(1), 30-39.

Wang, Z., Dai, P., Yang, X., Ruan, C. C., Biondi, A., Desneux, N., & Zang, L. S. (2019). Selectivity of novel and traditional insecticides used for management of whiteflies on the parasitoid *Encarsia formosa*. *Pest Management Science*, *75*(10), 2716-2724. **DOI: https://doi.org/10.1002/ps.5380**

Whalon, M. E., Mota-Sanchez, D., & Hollingworth, R. M. (2008). Global pesticide resistance in arthropods. Wallingford, UK: CAB International.

Wu, C., Sun, T., He, M. , Zhang, L., Zhang, Y., Mao, L., Zhu, L., Jiang, H., Zheng, Y. Q., & Liu, X. G. (2022). Sublethal toxicity, transgenerational effects, and transcriptome expression of the neonicotinoid pesticide cycloxaprid on demographic fitness of *Coccinella septempunctata*. *The Science of the Total Environment*, *842*, 156887. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156887**

Yang, S. W., Li, M. J., Shang, H. P., Liu, Y. H., Li, X. X., Jiang, Z. X., Chen, G. H., & Zhang, X. M. (2021). Effect of sublethal Spirotetramat on host locating and parasitic behavior of *Encarsia*. *Pest Management Science*, *78*(1), 329-335. **DOI: https://doi.org/10.1002/ps.6638**

Plant Pest Research

Research paper 2026- 16 (1): 49-65	https://doi.org/10.22124/iprj.2026.33432.1685	pISSN:2322-2409 eISSN: 2538-6123

OPEN ACCESS

Sublethal effects of Alpha-Cypermethrin and integration of Emamectin benzoate with Acetamiprid on biological parameters of *Encarsia formosa*

N. Reshadat Salvanagh[1], F. Mehrkhou[2*], Sh. Aamideh[3] and M. Fourouzan[4]

1, 2 & 3. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, 4. Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran

✉ reshadat94@gmail.com https://orcid.org/0009-0005-0912-5018
✉ f.mehrkhou@urmia.ac.ir https://orcid.org/0000-0023-4220-8396
✉ sh.aramideh@urmia.ac.ir https://orcid.org/0000-0003-4220-6165
✉ maryam_fourouzan@yahoo.com https://orcid.org/0000-0002-5440-3329

Received: 2 April 2026 | *Accepted:* 11 June 2026 |

Abstract

Chemical insecticides are widely used to control of *Trialeurodes vaporariorum*, which may have sublethal effects on its dominant parasitoid, *Encarsia formosa*. In this study, the sublethal effects (LC_{25}) of alpha-cypermethrin and integration of emamectin benzoate with acetamiprid were evaluated on the population and reproductive parameters of *E. formosa*. The sublethal studies were conducted using the leaf-dipping method of tomato leaves containing parasitized third-instar nymphs of greenhouse whitefly (coincides with pupa stage of parasitoid), into sublethal concentrations of the insecticides. Life table data were analyzed based on the age–stage, two-sex life table. The results showed that the highest and lowest, female longevity, reproduction period and fertility were on control (5.16±0.19 d; 4.63±0.27 d, and 17.95±1.34 eggs) and alpha-cypermethrin (2.25±0.19 d; 1.29±0.13, and 2.00±0.27 eggs) treatments, respectively. Also, adult females of F_1 parasitoid that exposed to sublethal concentration of alpha-cypermethrin had a delayed entry into the adult pre-oviposition and total pre-oviposition period compared to emamectin benzoate + acetamiprid. The results obtained from population growth parameters (R_0, r, and λ) showed that the lowest rate of aforementioned parameters were related to alpha-cypermethrin treatment (1.31±0.24 offspring/female/day; 0.0147 day^{-1}, and 1.01±0.01 day^{-1}, respectively). The overall results showed that, alpha-cypermethrin had stronger sublethal effects on *E. formosa* compared to emamectin benzoate + acetamiprid which need to be used with more caution in integrated pest management programs of the greenhouse whitefly.

Key words: Greenhouse whitefly, integrated pest management, life table, population growth parameters

Citation: 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. **DOI: https://doi.org/10.22124/iprj.2026.33432.1685**

*Corresponding author: f.mehrkhou@urmia.ac.ir

Journal of Plant Pest Research is published by University of Guilan
This journal is an open access journal licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC BY 4.0)