گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٥، شماره۱، بهار ١٤٠١

doi 10.22055/ppr.2022.17400

اثرات زیرکشندگی حشره‌کش‌های استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید روی واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *Aphidius matricariae* Haliday

ندا امینی‌جم[1*]

۱- * **نویسنده مسوول**: استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.
(naminijam@jsu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱

چکیده

استفاده از حشره‌کش‌ها ممکن است روی کارایی یک دشمن طبیعی در کنترل میزبان خود تأثیر گذارد. در این پژوهش، سمیت حشره‌کش‌های استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید روی زنبور پارازیتوئید *Aphidius matricariae* Haliday و اثر زیرکشنده‌ی آن‌ها روی واکنش تابعی این زنبور نسبت به تراکم‌های مختلف پوره سن سوم شته سیاه باقلا *Aphis fabae* Scopoli در شرایط آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین سمیت حشره‌کش‌ها روی حشرات کامل پارازیتوئید از روش زیست‌سنجی تماس با باقی‌مانده حشره‌کش‌ها استفاده شد. به‌منظور بررسی اثر زیرکشنده‌ی حشره‌کش‌ها روی واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید، ماده‌های جفت‌گیری کرده که کمتر از ٢٤ ساعت عمر داشتند، در معرض سطح آغشته به غلظت LC_{25} حشره‌کش‌های مذکور و آب مقطر به‌عنوان شاهد در استوانه‌های شیشه‌ای قرار گرفتند. سپس تراکم‌های ۲، ٤، ۸، ١٦، ۳۲ و ٦٤ میزبان در ۱۵ تکرار در اختیار آنها قرار داده شد. میزان LC_{50} حشره‌کش‌های استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید به‌ترتیب ۳/۰۷، ۷٤۰/۲۰ و ۱۳۳/۱۵ میلی‌گرم ماده موثر بر لیتر بود. واکنش تابعی در شاهد و تیمار حشره‌کش‌ها از نوع دوم بود. قدرت جستجوگری (a) در شاهد و تیمارهای استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید به‌ترتیب ۰/۰۱±۰/۰٤۳۲، ۰/۰±۰/۰۰۳ ۲۳۷، ۰/۰۰٤±۰/۰٤۱٤ و ۰/۰۱±۰/۰۳۹۸ در ساعت و زمان دستیابی (T_h) به‌ترتیب ۰/۰٦±۰/۵۱۷۰، ۱/۰±٤۲۵۷/۱۳، ۰/۰۵±۰/٦۱۳۳ و ۰/۰۷±۰/٦۸۱٦ ساعت تخمین زده شد. حداکثر نرخ حمله (T/T_h) به ترتیب ٤٦/٤۲، ١٦/۸۳، ۳۹/۱۵ و ۳۵/۲۱ پوره میزبان محاسبه شد. نتایج نشان داد که حشره‌کش‌های پای‌متروزین و فلونیکامید در مقایسه با استامی‌پرید تأثیر سوء کمتری روی پارازیتوئید داشتند و می‌توانند به عنوان گزینه‌های مناسبی برای کنترل شته *A. fabae* در تلفیق با زنبور پارازیتوئید *A. matricriae*، پس از تائید نتایج مزرعه‌ای استفاده شوند.

کلیدواژه‌ها: زیست‌سنجی، مدیریت تلفیقی آفت، قدرت جستجو، زمان دستیابی

دبیر تخصصی: دکتر هادی مصلی نژاد

Citation: Aminijam, N. (2022). Sublethal effects of acetamiprid, pymetrozine and flonicamid on the functional response of *Aphidius matricariae* Haliday. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), *45*(1), 97-115. https://doi.org/10.22055/ppr.2022.17400.

مقدمه

شته سیاه باقلا *Aphis fabae* Scopoli (Hemi.: Aphididae) یکی از آفات مهم محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود. این آفت دارای بیش از ۲۰۰ میزبان گیاهی نظیر باقلا و چغندرقند می‌باشد و قادر است به کلیه اندام‌های هوایی گیاه حمله کرده و با تغذیه از شیره نباتی گیاه موجب پژمردگی و پیچیدگی برگ‌ها شود. علاوه بر آن، شته با انتقال ویروس‌های گیاهی، دفع عسلک و اختلال در فتوسنتز به گیاهان خسارت می‌زند (Volkl & Stechman, 1998; Blackman & Eastop, 2007; Akca et al., 2015; Beji et al., 2015).

مهمترین پارازیتوئیدهای شته‌ها متعلق به زنبورهای زیرخانواده Aphidiinae می‌باشند که در کاهش جمعیت شته‌ها نقش دارند. زنبور *Aphidius matricariae* Haliday (Hym.: Braconidae; Aphidiinae) یکی از پارازیتوئیدهای شته‌ها از جمله *A. fabae* محسوب می‌شود که از مناطق مختلف ایران و جهان جمع‌آوری و گزارش شده است (Stary, 1976a, b; Rakhshani et al., 2008; Mossadegh et al., 2011; Taheri & Rakhshani, 2013; Barahoei et al., 2013). زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* از روی شته سیاه باقلا از استان خوزستان جمع‌آوری و گزارش شده است (Mossadegh et al., 2011). این زنبور از روی ۴۰ گونه شته مختلف جمع‌آوری شده است (Hagvar & Hafsvang, 1991) و از نظر اقتصادی گونه با ارزشی است زیرا گونه‌های مختلف شته را می‌تواند در زیستگاه‌های مختلف مورد حمله قرار دهد (Stary, 1976 a; Farias & Hopper, 1999).

امروزه آفت‌کش‌ها به‌طور گسترده‌ای برای کنترل حشرات آفت به‌کار برده می‌شوند و نقش اساسی در سامانه مدیریت تلفیقی آفات ایفا می‌نمایند. در مواردی استفاده از آفت‌کش‌های انتخابی همراه با عوامل کنترل کننده زیستی به‌منظور کنترل آفات ضروری است (Joseph et al., 2011; Chen et al., 2021). استفاده از حشره‌کش‌هایی که ویژگی انتخابی دارند و تأثیر منفی کمتری روی دشمنان طبیعی آفات می‌گذارند، می‌تواند مفید باشد (Tadeo, 2008; Saber & Abedi, 2013). مطالعه اثرات بالقوه آفت‌کش‌ها روی دشمنان طبیعی در راستای کاربرد آن‌ها در یک برنامه مدیریت تلفیقی آفات، ضروری به‌نظر می‌رسد (Desneux et al., 2007; Joseph et al., 2011). آفت‌کش‌ها می‌توانند به دو صورت سمیت کشنده و زیرکشنده، رفتار، فرایندهای یادگیری و فیزیولوژی دشمنان طبیعی را تحت تأثیر قرار دهند (Haynes, 1998; Croft, 1990; Stark & Banks, 2003; Desneux et al., 2004; Biondi et al., 2012). اصطلاح اثر زیرکشنده به اثر فیزیولوژیکی یا رفتاری گفته می‌شود که یک آفت‌کش روی موجوداتی که در معرض آن قرار گرفته و زنده مانده‌اند، ایجاد می‌کند (Desneux et al., 2007).

یکی از ویژگی‌های مهم زیستی زنبورهای پارازیتوئید، واکنش آن‌ها نسبت به تراکم‌های مختلف میزبان است. Holling (1959) واکنش تابعی را به سه نوع اول، دوم و سوم تقسیم نمود. واکنش تابعی به‌عنوان رابطه بین تعداد میزبان مورد حمله و تراکم میزبان، توسط یک دشمن طبیعی و در یک واحد زمانی مشخص، تعریف می‌شود (Holling, 1959; McCaffrey & Horsburgh, 1986). این ارتباط می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله اثر زیرکشنده آفت‌کش‌ها تغییر نموده و روی کارایی یک پارازیتوئید در کنترل میزبان خود تأثیر بگذارد (Abedi et al., 2012). به‌عبارت دیگر غلظت‌های زیرکشنده حشره‌کش‌ها ممکن است، نوع واکنش تابعی و پارامترهای آن از قبیل قدرت جستجوگری و زمان دستیابی را تغییر دهد

و یا اینکه آن‌ها را تحت تأثیر قرار ندهد. در زمینه اثرات آفت کش‌های شیمیایی روی واکنش زنبورهای پارازیتوئید نسبت به تراکم‌های مختلف آفات میزبان، بررسی‌هایی انجام شده است (Desneux et al., 2005; Dashti, 2010; Abedi et al., 2012; Sohrabi, et al., 2012; Amini Jam et al., 2012; Faal-Mohammad-Ali et al., 2014; Rezaei et al., 2014; Amini Jam & Saber, 2018; Saber et al., 2020). برای مثال اثر زیرکشنده حشره‌کش‌های ایمیداکلوپرید و پیریمکارب روی واکنش تابعی زنبور *A. matricariae* (Amini Jam et al., 2012) و اثر چند حشره‌کش روی پارازیتوئیدهای *Lysiphlebus fabarum* (Haliday) (Amini Jam & Kabiri-Dehkordi, 2018; Amini Jam & Saber, 2018) و *Diaeretiella rapae* (M´Intosh) (De-Jiu et al.,1991; Desneux et al., 2005; Dashti, 2010; Rezaei et al., 2014) بررسی شده است.

حشره‌کش‌های استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید از جمله حشره‌کش‌هایی هستند که برای کنترل شته‌ها در ایران مصرف می‌شوند (Noorbakhsh, 2021). استامی‌پرید از حشره‌کش‌های نئونیکوتینوئیدی است که روی گیرنده‌های نیکوتینی استیل کولین اثر می‌گذارد و توسط IRAC در گروه ۴A قرار گرفته است (Millar & Denholm, 2007; Insecticide Resistance Action Committee, 2021). این حشره‌کش به‌صورت تماسی و گوارشی برای کنترل آفاتی مانند شته‌ها، سفیدبالک‌ها و بعضی گونه‌های تریپس استفاده می‌شود. پای‌متروزین حشره‌کشی از مشتقات پیریدین آزومتین است و باعث می شود که حشرات مکنده از فرو بردن استایلت خود در سیستم آوندی گیاه خودداری کنند که در نتیجه باعث توقف تغذیه و مرگ حشرات می‌شود. این حشره‌کش براساس طبقه‌بندی IRAC در گروه ۹B قرار گرفته و فعالیت کانال‌های TRPV[1] در اندام‌های کردوتونال را مختل می‌نماید (Harrewijn & Kayser, 1997; Insecticide Resistance Action Committee, 2021). فلونیکامید یکی از حشره‌کش‌های سیتمیک از گروه پیریدین کاربوکسامید است و کارایی بالایی در کنترل گونه‌های مختلف شته‌ها روی سیب زمینی، گندم و محصولات سبزی و صیفی از خود نشان داده است و توسط IRAC در گروه ۲۹ قرار گرفته و اندام‌های کردوتونال را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما تاکنون جایگاه یا جایگاه‌های تأثیر اختصاصی این حشره‌کش در اندام‌های مزبور مشخص نشده است (Morita et al., 2007; Fanigliulo, et al., 2009; Insecticide Resistance Action Committee, 2021).

هدف از انجام پژوهش حاضر، مقایسه و تعیین میزان سمیت حشره‌کش‌های استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید روی زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* بود. به‌علاوه، اثر زیرکشنده حشره‌کش‌ها روی واکنش تابعی پارازیتوئید مورد مطالعه قرار گرفت تا حشره‌کش‌های مناسب و انتخابی‌تر در تلفیق با زنبور فوق برای کنترل شته *A. fabae* انتخاب شود.

مواد و روش‌ها

پرورش شته و زنبور پارازیتوئید

برای تهیه کلنی شته و زنبور پارازیتوئید، نمونه‌هایی از جمعیت *A. fabae* و *A. matricariae* از مزارع باقلای شهرستان دزفول جمع‌آوری و تشکیل کلنی انجام شد. گونه شته با استفاده از کلید شناسایی شته‌های ایران (Rezvani, 2001) و زنبور پارازیتوئید توسط کلید

1- Transient Receptor Potential Vanilloid

پارازیتوئید شته‌ها در آسیای مرکزی (Stary, 1976a) و منطقه مدیترانه (Stary, 1976b) شناسایی شدند. گلدان‌های حاوی گیاهان باقلا به‌عنوان میزبان شته درون قفس پرورش به ابعاد ۷۰ × ۷۰ × ۱۲۰ سانتی‌متر قرار گرفتند. برای تشکیل کلنی زنبور، تعدادی از زنبورهای نر و ماده روی بوته‌های باقلا حاوی شته سیاه باقلا در قفس پرورشی به ابعاد ۷۰ × ۷۰ × ۱۰۰، رهاسازی شدند. قفس‌های مذکور در دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی:روشنایی) نگه‌داری شدند.

هم‌سن‌سازی شته و زنبور پارازیتوئید

به‌منظور هم‌سن‌سازی شته‌ها، تعداد حداقل ۲۰ عدد شته سیاه باقلا به مدت ۱۲ ساعت برای پوره‌زایی روی گیاهچه‌های باقلا مستقر شدند. گیاهچه‌های حاوی شته در قفس استوانه‌ای شفاف (با قطر ۲۵ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر) محصور شدند و در شرایط کنترل شده درون انکوباتور در دمای۱±۲۵درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی:روشنایی) نگه‌داری شدند. پس از سپری شدن ۱۲ ساعت شته‌های بالغ حذف شده و به پوره‌های سن یک هم‌سن فرصت داده شد تا به رشد خود تا سن سوم پورگی ادامه دهند.

به‌منظور به‌دست آوردن زنبورهای پارازیتوئید بالغ هم‌سن که کمتر از ۲۴ ساعت عمر داشته باشند، تعداد حداقل ۲۰ عدد شته *A. fabae* برای پوره‌زایی روی گیاهچه‌های محصور در قفس استوانه‌ای شفاف (با قطر ۲۵ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر)، به مدت۱۲ ساعت درون انکوباتور با شرایط مذکور نگه‌داری شدند. زمانی که پوره‌ها به سن سوم پورگی رسیدند، تعداد ۱۰ جفت زنبور نر و ماده به‌منظور تخم‌ریزی به مدت ۱۲ ساعت درون قفس‌های مزبور وارد شدند. سن سوم پورگی شته سن ترجیحی برای تخم‌گذاری زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* است (Tahriri et al., 2007). سپس حشرات کامل زنبور پارازیتوئید حذف شده و شته‌های پارازیته شده تا زمان ظهور زنبورهای بالغ پارازیتوئید درون انکوباتور نگه‌داری شدند. به این ترتیب زنبورهای بالغ هم سن به‌منظور انجام آزمایش‌ها به‌دست آمد.

حشره‌کش‌ها

در این پژوهش، حشره‌کش‌های استامی‌پرید (موسپیلان® SP 20) (شرکت آریا شیمی، ایران)، پای‌متروزین (پای‌متروزین آریا® WP 25) (شرکت آریا شیمی، ایران) و فلونیکامید (تپکی® WG 50) (شرکت ISK، ژاپن) استفاده شدند.

آزمون زیست‌سنجی

برای انجام زیست‌سنجی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* از روش کاربرد غیرمستقیم حشره‌کش‌ها استفاده شد (Desneux et al., 2004). در این روش از ظروف استوانه‌ای شیشه‌ای به‌قطر ۶ سانتی‌مترو ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. آزمایش‌های مقدماتی برای تعیین دامنه‌ای از غلظت‌های حشره‌کش‌ها که تلفاتی معادل ۱۰ تا ۹۰ درصد در جمعیت مورد مطالعه ایجاد کردند، انجام شد. بر این اساس غلظت‌های بالا و پایین مشخص شدند و غلظت‌های حدفاصل آن‌ها با محاسبه فاصله لگاریتمی و در مجموع ۵ غلظت برای هر حشره‌کش تعیین شد. دامنه غلظت‌های تعیین شده برای تیمارهای استامی‌پرید (۱۴-۰/۴ میلی‌گرم ماده موثر بر لیتر)، پای‌متروزین (۴۷۶-۱۱۰۰ میلی‌گرم ماده موثر بر لیتر) و فلونیکامید (۲۷۵-۵۷ میلی‌گرم ماده موثر بر لیتر) بود. برای هر غلظت ۵ تکرار در نظر گرفته شد. هر آزمایش در سه نوبت تکرار شد. به هر یک از غلظت‌های محلول حشره‌کش ماده خیس کننده توئین[1] ۲۰ با غلظت ppm

1- Tween 20

۵۰۰ اضافه شد. برای شاهد از آب مقطر به‌همراه ppm ۵۰۰ توئین ۲۰ استفاده شد (Rezaei et al., 2014).

به‌منظور ایجاد یک لایه یکنواخت از نهشت حشره‌کش، حجمی معادل ۱۵۰ میکرولیتر از هر غلظت حشره‌کش و آب مقطر به‌عنوان شاهد درون هر ظرف استوانه‌ای شیشه‌ای ریخته شد ظروف به‌صورت دورانی حرکت داده شدند تا کل سطح داخلی به‌طور یکدست آغشته شود و برای خشک شدن به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. سپس تعداد ۱۵ عدد زنبور ماده که طول عمر آن‌ها کمتر از ۲۴ ساعت بود، در هر ظرف رهاسازی شدند. برای تهویه، دهانه هر استوانه توسط پارچه ارگانزا پوشانده شد. برای تغذیه زنبورهای پارازیتوئید *A. matricariae* از یک نوار کوچک روغنی آغشته به محلول آب و عسل ۳۰ درصد استفاده گردید. ظروف مورد آزمایش در انکوباتور (دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ ساعت (تاریکی:روشنایی)) قرار داده شدند. ۲۴ ساعت بعد از رهاسازی زنبورها به‌داخل ظروف استوانه‌ای، تعداد تلفات از فرمول ابوت شمارش شد (Rezaei et al., 2014).

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش‌های زیست‌سنجی، از روش پروبیت و نرم افزار پولوپلاس (LeOra Software, 1987) استفاده شد. برای مقایسه سمیت در تیمارهای مختلف نیز از مقادیر LC_{50} استفاده گردید. با آزمون نرخ سمیت نسبی (نسبت مقادیر LC_{50} حشره‌کش‌ها)، در صورت عدم همپوشانی حدود اطمینان محاسبه شده در سطح ۹۵ درصد، اختلاف مقادیر معنی‌دار در نظر گرفته شد (Robertson et al., 2007).

اثر زیرکشنده حشره‌کش‌ها روی واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *A. matricariae*

به‌منظور بررسی اثر زیرکشنده حشره‌کش‌ها روی واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *A. matricariae*، زنبورهای ماده جفت‌گیری کرده که کمتر از ۲۴ ساعت عمر داشتند، در معرض باقی‌مانده غلظت‌های ۱/۱۹، ۵۸۷/۱۳ و ۸۹/۸۵ میلی گرم ماده موثر بر لیتر (LC_{25}) به‌ترتیب برای حشره‌کش‌های استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. به‌منظور انجام آزمایش مزبور از غلظت LC_{25} استفاده شد زیرا کمتر از آستانه تعریف شده در IPM یعنی ۳۰ درصد مرگ و میر می‌باشد (Bayram et al., 2010). برای هر تیمار۹۰ زنبور پارازیتوئید ماده جفت‌گیری کرده‌ی تیمار شده‌ی زنده مانده به‌طور تصادفی انتخاب و به‌صورت جداگانه به قفس‌های استوانه‌ای شفاف حاوی تراکم‌های مختلف (۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴) پوره سن سوم *A. fabae* منتقل شدند. پس ازسپری شدن ۲۴ ساعت زنبورها از درون قفس‌ها حذف شدند. به‌منظور بررسی میزان تخم‌ریزی، شته‌های پارازیته شده تا زمان مومیایی شدن و ظهور حشرات کامل در انکوباتور با شرایط مذکور قرار گرفتند. هر تراکم حداقل در ۱۵ تکرار انجام شد. زنبورها با محلول آب و عسل ۳۰ درصد روی نوار روغنی تغذیه شدند. اندازه ظروف آزمایش و شرایط انکوباتور مشابه بخش‌های قبلی در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های واکنش تابعی

برای تعیین واکنش تابعی و پارامترهای آن از روش Juliano (2001) در دو مرحله استفاده شد. در مرحله اول برای تعیین نوع واکنش تابعی از تابع چند جمله‌ای (معادله ۱) در برنامه SAS version 9.1 استفاده شد (Juliano, 2001; SAS Institute, 2003).

معادله(۱):

$$Na/N_0 = \frac{\exp(P_0 + P_1N_0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3)}{1+\exp(P_0 + P_1N0 + P_2N_0^2 + P_3N_0^3)}$$

در این معادله N_a تعداد میزبان‌های پارازیته شده، N_0 تعداد میزبان اولیه و پارامترهای P_0، P_1 ، P_2 و P_3 به‌ترتیب عرض از مبدا[1]، قسمت خطی[2]، قسمت درجه دو[3]، قسمت درجه سه[4] بوده و با استفاده از رویه CATMOD در برنامه آماری SAS تخمین زده شدند (Juliano, 2001). علامت منفی ضریب خطی منحنی نشان‌دهنده واکنش تابعی نوع دوم می‌باشد. مثبت بودن این ضریب، واکنش تابعی نوع سوم را نشان می‌دهد (Juliano, 2001). در معادله فوق اگر جمله درجه سوم معنی‌دار نباشد، حتی با وجود معنی‌دار بودن جمله‌های درجه دو و خطی، تعیین نوع واکنش تابعی با این معادله صحیح نیست. در این حالت با حذف N_0^3 و در صورت لزوم N_0^2، مدل ساده‌تر می‌شود تا جمله معنی‌دار شود و تجزیه‌ها تکرار می‌شود (Juliano, 2001; Forouzan et al., 2020).

در مرحله دوم، پارامترهای واکنش تابعی با استفاده از رگرسیون غیرخطی (روش NLIN) در برنامه SAS تخمین زده شدند (Juliano, 2001; SAS Institute, 2003). در واکنش تابعی نوع دوم از معادله جستجوی تصادفی Rogers (1972) برای پارازیتوئیدها استفاده شد که عبارت است از: معادله(۲):

$$N_a = N_0\left[1 - \exp\left(-\frac{a\,T_t}{1 + aT_hN_0}\right)\right]$$

T_t مقدار کل زمانی که پارازیتوئید و شته میزبان در تماس با یکدیگر هستند، a قدرت جستجوگری پارازیتوئید و T_h زمان دستیابی است.

به‌منظور مقایسه پارامترهای واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید در تیمارهای مختلف از معادله (۳) استفاده شد. (Juliano, 2001). معادله (۳):

$$N_a = N_0\left\{1 - \exp\left[(a + D_a(j))\left((T_h + D_{Th}(j))N_a - T\right)\right]\right\}$$

در معادله فوق j یک متغییر شاخص می‌باشد که برای تیمار اول مقدار صفر و برای تیمار بعدی مقدار ۱ می‌گیرد. پارامترهای D_a و D_{Th} به‌ترتیب تفاوت در مقادیر قدرت جستجوگری (a) و زمان دستیابی (T_h) بین دو جمعیت را نشان می‌دهند. به‌عبارتی زمان دستیابی پارازیتوئید در تیمار شاهد T_h و در تیمار حشره‌کش $T_h \pm D_{Th}$ است. اگر مقدار D_{Th} با صفر متفاوت باشد نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین زمان‌های دستیابی این دو جمعیت می باشد. اگر D_{Th} با صفر تفاوت معنی‌دار نداشته باشد نتیجه به این صورت خواهد بود که T_h و $T_h \pm D_{Th}$ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشته‌اند و در نتیجه زمان دستیابی بین دو جمعیت مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با هم نخواهد داشت (Juliano, 2001).

نتایج

سمیت حشره‌کش‌ها

نتایج حاصل از آزمایش‌های زیست‌سنجی حشره‌کش‌های استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید روی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* در جدول ۱ نشان داده شده است. مقادیر سمیت نسبی غلظت‌های کشنده ۵۰ درصد حشره‌کش‌های مزبور با استفاده از آزمون سمیت نسبی نشان داد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سمیت حشره‌کش‌ها روی زنبور پارازیتوئید وجود دارد. زمانی که حدود اطمینان ۹۵ درصد عدد یک را شامل نشود، سمیت نسبی معنی‌دار خواهد بود. سمیت استامی‌پرید برای حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* به‌طور معنی‌داری بیشتر از پای‌متروزین و فلونیکامید بود ($P<$ ۰/۰۵). سمیت فلونیکامید روی زنبور پارازیتوئید نیز به‌طور معنی‌داری بیشتر از پای‌متروزین بود ($P<$ ۰/۰۵) (جدول ۲).

1- Constant
2- Linear
3- Quadratic
4- Cubic

جدول ۱- سمیت استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید روی حشرات کامل زنبور *Aphidius matricariae*

Table 1. Toxicity of acetamiprid, pymetrozine and flonicamid on adult wasps of *Aphidius matricariae*

Insecticide	Slope ± SE	χ^2 (df)	Lethal concentration (mg a.i/l)		
			LC_{25} (95% FL[a])	LC_{50} (95% FL)	LC_{90} (95% FL)
Acetamiprid	1.63 ± 0.09	1.38 (3)	1.19 (1.02-1.36)	3.07 (2.73-3.47)	18.64 (15.01-24.19)
Pymetrozine	6.70 ± 0.37	1.72 (3)	587.13 (564.33-607.78)	740.20 (719.35-761.90)	1149.51 (1091.30-1223.80)
Flonicamid	3.94 ± 0.23	3.60 (3)	89.85 (76.95-101.05)	133.15 (102.1-147.05)	281.1 (242.1-346.55)

[a] Fiducial limits

جدول ۲- سمیت نسبی استامی‌پرید،پای‌متروزین و فلونیکامید برای مقایسه سمیت حشره‌کش‌ها روی حشرات کامل زنبور *Aphidius matricariae*

Table 2. Relative potency of acetamiprid, pymetrozine and flonicamidto compare toxicity the insecticides on adult wasps of *Aphidius matricariae.*

Insecticides	Relative potency	95% Confidence interval of relative potency
Flonicamid *vs.* Acetamiprid	46.35	23.30-92.37*
Pymetrozine *vs.* Acetamiprid	257.39	122.10-681.64*
Pymetrozine *vs.* Flonicamid	5.32	4.06-7.02*

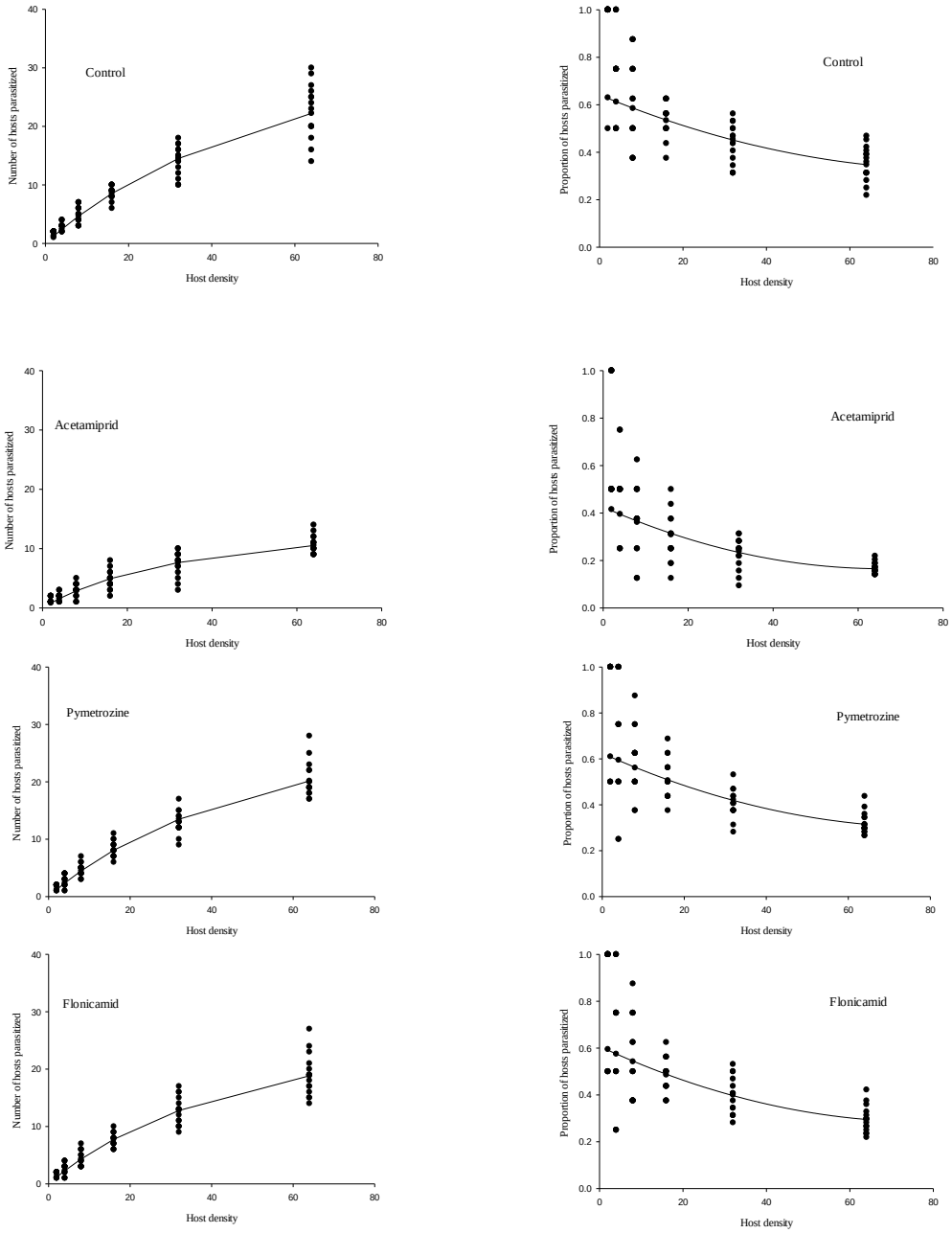
*Relative potency considered significant when its 95% confidence interval did not comprise the value 1.0 (Robertson et al., 2007)

واکنش تابعی

واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* که در معرض غلظت LC_{25} حشره‌کش‌های استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید قرار گرفته بود بررسی شد و نتایج آن در شکل ۱ آمده است. در تمام تیمارها تعداد شته‌های پارازیته شده با افزایش تراکم میزبان افزایش پیدا کرد. مقدار شیب قسمت خطی (P_1) منحنی درجه سه رگرسیون لجستیک در همه تیمارها منفی بود. این امر نشان دهنده واکنش تابعی نوع دوم برای شاهد و تیمارهای حشره‌کش‌ها است (جدول ۳). به عبارتی زنبور پارازیتوئید نسبت به تراکم‌های مختلف شته *A. fabae* به‌صورت وابسته به عکس تراکم عمل می‌کند و نسبت تعداد شته‌های میزبان پارازیته شده به تعداد شته‌های میزبان اولیه با افزایش تراکم میزبان به‌تدریج کاهش یافته و منحنی حاصل در نهایت به صورت مجانب خواهد بود (شکل ۱).

مقادیر قدرت جستجو و زمان دستیابی در شاهد و تیمارهای حشره‌کش‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج مقایسه پارامترهای واکنش تابعی توسط معادله (۳) در جدول ۵ نشان داده شده است. در حالی که حدود اطمینان ۹۵٪ برای D_a و D_{Th} صفر را شامل نشود، بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری در قدرت جستجوگری و زمان دستیابی بین دو تیمار وجود دارد در صورتی که، حدود اطمینان صفر را شامل شود تفاوت معنی‌داری در پارامترهای مذکور بین دو تیمار وجود ندارد. بنابراین، میزان قدرت جستجو و زمان دستیابی در تیمار استامی‌پرید نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند، در صورتی‌که در تیمارهای پای‌متروزین و فلونیکامید، پارامترهای واکنش تابعی نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). مقایسه پارامترهای مذکور در تیمارهای حشره‌کش‌ها نشان داد که قدرت جستجو و

زمان دستیابی در زنبورهای پارازیتوئید *A. matricariae* تیمار شده با حشره‌کش استامی‌پرید نسبت به تیمار حشره‌کش‌های پای‌متروزین و فلونیکامید به‌ترتیب به‌طور معنی‌داری کمتر و بیشتر بود (جدول ۵).



شکل ۱- واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *Aphidius matricariae* نسبت به تراکم‌های مختلف پوره‌های سن سوم شته *Aphis fabae* در تیمارهای شاهد، استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید. نمودار چپ: تعداد میزبان‌های پارازیته شده. نمودار راست: نسبت میزبان‌های پارازیته شده(سمبل‌ها و منحنی‌ها به‌ترتیب نشان‌دهنده داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل (معادله۲) هستند).

Figure 1. Functional response of *Aphidius matricariae* at different densities of third instar nymphs of *Aphis fabae* in control, acetamiprid, pymetrozine and flonicamid treatments. Left: number of parasitized hosts. Right: proportion of parasitized hosts (Symbols are observed data and lines are predicted by model (equation2)).

جدول ۳- نتایج حاصل از برازش رگرسیون لجستیک نسبت میزبان پارازیته شده توسط زنبور پارازیتوئید *Aphidius matricariae* بر تعداد اولیه میزبان در تیمارهای مختلف.

Table 3. Results of logistic regressions analysis of the proportion of host parasitized versus host density by *Aphidius matricariae* at different treatments.

	Full Model					Reduced Best Fit Model				
Treatment	Coefficient	Estimate	SE	χ^2	*P*-value	Coefficient	Estimate	SE	χ^2	*P*-value
Control	Constant (P_0)	1.8422	0.36	26.60	< 0.0001					
	Linear (P_1)	-0.1764	0.05	11.65	0.0006					
	Quadratic (P_2)	0.0048	0.01	6.23	0.0125					
	Cubic (P_3)	-0.0004	0.00002	4.77	0.0289					
Acetamiprid	Constant (P_0)	0.6160	0.31	3.90	0.082	Constant (P_0)	-0.3824	0.11	12.39	0.0004
	Linear (P_1)	-0.1600	0.04	10.61	0.0011	Linear (P_1)	-0.0202	0.002	67.90	< 0.0001
	Quadratic (P_2)	0.0045	0.002	5.80	0.0160					
	Cubic (P_3)	-0.00004	0.0002	4.64	0.0312					
Pymetrozine	Constant (P_0)	1.5232	0.34	20.16	< 0.0001	Constant (P_0)	1.0038	0.19	29.26	< 0.0001
	Linear (P_1)	-0.1516	0.05	9.23	0.0024	Linear (P_1)	-0.0611	0.01	25.82	< 0.0001
	Quadratic (P_2)	0.0040	0.002	4.64	0.0331	Quadratic (P_2)	0.0005	0.0002	12.05	0.0005
	Cubic (P_3)	-0.00003	0.00002	3.54	0.0599					
Flonicamid	Constant (P_0)	1.3047	0.32	15.90	< 0.0001					
	Linear (P_1)	-0.1490	0.05	9.34	0.0022					
	Quadratic (P_2)	0.0042	0.00182	5.20	0.0226					
	Cubic (P_3)	-0.00004	0.00002	4.25	0.0393					

جدول ٤- فراسنجه‌های واکنش تابعی تخمین زده شده ± خطای معیار برای زنبور پارازیتوئید *Aphidius matricariae* در تیمارهای مختلف.

Table 4. Estimated parameters of functional response ± SE for *Aphidius martricariae* to different treatments.

Treatment	a (h^{-1}) (Asymptotic 95% CI)	T_h(h) (Asymptotic 95% CI)	T/T_h	r^2
Control	0.0432 ± 0.01 (0.0324-0.0540)	0.5170 ± 0.06 (0.3945-0.6394)	46.42	0.96
Acetamiprid	0.0237 ± 0.003 (0.0180-0.0293)	1.4257 ± 0.13 (1.1757-1.6758)	16.83	0.94
Pymetrozine	0.0414 ± 0.004 (0.0332-0.0496)	0.6133 ± 0.05 (0.5089-0.7177)	39.15	0.97
Flonicamid	0.0398 ± 0.01 (0.0304-0.0492)	0.6816 ± 0.07 (0.5499-0.8134)	35.21	0.96

جدول ٥- فراسنجه‌های تخمین زده شده برای مقایسه پارامترهای واکنش تابعی زنبور *Aphidius matricariae* بین تیمارهای مختلف.

Table 5. Parameters estimated for comparing functional response parameters between different treatments for *Aphidius martricariae*.

Treatment	Parameter	Estimate	Asymptotic SE	Asymptotic 95% CI	
				Lower	Upper
Control *vs.* Acetamiprid	D_a	-0.0195	0.006	-0.0313	-0.0077
	D_{Th}	0.9088	0.184	0.5467	1.2709
Control *vs.* Pymetrozine	D_a	-0.0018	0.007	-0.0153	0.0117
	D_{Th}	0.0964	0.083	-0.0668	0.2595
Control *vs.* Flonicamid	D_a	-0.0034	0.007	-0.0176	0.0109
	D_{Th}	0.1647	0.092	-0.0176	0.3470
Pymetrozin *vs.* Acetamiprid	D_a [a]	-0.0177	0.005	-0.0274	-0.0079
	D_{Th} [b]	0.8124	0.1513	0.5139	1.1110
Pymetrozin *vs.* Flonicamid	D_a	-0.0016	0.006	-0.0140	0.0108
	D_{Th}	0.0683	0.0840	-0.0975	0.2342
Flonicamid *vs.* Acetamiprid	D_a	-0.0161	0.005	-0.0267	-0.0055
	D_{Th}	-0.7441	0.1664	0.4157	1.0725

[a] D_a: indicator variable estimates the differences between the treatments in the value of the parameter a

[b] D_{Th}: indicator variable estimates the differences between the treatments in the value of the parameter T_h

بحث

حشره‌کش‌ها یکی از ابزارهای مدیریت تلفیقی آفات هستند و مطالعه اثرات جانبی آنها روی دشمنان طبیعی آفات ضروری به‌نظر می‌رسد (Desneux et al., 2007). نتایج بررسی حاضر نشان داد استامی‌پرید سمی‌تر از حشره‌کش‌های پای‌متروزین و فلونیکامید روی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* است (جدول ۱ و ۲). میزان LC_{50} محاسبه شده استامی‌پرید روی زنبور (۷۳/۴۷–۲/۳) ۳/۰۷ میلی‌گرم ماده موثر بر لیتر یا (۱۷/۳۴–۱۳/۶۴) ۱۵/۳۵ پی‌پی‌ام بود که کمتر از مقادیر گزارش شده توسط سایر بررسی‌ها بود که دامنه LC_{50} استامی‌پرید روی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* را ۳۱/۷–۱۸/۳ پی‌پی‌ام (Almasi et al., 2016) و ۲۵/۳–۱۹/۹ پی‌پی‌ام (Amini Jam & Kabiri Dehkordi, 2018) گزارش نمودند. سمیت بالای سایر حشره‌کش‌های نئونیکوتینوئیدی مانند ایمیداکلوپرید روی زنبورهای

پارازیتوئید *A. matricariae* (Amini Jam et al., 2012)، *D. rapae* (Kheradmand et al., 2012)، *Aphidius colemani* Haliday (Golmohammadi, 2015) و تیامتوکسام روی زنبور *D. rapae* (Rezaei et al., 2014) گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. میزان LC_{50} محاسبه شده پای‌متروزین روی زنبور *A. matricariae* (۷۶۱/۹۰ -۷۱۹/۳۵) ۷۴۰/۲۰ میلی‌گرم ماده موثر بر لیتر بود، برخلاف بررسی دیگری که دامنه LC_{50} پای‌متروزین روی زنبور *L. fabarum* را ۸۲۳/۵۴-۷۸۰/۲۰ میلی‌گرم ماده موثر بر لیتر گزارش نموده است (Amini Jam & Saber, 2018). غلظت توصیه شده مزرعه‌ای پای‌متروزین بعد از ۲۴ ساعت، حدود ۲۹ درصد تلفات روی زنبور *A. matricaiae* داشت که با سایر مطالعاتی که پای‌متروزین را حشره‌کشی بدون زیان برای زنبورهای پارازیتوئید *Aphelinus abdominalis* Delman و *Encarsia formosa* Gahan (Sechser et al., 1994)، *Aphelinus gossypii* Timberlake (Torres et al., 2003)، *D. rapae* (Kheradmand et al., 2012) وجمعیت‌های ماده‌زا (Sabahi et al., 2011; Mardani et al., 2016) و دوجنسی (Amini Jam & Saber, 2018) *L. fabarum* و *Aphidius gifuensis* Ashmead (Chen et al., 2021) گزارش کردند، مطابقت دارد. نتایج نشان داد میزان LC_{50} فلونیکامید روی زنبور *A. matricariae* (۱۴۷/۰۵ -۱۰۲/۱) ۱۳۳/۱۵ میلی‌گرم ماده موثر بر لیتر بود. برخلاف نتایج حاصل، دامنه LC_{50} حشره‌کش فلونیکامید روی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* (Say)، ۶۵۳ -۴۳۷ میلی‌گرم ماده موثر بر لیتر (Fooladi et al., 2015) و روی زنبور *L. fabarum*، ۸/۹۵-۱۳۳/۱۶۷میلی‌گرم ماه موثر بر لیترگزارش شده است (Amini Jam & Kabiri Dehkordi, 2018). علت تفاوت در میزان LC_{50} گزارش شده در پژوهش حاضر با سایر بررسی‌های انجام شده، احتمالا به‌دلیل تفاوت در گونه زنبور پارازیتوئید مورد آزمایش، گونه میزبان، حساسیت متفاوت پارازیتوئید نسبت به حشره‌کش‌ها و تفاوت جغرافیایی در جمعیت‌های حشرات است.

کارایی یک پارازیتوئید را می توان از طریق تعیین نوع واکنش تابعی و مقایسه پارامترهای آن یعنی قدرت جستجوگری (میزان جستجوی انجام شده برای پیدا کردن میزبان) و زمان دستیابی (مدت زمان صرف شده توسط پارازیتوئید برای حمله، پارازیته کردن و استراحت کردن) مشخص کرد. هر چه قدرت جستجو بیشتر و زمان دستیابی کوتاه‌تر باشد، کارایی دشمن طبیعی بالاتر خواهد بود (Hassel, 1982; Jafari et al., 2014). غلظت های زیرکشنده ترکیبات شیمیایی می توانند نوع واکنش تابعی حشرات را تغییر دهند (Deneux et al., 2005) و یا پارامترهای واکنش تابعی را تحت تأثیر قرار دهند (Abedi et al., 2012). طبق نتایج حاصل، حشره‌کش‌های استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید، نوع واکنش تابعی زنبور *A. matricariae* را نسبت به شاهد تغییر ندادند و در همه تیمارها از نوع دوم بود (جدول ۳ و شکل ۱). مشابه با نتایج حاضر، تغییری در نوع واکنش تابعی تعدادی از زنبورهای پارازیتوئید آفات که در معرض حشره‌کش‌ها قرار گرفته بودند نسبت به شاهد گزارش نشده است (Sohrabi et al., 2012; Amini Jam et al., 2012; Rezaei et al., 2014; Amini Jam & Kabiri Dehkordi, 2018). برای مثال اثر زیرکشنده حشره‌کش‌های ایمیداکلوپرید و بوپروفزین روی زنبور پارازیتوئید *Encarsia inaron* (Walker) (Sohrabi et al., 2012)، ایمیداکلوپرید و پیریمیکارب

روی پارازیتوئید *A. matricariae* (Amini Jam et al., 2012)، حشره‌کش‌های تیامتوکسام و پیریمیکارب روی زنبور پارازیتوئید *D. rapae* (Rezaei et al., 2014) و حشره‌کش‌های اسپیروتترامات، استامی‌پرید، پیریمیکارب وفلونیکامید روی زنبور *L. fabarum* (Amini Jam & Kabiri Dehkordi, 2018)، نوع واکنش تابعی پارازیتوئیدها را نسبت به شاهد تغییر ندادند. برخلاف نتایج پژوهش حاضر، تغییر نوع واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *D. rapae* تحت تأثیر حشره‌کش‌های پریمیکارب، سایپرمترین و دی‌متوات در مقایسه با شاهد گزارش شده است، به‌صورتی که واکنش تابعی در شاهد از نوع دوم و در تیمار حشره‌کش‌های مزبور از نوع سوم بوده است ((De-Jiu, 1991). همچنین در بررسی اثرات حشره‌کش‌های ایمیداکلوپرید و بوپروفزین روی واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *Eretomocerus mundus* Mercet گزارش شده است، واکنش تابعی در شاهد و تیمار ایمیداکلوپرید از نوع سوم و در تیمار بوپروفزین از نوع دوم بوده است (Sohrabi et al., 2014). در بررسی دیگری اثر دیازینون و فیپرونیل روی واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brasssicae* Bezdenko نشان داده است نوع واکنش تابعی در شاهد و فیپرونیل از نوع دوم و در تیمار دیازینون از نوع سوم بوده است (Saber et al., 2020). تفاوت در شرایط آزمایشگاهی، گونه زنبور پارازیتوئید، آفت میزبان، حساسیت متفاوت پارازیتوئیدها به حشره‌کش‌ها، غلظت های متفاوت آفت‌کش‌های مورد مطالعه از جمله عواملی هستند که می‌توانند در تفاوت نتایج بررسی‌های مختلف موثر باشند.

طبق نتایج پژوهش حاضر، قدرت جستجو زنبور *A. matricariae* در معرض غلظت زیرکشنده استامی پرید، به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد و تیمار حشره‌کش‌های پای‌متروزین و فلونیکامید بود. اگرچه پارامتر مذکور در مورد زنبورهایی که با حشره‌کش‌های پای‌متروزین و فلونیکامید تیمار شده بودند، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول‌های ۴ و ۵). زمان دستیابی در تیمار استامی پرید، به طور معنی‌داری کمتر از شاهد و سایر تیمار حشره‌کش‌ها بود ولی تفاوت معنی‌داری در تیمار پای‌متروزین و فلونیکامید نسبت به شاهد وجود نداشت (جدول‌های ۴ و ۵). افزایش زمان دستیابی، می‌تواند به دلیل تأثیر استامی‌پرید روی طولانی شدن هر یک از مراحل مذکور باشد که در نهایت منجر به کاهش پارازیتیسم و کارایی زنبور پارازیتوئید می‌شود. رفتارهایی مانند جهت‌یابی و کاوشگری از قبیل پیدا کردن میزبان و تخمریزی دشمنان طبیعی به‌طور عمده وابسته به سامانه عصبی آنها است که این موضوع توسط حشره‌کش‌های عصبی با چگونگی تأثیر متفاوت، تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Desneux et al., 2004). بنابراین اثر زیرکشنده منفی استامی‌پرید روی پارامترهای واکنش تابعی زنبور پارازیتوئید *A. matricriae* می‌تواند به‌دلیل تأثیر سوء این حشره‌کش روی سامانه عصبی پارازیتوئید باشد. مطابق با نتایج حاضر، تأثیر منفی حشره‌کش‌های نئونیکوتینوئیدی روی پارامترهای واکنش تابعی زنبورهای پارازیتوئید شته‌ها گزارش شده است. برای مثال، قدرت جستجو و زمان دستیابی زنبور *A. matricriae* در معرض قرار گرفته با ایمیداکلوپرید (Amini Jam et al., 2012)، زنبور *D. Rapae* تیمار شده با تیامتوکسام (Rezaei et al., 2014) و زنبور *L. fabarum* در معرض غلظت زیرکشنده ایمیداکلوپرید (Amini Jam & Saber, 2018) و استامی‌پرید (Amini Jam & Kabiri Dehkordi, 2018)، به‌طور منفی تحت تأثیر قرار گرفتند. حشره‌کش‌های پای‌متروزین و فلونیکامید، پارامترهای واکنش تابعی را نسبت به شاهد تحت تأثیر قرار ندادند و بین دو تیمار مذکور هم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد

(جدول‌های ۴ و ۵). مطابق با نتایج به‌دست آمده، عدم تأثیر حشره‌کش‌های پای‌متروزین و فلونیکامید روی قدرت جستجو و زمان دستیابی زنبور پارازیتوئید *L. fabarum* گزارش شده است (Amini Jam & Saber, 2018; Amini Jam & Kabiri Dehkordi, 2018). حشره‌کش‌های مذکور، حشره کش‌های انتخابی هستند که در کنترل شته‌ها موثر هستند (Jansen, 2011). نسبت زمان آزمایش به زمان دستیابی (T/T_h) نشان دهنده حداکثر پارازیتیسم یا حداکثر نرخ حمله می‌باشد، که این مقدار در شاهد، و تیمارهای استامی‌پرید، پای‌متروزین و فلونیکامید به‌ترتیب ۴۶/۴۲، ۱۶/۸۳، ۳۹/۱۵ و ۳۵/۲۱ پوره میزبان بود (جدول ۴). با افزایش زمان دستیابی تعداد حمله در زمان کل آزمایش کمتر می‌شود و میزان پارازیتیسم کاهش می‌یابد در نتیجه حدکثر نرخ حمله تحت تاثیر آفت‌کش‌ها کاهش می‌یابد (Jafari et al., 2014). نتایج نشان دهنده اثر منفی استامی‌پرید روی حداکثر نرخ حمله پارازیتوئید *A. matricriae* است (جدول ۴). به‌عبارتی کارایی پارازیتیسم در شاهد ۲/۷۶ برابر بیشتر از تیمار استامی‌پرید بود.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد سمیت حشره‌کش‌های پای‌متروزین و فلونیکامید روی زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* به‌طور معنی‌داری کمتر از استامی‌پرید بود. به‌علاوه، دو حشره مذکور برخلاف استامی‌پرید، تأثیر منفی چندانی روی پارامترهای وکنش تابعی پارازیتوئید از قبیل قدرت جستجو، زمان دستیابی و حداکثر نرخ حمله در شرایط آزمایشگاهی نداشتند. حشره‌کش‌های پای‌متروزین و فلونیکامید می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های مناسب‌تری در برنامه‌های مدیریت کنترل شته *A. fabae* در تلفیق با زنبور پارازیتوئید *A. matricariae* مورد استفاده قرار گیرند. اگرچه انجام آزمایش‌هایی در شرایط نیمه مزرعه‌ای و مزرعه‌ای پیشنهاد می‌شود.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول به سبب در اختیار قرار دادن امکانات پژوهشی تشکر می‌شود. از از جناب آقای دکتر ارسلان جمشیدنیا عضو هیئت علمی دانشگاه تهران به‌خاطر مساعدت علمی‌شان سپاس‌گزاری می‌شود.

REFERENCES

Abedi, Z., Saber, M., Gharekhani, G., Mehrvar, A., & Mahdavi, V. (2012). Effects of azadirachtin, cypermetrin, methoxyfenozide and pyridalil on functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hym.: Braconidae). *Journal of Plant Protection Research, 52*(3), 353-358. https://doi.org/10.2478/v10045-012-0058-8

Akca, I., Ayvaz, T., yazici, E., Smith, C. L., & Chi, H. (2015). Demography and population projection of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae): with additional comments on life table research criteria. *Journal Economic Entomology, 108*(4), 1466-1478. https://doi.org/10.1093/jee/tov187

Almasi, A., Askari Seyahooei, M., & Khajehzadeh, Y. (2016). The toxicity of acetamipirid, dichlorvos and azadirachtin pesticides on melon aphid, *Aphis gossypii* Glover and *lysiphlebus fabarum* Marshall. *Iranian Journal of Plant Protection Science, 47*(1), 151-162. (In Farsi with English summary). https://doi.org/ 10.22059/IJPPS.2016.59298

Amini Jam, N., Kocheyli, F., Mossadegh, M. S., Rasekh, A., & Saber, M. (2012). Effect of imidacloprid and pirimicarb on functional response of *Aphidius matricariae* Haliday (Hym., Braconidae) under laboratory conditions. *Plant Pests Research, 2*(3), 51-61. (In Farsi with English summary). https://iprj.guilan.ac.ir/article_1174.html

Amini Jam, N., & Kabiri Dehkordi, S. (2018). Effects of spirotetramat, acetamipirid, pirimicarb and flonicamid on parasitoid wasp, *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hym.: Braconidae) under laboratory conditions. *Plant Pest Research, 8*(2), 67-81. (In Farsi with English summary). https://doi.org/ 10.22124/IPRJ.2018.2996

Amini Jam, N., & Saber, M. (2018). Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on the functional response of the aphid parasitoid, *Lysiphlebus fabarum*. *Entomologia Generalis, 38*(2), 173–190. https://doi.org/ 10.1127/entomologia/2018/0734

Barahoei, H., Rakhshani, E., Madjdzadeh, S. M., Alipour, A., Taheri, S., Nader, E., Mitrovski Bogdanovic, A. Petrovic-Obradovic, O., Stary, P., Kavallieratos, N. G., & Tomanovic, Z. (2013). Aphid parasitoid species (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of central submountains of Iran. *North-Western Journal of Zoology, 9*(1), 70-93. http://aspace.agrif.bg.ac.rs/handle/123456789/3105

Bayram, A., Salerno, G., Onofri, A., & Conti, E. (2010). Sub-lethal effects of two pyrethroids on biological parameters and behavioral response to host cues in the egg parasitoid *Telenomus busseolae*. *Biological Control, 53*(2), 153-160. https://doi.org/ 10.1016/j.biocontrol.2009.09.012

Biondi, A., Mommaerts, V., Smagghe, G., Vinnuela, E., Zappalaa, L., & Desneux, N. (2012). The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods. *Pest Management Science, 68*(12), 1523-1536. https://doi.org/ 10.1002/ps.3396

Blackman, R. L., & Eastop, V. P. (2007). Taxonomic issues. In: H. F. Van Emden & R. Harrington (Eds.) *Aphids as crop pests* (1st ed., pp. 1-29). CABI Publishing, London. http://dx.doi.org/10.1079/9780851998190.0001

Chen, S., Lin, R., Yu, G., Sun, R. & Jiang, H. (2021). Toxic fffects of seven pesticides to aphid parasitoid, *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Braconidae) after contact exposure. *Crop Protection145*: 105634. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105634

Croft, B. A. (1990). *Arthropod Biological Control Agent and Pesticides* (1st ed.). John Willey and Sons. New York, USA.

Dashti, H. (2010). *Investigation of some aphicides on functional response of Diaeretiella rapae (M´Intosh) (Hym.: Braconidae) on Schizaphis granarium (Rondani) (Hem.: Aphididae)*. [MSc. dissertation, The University of Tehran]. (In Farsi)

De-Jiu, G., Ming-En, Y., Ren-Huan, H., & Zhe-huai, L. (1991). The effects of sublethal doses of insecticides on the foraging behavior of parasitoid, *Diaeretiella rapae* (Hym.: Braconidae).

Acta Ecologica Sinica, 4(1), 1-4. https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-STXB199104005.htm

Desneux, N., Decourtye, A., & Delpuech, J. M. (2007). The Sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology, 52*(1), 81-106. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440

Desneux, N., Fauvergue, X., Dechaume-Moncharmont, O. X., Kerhoas, L., Ballanger, Y., & Kaiser, L. (2005). *Diaeretiella rapae* limits *Myzus persicae* populations after applications of deltamethrin in oilseed rape. *Journal of Economic Entomology, 98*(1), 9-17. https://doi.org/ 10.1603/0022-0493-98.1.9

Desneux, N., Rafalimanana, H., & Kaiser, L. (2004). Dose–response relationship in lethal and behavioural effects of different insecticides on the parasitic wasp *Aphidius ervi*. *Chemosphere, 54*(5), 619-627. https://doi.org/ 10.1093/jee/98.1.9.

Faal-Mohammad-Ali, H., Allahyari, H., & saber, M. (2014). The effect of sublethal concentration of chlorpyrifos and fenpropathrin on functional response of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection, 48*(4), 1-9. https://dx.doi.org/10.1080/03235408.2014.886411

Fanigliulo, A., Filì, V., Pacella, R., Comes, S., & Crescenzi, A. (2009). Teppeki, selective insecticide about *Bombus terrestris*. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 74*(2),407-10. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20222598/

Farias, A., & Hopper, K. (1999). Oviposition behavior of *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae) and defense behavior of their host *Diuraphis noxia* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology, 28*(5), 858-862. https://doi.org/10.1093/ee/28.5.858

Fooladi, M., Golmohammadi, G., & Ghajarieh, H. (2015). Lethal and sublethal effects of insecticides azadirachtin, flonicamid, thiacloprid and thiocyclam on parasitoid wasp *Habrobracon hebetor*. *Biocontrol in Plant Protection, 3*(1), 9-18. (In Farsi with English summary). https://doi.org/10.22092/BCPP.2015.103134

Forouzan, F., Jalali, M. A. & Ziaaddini Dashtekhaki, M. (2020). Functional response of egg parasitoids, *Psix saccharicola* and *Trissolcus agriope* (Hymenoptera: Scelionidae) on cold-stored eggs of *Acrosternum arabicum* (Hemiptera: Pentatomidae). *Biological Control of Pests & Plant 9*(1): 36-45. (In Farsi with English summary) https://doi.org/10.22059/JBIOC.2020.290346.278

Golmohammadi, G. R. (2015). To study the effect of imidacloprid (SC350) on parasitoid wasp *Aphidius colemani* Viereck under laboratory conditions. *Pesticides in Plant Protection Sciences, 2*(1), 44-51. (In Farsi with English summary). https://doi.org/ 10.22092/JPPPS.2015.101312

Jansen, J. P., Defrance, T., & Warnier, A. M. (2011). Side effects of flonicamid and pymetrozine on five aphid natural enemy species. *BioControl*, *56*(5), 759-770. https://doi.org/10.1007/s10526-011-9342-1

Jafari, M., Saber, M., Bagheri, M., & Gharekhani, G. (2014). Effects of Emamectin Benzoate and Methoxyfenozide on Functional Response of *Trichogramma brassicae* (Hym: Trichogrammatidae). *Journal of Applied research in Plant Protection, 2*(2), 59-70. (In Farsi with English summary). https://arpp.tabrizu.ac.ir/article_1452.html?lang=en

Joseph, J. R., Ameline, A. & Couty, A. (2011). Effects on the aphid parasitoid *Aphidius ervi* of an insecticide (Plenum®, Pymetrozine) specific to plant-suking insects. *Phytoparasitica, 39*: 35-41. https://doi.org/ 10.1007/s12600-010-0134-4

Hagvar, E. B., & Hofsvang, T. (1991). Aphid parasitoids (Hymenoptera: Aphidiidae): biology, host selection and use in biological control. *Biocontrol News Information, 12*(1), 13-41. https://doi.org/ https://www.cabi.org/.../19911154713

Harrewijn, P., & Kayser, H. (1997). Pymetrozine, a fast-acting and selective inhibitor of aphid feeding. In-situ studies with electronic monitoring of feeding behavior. *Journal of Pesticide Science, 49*(2), 130-140. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199702)49:2<130::AID-PS509>3.0.CO;2-U

Hassell, M. P. (1982). What is searching efficiency? *Annals Applied Biology, 101*(1), 170-175. https://onlinelibrary.wiley.com/toc/17447348/1982/101/1

Haynes, K. F. (1988). Sublethal effects of neurotoxic substances on behavioral responses of insects. *Annual Review of Entomology, 33*(1), 149-168. https://doi.org/ 10.1146/annurev.en.33.010188.001053

Holling, C. S. (1959). Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist, 91*(7), 385-398. https://doi.org/10.4039/Ent91385-7

Insecticide Resistance Action Committee (2021, December 19). *IRAC Mode of Action (MoA) Classification Scheme*. https://www.irac-online.org/modes-of-action/

Kheradmand, K., Khosravian, M., & Shahrokhi, S. (2012). Side effect of four insecticides on demographic statistics of aphid parasitoid, *Diaeretiella rapae* (M´Intosh) (Hym., Braconidae). *Annals of Biological research, 3*(7), 3340-3345.

Juliano, S. A. (2001). Nonlinear curve fitting: Predation and functional response curves. In S. M. Scheiner, & J. Gurevitch (Eds.). *Design and Analysis of Ecological Experiments* (2nd ed., pp. 178-196). Oxford University Press, New York, USA.

LeOra Software, (1987). *POLO-PC: A users guide to probit or logit analysis. LeOra Software*, Berkeley.

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. https://doi.org/ 10.1007/s12600-015-0502-1

McCaffrey, J. P., & Horsburgh, R. L. (1986). Functional response of *Oius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) to the European red mite, *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae) at different constant temperatures. *Environmental Entomology*, *15*(3), 532-535. https://doi.org/10.1093/ee/15.3.532

Millar. N.S., & Denholm, I. (2007). Nicotinic acetylcholine receptors: targets for commercially important insecticides. *Invertebrate Neuroscience*, *7*(1), 53-66. https://doi.org/ 10.1007/s10158-006-0040-0

Morita, M., Ueda, T., Yoneda, T., Koyanagi, T., & Haga, T. (2007). Flonicamid, a novel insecticide with a rapid inhibitory effect on aphid feeding. *Pest Management Science, 63*(10), 969-973. https://doi.org/10.1002/ps.1423

Mossadegh, M. S., Stary, P., & Salehipour, H. (2011). Aphid parasitoids in a dry lowland area of Khuzestan, Iran (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae). *Asian Journal of Biological Science, 4*(2), 175-181. https://doi.org/10.3923/ajbs.2011.175.181

Noorbakhsh, S. (2021). *List of pests, diseases and weeds important agricultural products; Pesticides and recommended practices to control them* (Revised August 2021). Prognosis Bureau of Plant Protection Organization.

Rakhshani, E., Talebi, A. A., Stary, P., Tomanovic, Z., Manzari, S., & Kavallieratos, N. G. (2008). A review of *Aphidius* Nees (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae) in Iran: host associations, distribution and taxonomic notes. *Zootaxa, 1767*(1), 37-54. https://doi.org/ 10.11646/zootaxa.1767.1.2

Rezaei, N., Kocheyli, F., Mossadegh, M. S., Talebi Jahromi, K., & Kavousi, A. (2014). Effects of sublethal doses of thiamethoxam and pirimicarb on functional response of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae), parasitoid of *Lipaphis erysimi* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Crop protection, 3*(4), 467-477. https://jcp.modares.ac.ir/article-3-4425-en.html

Rezvani. A. (2001). *Identification Key of Iran aphids* (1st ed.). Iran organization of agricultural researches. (In Farsi).

Robertson, J. L., Russell, R. M., Preisler, H. K., & Savin, N. E. (2007). *Bioassays with arthropods* (2nd ed.). Boca Raton, CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420004045

Rogers, D. (1972). Random search and insect population models. *Journal of Animal Ecology*, *41*(2), 369-383. https://doi.org/10.2307/3474

Sabahi, Q., Rasekh, A., & Michaud, J. P. (2011). Toxicity of three insecticides to *Lysiphlebus fabarum*, a parasitoid of the black bean aphid *Ahis fabae*. *Journal of Insect Science, 11*(1), 1-8. https:/doi.org/ 10.1673/031.011.10401

Saber, M., & Abedi, Z. (2013). Effects of methoxyfenozide and pyridalyl on the larval ectoparasitoid *Habrobracon hebetor*. *Journal of pest Science, 86*(4), 685-693. https:/doi.org/10.1007/s10340-013-0528-4

Saber, M. Ghorbani, M., Vaez, N. & Armak, A. (2020). Effects of diazinon and fipronil on functional response of *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in the laboratory conditions. *Journal of Crop Protection9*(2): 275-283. http://jcp.modares.ac.ir/article-3-31383-en.html

SAS Institute. 2003. *The SAS system for Windows, Release 9.0*. SAS Institute, Cary, NC.

Sechser, B., Bourgeois, F., Raber, B., & Wesiak, H. (1994). The integrated control of whiteflies and aphids on tomatoes in glasshouses with pymetrozine. *Medical Faculty Landbouww, University of Gent, 59*(2b), 579-583.

Sohrabi, F., Shishehbor, P., Saber, M., & Mossadegh, M. S. (2012). Effect of sublethal concentration of buprofezin and imidacloprid on functional response of *Encarsia inaron* (Walker) (Hymenoptera: Aphelinidae). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 35*(1), 25-34. (in Farsi with English summary). https://plantprotection.scu.ac.ir/article_10129.html

Sohrabi, F., Shishehbor, P., Saber, M., & Mossadegh, M. S. (2014). Effects of buprofezin and imidacloprid on functional response of *Eretomcerus mundus* Mercet. *Plant Protection Science50*(3): 145-150. https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/123754.pdf

Stark, J. D., & Banks, J. E. (2003). Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology, 48*(1), 505-519. https:/doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112621

Stary, P. (1976a). *Aphid parasites of Central Asian area* (1st ed.). House of Czech.

Stary, P. (1976b). *Aphid parasites of Mediterranean area* (1st ed.). House of Czech.

Tadeo, L. (2008). *Analysis of pesticides in food and environmental samples* (1st ed.). CRC Press.

Taheri, S., & Rakhshani, E. (2013). Identification of aphid parasitoids (Hym., Braconidae, Aphidiinae) and determination of their host relationships in Southern Zagros. *Journal of Plant Protection, 27*(1), 85-95. https://doi.org /10.22067/JPP.V27I1.22166

Tahriri, S., Talebi, A. A., Fathipour, Y., & Zamani, A. A., (2007). Host stage preference, functional response and mutual interference of *Aphidius matricariae* (Hym.: Braconidae:

Aphidiinae) on *Aphis fabae* (Hom.: Aphididae). *Entomological Science, 10*(4), 323-331. https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2007.00234.x

Torres, J. B., Sherley, C., Silva-Torres, A., & de Oliveria, J. V. (2003). Toxicity of pymetrozine and thiamethoxam to *Aphelinus gossypii* and *Delphastus pusillus*. *Pesquisa Aropecuaria Brasíliiera, 38* (4), 459-466. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000400003

Volkl, W., & Stechmann, D. H. (1998). Parasitism of black bean aphid (*Aphis fabae*) by *Lysiphlebus fabarum* (Hymenoptera: Aphidiidae): the influence of host plant and habitat. *Journal of Applied Entomology, 122*(1-5), 201-206. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1998.tb01484.x

© 2022 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)

45(1), Spring, 2022

doi 10.22055/ppr.2022.17400

Sublethal effects of acetamiprid, pymetrozine and flonicamid on the functional response of *Aphidius matricariae* Haliday

N. Aminijam[1*]

1. ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran, (naminijam@jsu.ac.ir)

Received: 10 December 2021 Accepted: 20 February 2022

Abstract

Background and Objectives

It is necessary to investigate side effects of the pesticides on natural enemies of pests for integrated pest management (IPM) programs. Insecticides may impair physiological and behavioral traits of parasitoid wasps. This research was designed to study toxicity of actamiprid, pymetrozine and flonicamid on *Aphidius matricariae* Haliday (Hym.: Braconidae: Aphidiinae), a parasitoid wasp of *Aphis fabae* Scopoli (Hemi.: Aphididae). Furthermore, their sublethal effect were evaluated on the functional response of the parasitoid wasp of under laboratory conditions (25±1 ^{0}C, 65±5% R.H. and 16:8 (L: D) h).

Materials and Methods

A residual bioassay method was used to determine the toxicity of the insecticides on *A. matricariae*. Adult parasitoids were exposed to LC_{25} of the insecticides and distilled water as control on the glass vials and functional response study was done. After 24 h, randomly selected 6 alive mated females were transferred individually to cylindrical containers containing broad bean seedlings infested by densities of 2, 4, 8, 16, 32 and 64 of the third instar *A. fabae* nymphs. Each host density had fifteen replications. Aphids were left on the plants until mummification of the parasitized individuals. Functional response type was determined using logistic regression and its parameters were estimated by non-linear regression using SAS program.

Results and Discussion

The LC_{50} of values of actamiprid, pymetrozine and flonicamid were 3.07, 740.20 and 133.15 mg a.i./l, respectively. The results showed that acetamiprid was more toxic than pymetrozine and flonicamid to adult stage of *A. matricariae*. Functional response of the parasitoid on control and the insecticides treatments fitted the type II. Attack rate (a) in control, actamiprid, pymetrozine and flonicamid treatments were estimated 0.0432 ± 0.01, 0.0237 ± 0.003, 0.0414 ± 0.004 and 0.0398 ± 0.01 h^{-1} and handling time (T_h) were 0.5170 ± 0.06, 1.4257 ± 0.13, 0.6133 ± 0.05 and 0.6816 ± 0.07 h, respectively. The attack rate (a) value of *A. matricariae* exposed to acetamiprid was significantly lower than that of control

and other insecticides treatments. The highest value of handling time(T_h) was observed in acetamipirid. Although, they were not significantly affected by pymetrozine and flonicamid. Maximum rates of parasitism (T/ T_h) in control and mentioned insecticides treatments were estimated 46.42, 16.83, 39.15 and 35.21 aphids, respectively.

Conclusion

According to present results, acetamiprid negatively affected the attack rate (*a*), handling time (T_h) and maximum attack rate (T/T_h) of parasitoid compared to the control, pymetrozine and flonicamid treatments. Pymetrozine and flonicamid had lower side effects on *A. matricariae* in comparison with acetamiprid and they were suitable candidates for controlling of *A. fabae* in combination with *A. matricariae*. Although, studying side-effects of the insecticides on the mentioned parasitoid wasp in semi-field and field conditions are needed to obtain more applicable recommendations.

Keywords: Bioassay, integrated pest management, attack rate, handling time.

Associate editor: H. Mosallanejad (Ph.D.)

Citation: Aminijam, N. (2022). Sublethal effects of acetamiprid, pymetrozine and flonicamid on the functional response of *Aphidius matricariae* Haliday. Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), *45*(1), 97-115. https://doi.org/10.22055/ppr.2022.17400.