

رفتار جستجوگری زنبور *Venturia canescens* Gravenhorst روی بید سیب‌زمینی، Zeller *Phthorimaea operculella*

قدیر نوری قنبلانی^{۱*}، لیلا متقی‌نیا^۲، زهرا عابدی^۳ و علیرضا نوری^۴

۱ و ۲. گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. موسسه آموزش عالی سبلان، اردبیل، ایران

۴. تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹

چکیده

زنبور *Venturia canescens* Gravenhorst یکی از پارازیتوئیدهای مهم بال‌پولکداران آفت است که پراکنش جهانی دارد. برای ارزیابی کارایی دشمنان طبیعی در کنترل بیولوژیک، مطالعه رفتار جستجوگری آن‌ها ضروری است. در بررسی حاضر، ترجیح سنی میزبان (بین لاروهای سنین اول و چهارم)، واکنش تابعی (تراکم‌های ۰.۲، ۰.۴، ۰.۸، ۱.۶، ۲.۴، ۳.۲ و ۶.۴ عددی از لاروهای سن چهارم) و تداخل متقابل زنبور *V. canescens* (تراکم‌های ۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ عددی از زنبورها) روی لاروهای بید سیب‌زمینی، *Phthorimaea operculella* Zeller بررسی شد. در آزمایش ترجیح، لاروهای سن چهارم بید سیب‌زمینی توسط زنبور ترجیح داده شدند. نتایج تجزیه رگرسیون لجستیک نشان داد که واکنش تابعی زنبور *V. canescens* نسبت به لاروهای سن چهارم بید سیب‌زمینی از نوع دوم بود. مقدار پارامترهای قدرت جستجو (a) و زمان دست‌یابی (T_h) این زنبور به ترتیب $1/174$ بر ساعت و $1/347$ ساعت تخمین زده شد. در آزمایش تداخل متقابل، قدرت جستجوگری زنبور بین $0/0810$ تا $0/1111$ بر ساعت متغیر بود که بیش‌ترین مقدار آن در تراکم‌های ۱ و ۲ و کم‌ترین آن در تراکم ۸ زنبور به دست آمد. شیب خط رگرسیون یا ضریب تداخل $0/1356$ - محاسبه شد که نشان دهنده بروز تداخل متقابل بین زنبورها بود. بر اساس نتایج این پژوهش، رفتار جستجوگری زنبور *V. canescens* تحت تاثیر مرحله سنی و تراکم میزبان و نیز تراکم زنبورها قرار داشت. بنابراین، زنبور *V. canescens* پتانسیل خوبی برای استفاده در برنامه‌های مدیریت تلفیقی بید سیب‌زمینی دارد.

واژه‌های کلیدی: زنبور پارازیتوئید، واکنش تابعی، تداخل، ترجیح، بید سیب‌زمینی.

Foraging behavior of *Venturia canescens* Gravenhorst on potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* Zeller

Short title: Behavioral characteristics of *V. canescens*

Gadir Nouri Ganbalani^{1*}, Leila Mottaghinia², Zahra Abedi³, and Alireza Nouri⁴

1, 2 and 3. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

4. Institute of Higher Education of Sabalan, Ardabil, Iran

(Received: August 4, 2021 - Accepted: December 20, 2021)

Abstract

Venturia canescens Gravenhorst is one of the important parasitoids of lepidopterous pests with worldwide distribution. For assessing the efficiency of natural enemies in biological control, it is necessary to study their foraging behavior. In this study, host stage preference (between 1st and 4th instar larvae), functional response (densities of 2, 4, 8, 16, 24, 32, and 64 of 4th instar larvae), and mutual interference of *V. canescens* (densities of 1, 2, 4, 6, and 8 of wasps) were studied on potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* Zeller, larvae. In the preference experiment, the 4th instar larvae of potato tuber moth were preferred by the wasp. The logistic regression analyses revealed that the functional response of *V. canescens* to the 4th instar larvae of potato tuber moth was type II. Searching efficiency (a) and handling time (T_h) of the wasp were estimated 1.174 h^{-1} and 1.1347 h , respectively. In the mutual interference experiment, the per capita searching efficiency of the wasp ranged from 0.0810 to 0.1111 h^{-1} , with the highest value at the density of 1 and 2 and the lowest value at the density of 8 wasps. The slope of regression line or interference coefficient was estimated to be -0.1356 , indicating the mutual interference among the wasps. Based on the results, the foraging behavior of *V. canescens* was affected by the developmental stage and density of the host, as well as the density of the wasps. So, *V. canescens* has a good potential for IPM programs of potato tuber moth.

Keywords: Parasitoid wasp, functional response, interference, preference, potato tuber moth.

* Corresponding author E-mail: gnouri@uma.ac.ir

مقدمه

بید سیب‌زمینی، *Phthorimaea operculella* Zeller (Lep., Gelechiidae)، یکی از آفات مهم گیاهان تیره Solanaceae به‌ویژه سیب‌زمینی، فلفل، بادمجان، گوجه‌فرنگی، تاجریزی، تاتوره و توتون می‌باشد (Rondon, 2010; Navrozidis and Andreadis, 2012). منشأ این آفت آمریکای جنوبی است که در نیم قرن اخیر به اغلب مناطق گرمسیری، نیمه گرمسیری و معتدله منتشر شده است (Rondon, 2010; Saour et al., 2012). خسارت این آفت توسط لاروها و با تشکیل دالان‌های تغذیه‌ای در برگ، دمبرگ و ساقه سیب‌زمینی در مزارع ایجاد می‌شود. هم‌چنین، تغذیه لاروها از غده‌های سیب‌زمینی به ویژه در انبارها زمینه را برای آلودگی غده‌ها به عوامل بیماری‌زای قارچی و باکتریایی و تخریب آن‌ها فراهم می‌کند (Rondon et al., 2009; Capinera, 2001; Rondon, 2010). این آفت به طور معمول در انبارهای غیر صنعتی و نیز مناطق برخوردار از زمستان‌های ملایم اغلب بدون دیابوز به فعالیت ادامه می‌دهد (Doğramaci et al., 2008; Rondon, 2010). خسارت بید سیب‌زمینی به اندام‌های هوایی و غده‌ها می‌تواند عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی را به طور قابل ملاحظه-ای پایین آورده و زیان اقتصادی غیرقابل جبرانی را به کشاورزان تحمیل نماید (Capinera, 2001; Rondon, 2017; Abdallah, 2010). بید سیب‌زمینی دارای چهار سن لاروی است. لاروهای سن اول پس از تفریح تخم، جهت تغذیه وارد بافت برگ یا غده می‌شوند و با افزایش سن لاروی به گسترش بیش‌تر دالان‌های تغذیه‌ای خود ادامه می‌دهند. لاروهای سن چهارم آفت بسیار فعال بوده و بستر تغذیه‌ای خود را برای پیدا کردن محل مناسب برای تشکیل شفیره ترک می‌کنند (Chandel et al., 2005). انتشار گسترده و خسارت زیاد بید سیب‌زمینی در مزارع و انبارهای سیب‌زمینی، مبارزه با این آفت مهم را الزامی می‌کند. به طور معمول، استفاده از سموم شیمیایی روشی موثر برای کاهش و کنترل سریع جمعیت این آفت می‌باشد، ولی کاربرد مکرر و بی‌رویه سمومی که در اغلب موارد غیرانتخابی هستند، موجب تاثیر سوء بر زیست بوم-

های کشاورزی، بروز مقاومت آفت به حشره‌کش‌ها، ایجاد تاثیر منفی روی دشمنان طبیعی و تشدید مساله باقیمانده سموم روی محصول می‌شود (Chandel et al., 2005; Doğramaci and Tingey, 2008; Rondon, 2010). بنابراین، لازم است تدابیر مدیریتی موثری برای کاهش مصرف سموم شیمیایی و یافتن راهکارهای کنترل جایگزین، علیه این آفت مهم به کار گرفته شود (Chandel et al., 2005). یکی از روش‌های مدیریت حشرات آفت، استفاده از روش کنترل بیولوژیک با به کارگیری دشمنان طبیعی (پارازیتوئیدها یا شکارگرها) می‌باشد. از بین دشمنان طبیعی موثر بید سیب‌زمینی می‌توان به حداقل ۸۳ گونه زنبور پارازیتوئید متعلق به ۱۰ خانواده از راسته بال‌غشائیان اشاره کرد که به صورت طبیعی و یا از طریق واردسازی و رهاسازی در تنظیم جمعیت این آفت موثر هستند (Domínguez-Jiménez et al., 2000). از جمله این زنبورهای پارازیتوئید می‌توان به گونه‌های *Trichogramma brassicae* Bezdenco، *Orgilus Apanteles subandinus* Blanchard، *Pristomerus spinator* Lepidus Muesbeck، *Venturia* و *Copidosoma* spp. Fabricius (Domínguez-Jiménez et al., 2000; Salehi, 2003; Hagstrum et al., 2013; Khorrami et al., 2018) زنبور *canescens* گونه‌ای با دامنه میزبانی وسیع بوده و جزو پارازیتوئیدهای موفق روی لاروهای انواع بال‌پولکداران از جمله مرحله لاروی بید سیب‌زمینی می‌باشد (Reineke et al., 2006; Hagstrum et al., 2013). این زنبور به خانواده Ichneumonidae تعلق داشته و یک پارازیتوئید داخلی انفرادی با رفتار کوبینوبایانت^۱ می‌باشد؛ بدین معنی که زنبور ماده فقط یک عدد تخم در داخل بدن لارو میزبان می‌گذارد و میزبان پس از پارازیت شدن، به رشد و تغذیه خود ادامه می‌دهد. زنبور *V. canescens* قادر است به هر یک از دو روش دوجنسی و تک‌جنسی تولیدمثل نماید، ولی در اکثر مواقع به روش تک‌جنسی (بکرزایی

میزبان بیانگر انتخاب مناسب‌ترین مرحله سنی میزبان توسط پارازیتوئید است. زمانی که یک گونه واحد میزبان در اختیار پارازیتوئید قرار می‌گیرد واکنش رفتاری پارازیتوئید به شدت تحت تاثیر حضور سنین مختلف آن میزبان قرار می‌گیرد. انتخاب میزبان مناسب با تاثیر بر سازگاری پارازیتوئید می‌تواند نقش مهمی در پویایی جمعیت میزبان-پارازیتوئید داشته باشد (Sequeira, 1991). واکنش تابعی ارتباط بین تراکم‌های مختلف میزبان در میزان پارازیتیسیم توسط پارازیتوئید را نشان می‌دهد (Solomon, 1949). طبق نظر هولینگ (Holling, 1961) رابطه بین تراکم میزبان و تعداد میزبان‌های پارازیته شده به سه گروه رابطه خطی (واکنش تابعی نوع اول)، منحنی کاهشی (واکنش تابعی نوع دوم) و رابطه سیگموئیدی (واکنش تابعی نوع سوم) تقسیم می‌شود. پارامترهای قدرت جستجو (a) و زمان دست‌یابی (T_h) دو پارامتر کلیدی واکنش تابعی می‌باشند (Holling, 1959). تاثیر تراکم‌های مختلف پارازیتوئید روی قدرت جستجوگری آن در یافتن میزبان تحت عنوان تداخل متقابل شناخته می‌شود. زمانی که تراکم پارازیتوئیدهایی که در جستجوی میزبان هستند افزایش می‌یابد، هر فرد پارازیتوئید درصد قابل توجهی از زمان جستجوی خود را در برخورد با افراد هم‌گونه دیگر خود تلف می‌کند. حتی ممکن است یک یا هر دو پارازیتوئید پس از مواجهه با یکدیگر، جستجوی خود را متوقف کرده و مکان مورد نظر را ترک نمایند (Hassell and Varley, 1969). این موضوع به ویژه در تولید انبوه و رهاسازی پارازیتوئیدها با تراکم بالا در واحد سطح بسیارحائز اهمیت است (Fathipour et al., 2004).

پژوهش‌های مختلفی در زمینه مطالعه ویژگی‌های زیستی و رفتاری زنبور *V. canescens* روی برخی لاروهای بال‌پولکداران در مزارع و انبارها صورت گرفته است (Eliopoulos, 2006; Panagiotis and Eliopoulos, 2007; Keishani Farahani et al., 2012; Abedi et al., 2020) ولی تاکنون درباره کارایی آن روی بید سیب‌زمینی مطالعه‌ای انجام نشده است. بنابراین، در پژوهش حاضر ویژگی‌های جستجوگری زنبور *V. canescens* (ترجیح سنی

ماده‌زایی^۲) ازدیاد پیدا می‌کند. در این صورت، تمامی نتایج تولید شده ماده خواهند بود (Eliopoulos and Stathus, 2003). این زنبور به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی مانند طول دوره رشدی نسبتاً کوتاه، تولید جنس ماده و عدم نیاز به جنس نر، نرخ پارازیتیسیم بالا و زنده‌مانی بلند مدت می‌تواند گزینه مطلوبی در برنامه‌های پرورش و رهاسازی انبوه دشمنان طبیعی باشد (Keishani Farahani et al., 2012). فعالیت این زنبور نه تنها در مزارع، بلکه در انبارهای مواد غذایی روی آفات انباری نیز گزارش شده است. در نمونه‌برداری‌های انجام شده از انبارهای مواد غذایی شهرستان مشهد (Akbari Asl et al., 2007) و استان گلستان (Eyidozhehi et al., 2013)، زنبور *V. canescens* همراه با سایر زنبورهای پارازیتوئید از روی آفات انباری مختلف جمع‌آوری شده است. پژوهش‌های مختلف حاکی از آن است که زنبورهای پارازیتوئید اغلب نقش موثری در کاهش جمعیت آفات انباری دارند. به عنوان مثال، زنبور *V. canescens* در کنترل جمعیت شب‌پره برنج، *Corcyra cephalonica* Stainton، در برنج انبار شده (Adarkwah et al., 2014) و زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* Say در انبار یک کارخانه شکلات که میوه‌های خشک و فرآورده‌های شکلات ذخیره‌سازی شده بود، در کاهش جمعیت شب‌پره هندی، *Plodia interpunctella* Hubner موثر بودند (Trematerra et al., 2016). طبق گزارش (Adarkwah et al., 2014)، زنبور *V. canescens* وارد گونی‌های انبار شده نمی‌شود، بلکه قادر است محل و وجود لارو میزبان را در خارج از گونی شناسایی کرده و با فرو بردن تخم‌ریز خود داخل گونی، لارو میزبان را پارازیته کند.

برای کاربرد موثر دشمنان طبیعی در کنترل بیولوژیک، آگاهی کافی از کارایی آن‌ها ضروری است. ترجیح سنی میزبان، واکنش تابعی و تداخل پارازیتوئید از مهم‌ترین ویژگی‌های رفتاری برای تعیین کارایی جستجوگری پارازیتوئیدها در کنترل بیولوژیک می‌باشند (Tazerouni et al., 2011). ترجیح سنی

جمعیت اولیه زنبور، *Venturia canescens*، از یک کلنی آزمایشگاهی موجود در گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شد. زنبورها درون ظروف پلاستیکی شفاف به ابعاد 70×160 میلی‌متر پرورش داده شدند. برای ایجاد تهویه و جلوگیری از افزایش رطوبت، قسمت دهانه آن با توری پوشانده شد. از پنبه آغشته به محلول آب عسل ۱۰ درصد برای تغذیه زنبورها استفاده گردید. به داخل هر ظرف تعدادی لارو سن چهارم بید سیب‌زمینی با قلم مو منتقل و تعداد ۱۰ عدد زنبور درون آن رهاسازی شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، زنبورها با استفاده از آسپیراتور دستی جمع‌آوری و به ظروف پرورش جدید منتقل شدند. ظروف حاوی لاروهای پارازیت شده همراه با غده سیب‌زمینی برای تغذیه آن‌ها تا زمان ظهور حشرات کامل زنبور در اتاقک رشد نگهداری شدند. پرورش حشرات در اتاقک رشد در دمای 27 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام گرفت (Golizadeh et al., 2014; Abedi et al., 2020).

روش انجام آزمایش‌ها

هر واحد آزمایشی شامل ظروف پلاستیکی شفاف به ابعاد 70×160 میلی‌متر بود که برای تهویه بهتر این ظروف از درب توری استفاده شد. برای تهیه و استفاده از لاروهای هم سن (لاروهای سنین اول و چهارم) بید سیب‌زمینی در آزمایش‌های مختلف، از تخم‌های یک روزه این آفت استفاده گردید؛ بدین ترتیب که، لاروهای سن اول بلافاصله پس از تفریح تخم‌ها در آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. هم‌چنین، تعدادی از لاروهای سن اول روی غده‌های سیب‌زمینی منتقل شدند تا برای تغذیه وارد غده‌ها شوند. به محض خروج لاروهای سن چهارم از غده‌ها جهت تبدیل شدن به شفیره، این لاروها در آزمایش‌های مختلف استفاده شدند. برای اطمینان از ورود لاروهای بید سیب‌زمینی به سن چهارم لاروی، از اندازه عرض کیپسول سر که بین $1/07$ تا $1/16$ میلی‌متر است استفاده شد

میزبان، واکنش تابعی و تداخل متقابل) روی بید سیب زمینی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، از لاروهای سنین اول و چهارم بید سیب‌زمینی که امکان دسترسی زنبور به آن‌ها در بیرون از غده به طور طبیعی فراهم است استفاده گردید. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در امکان استفاده از زنبور *V. canescens* در برنامه‌های مدیریت تلفیقی بید سیب-زمینی به ویژه در انبارها مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

پرورش حشرات

جمعیت اولیه بید سیب‌زمینی، *Phthorimaea operculella* r به صورت تخم از یک کلنی آزمایشگاهی موجود در گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شد. صفحه کاغذی حاوی تخم‌های بید سیب‌زمینی روی غده‌های سالم و با اندازه متوسط (قطر بین ۴۰ تا ۶۰ میلی‌متر) سیب‌زمینی (رقم آگریا) داخل ظروف پلاستیکی مستطیلی شکل (به ابعاد $80 \times 180 \times 260$ میلی‌متر) قرار داده شد تا لاروهای سن اول بلافاصله پس از خروج از تخم، وارد غده‌ها شوند. به منظور ایجاد تهویه مناسب، روی درب هر ظرف سوراخی به ابعاد 150×220 میلی‌متر ایجاد و با توری ظریف پوشانده شد. هم‌چنین، برای تامین بستر مناسب برای تشکیل شفیره یک لایه نازک از خاک سترون شده داخل هر ظرف ریخته شد. طی پرورش، غده‌های سیب‌زمینی در صورت مصرف شدن و یا از بین رفتن توسط لاروهای آفت با غده‌های تازه و سالم جایگزین - شدند. حشرات کامل پس از ظهور به ظروف تخم‌گیری منتقل شدند. ظروف تخم‌گیری، ظروف پلاستیکی استوانه‌ای به قطر دهانه ۱۴۰ و ارتفاع ۱۸۰ میلی‌متر بود که قسمت دهانه آن با توری پوشانده شد. روی توری مذکور، صفحه کاغذی به همان قطر ظرف جهت تخم‌گذاری و نیز برش‌های نازکی از غده سیب‌زمینی روی این صفحه به منظور تحریک تخم‌گذاری شب‌پره‌های ماده قرار داده می‌شد. شب‌پره‌های کلنی با پنبه آغشته به محلول آب عسل ۱۰ درصد تغذیه شدند.

لاروهای سن چهارم بید سیبزمینی با استفاده از قلم مو به داخل ظروف آزمایشی منتقل شدند. هر تراکم لارو بید سیبزمینی دارای ۱۰ تکرار بود. سپس، یک عدد حشره کامل یک روزه زنبور به داخل هر ظرف رهاسازی گردید. این ظروف به اتافک رشد با شرایط ذکر شده در بالا منتقل شدند. برای تغذیه زنبورها از محلول آب عسل ۱۰ درصد استفاده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، زنبورها با کمک آسپیراتور دستی از داخل ظروف حذف و لاروها در اتافک رشد نگهداری شدند. لاروهای بید سیبزمینی تا زمان تشکیل شفیره‌های هر دو حشره با غده سیبزمینی تغذیه شدند. تعداد میزبان‌های پارازیت شده با شمارش تعداد شفیره‌های زنبور تعیین و ثبت گردید.

ج- تداخل متقابل

برای بررسی تاثیر تراکم‌های مختلف زنبور *V. canescens* روی قدرت جستجوی آن‌ها، تعداد ۱۰۰ عدد از لاروهای سن چهارم بید سیبزمینی به صورت تصادفی انتخاب و توسط قلم مو به داخل ظروف آزمایشی منتقل شدند. سپس، تراکم‌های ۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ عددی از حشرات کامل یک روزه زنبور به داخل هر واحد آزمایشی رهاسازی گردید و ظروف به اتافک رشد منتقل شدند. آزمایش برای هر تراکم زنبور به طور جداگانه در ۱۰ تکرار انجام گرفت. پس از گذشت ۲۴ ساعت، زنبورها با کمک آسپیراتور دستی از داخل ظروف حذف شدند. ظروف حاوی لاروهای بید سیب-زمینی تا پایان آزمایش در اتافک رشد نگهداری شدند. در این مدت برای تغذیه لاروها از غده‌های سیبزمینی استفاده شد. با شمارش تعداد شفیره‌های زنبور، تعداد لاروهای پارازیت شده بید سیبزمینی تعیین و ثبت گردید.

تجزیه داده‌ها

در آزمایش بررسی ترجیح سنی میزبان توسط زنبور *V. canescens*، با توجه به عدم پارازیتسم لاروهای سن اول بید سیبزمینی، داده‌های به دست آمده از این آزمایش مورد مقایسه آماری قرار نگرفتند.

(Chandel *et al.*, 2005). در این حالت برای رویت بهتر و جمع‌آوری آسان لاروهای سن چهارم، از بستر خاک درون ظروف استفاده نشد. همچنین در بررسی حاضر، برای به دست آوردن زنبورهای یک روزه، از لاروهای سن چهارم بید سیبزمینی که به طور همزمان توسط زنبورها پارازیت شده بودند استفاده گردید. زنبورهای ظاهر شده تا ۲۴ ساعت پس از ظهور در آزمایش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. آزمایش‌ها در اتافک رشد تنظیم شده در دمای $2 \pm$ ۲۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 60 درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام گرفت. کارآیی جستجوگری زنبور *V. canescens* با آزمایش‌های زیر تعیین گردید:

الف- ترجیح سنی میزبان

برای بررسی ترجیح مرحله سنی بید سیبزمینی توسط زنبور *V. canescens*، از لاروهای سنین اول و چهارم بید سیبزمینی استفاده شد. تعداد ۳۰ عدد از هر یک از سنین لاروی مذکور با استفاده از قلم مو به درون ظروف آزمایشی منتقل شدند. این لاروها در اتافک رشد به طور جداگانه به مدت ۲۴ ساعت در اختیار یک عدد حشره کامل یک روزه زنبور قرار گرفتند. برای تغذیه زنبورها از محلول آب عسل ۱۰ درصد استفاده شد. آزمایش در ۱۰ تکرار برای هر مرحله سنی انجام گرفت. پس از گذشت ۲۴ ساعت، زنبورها با کمک آسپیراتور دستی از داخل هر ظرف حذف و لاروها در اتافک رشد نگهداری شدند. این لاروها با غده‌های سیبزمینی تغذیه شدند. پس از تشکیل شفیره‌های زنبور در بیرون از بدن میزبان، با شمارش آن‌ها تعداد لاروهای پارازیت شده تعیین و ثبت گردید. لازم به ذکر است که تشکیل شفیره‌های بید سیبزمینی نیز حاکی از عدم پارازیتسم لاروهای مربوطه بود.

ب- واکنش تابعی

برای بررسی واکنش تابعی زنبور *V. canescens* تراکم‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ عددی از

در این معادله، N_a تعداد لاروهای بید سیب‌زمینی پارازیت شده، N_0 تعداد اولیه لاروهای بید سیب‌زمینی، T کل زمان آزمایش، a قدرت جستجو، P_t تعداد پارازیتوئیدها و T_h زمان دست‌یابی است. رسم منحنی-های واکنش تابعی با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد. برای تعیین تداخل متقابل زنبور *V. canescens* از معادله نیکولسون (Nicholson, 1933) به شرح زیر استفاده شد:

$$a = \frac{1}{P} \left(\frac{N_t}{N_t - N_a} \right)$$

در این معادله N_t تراکم اولیه لاروهای بید سیب-زمینی، N_a تعداد لاروهای بید سیب‌زمینی پارازیت شده، a قدرت جستجو و P تعداد زنبورهای *V. canescens* است. پس از محاسبه قدرت جستجو، لگاریتم a و P محاسبه شد. سپس، بین لگاریتم تعداد زنبور (متغیر مستقل) و لگاریتم قدرت جستجو (متغیر وابسته) رگرسیون گرفته شد. میزان همبستگی و شیب خط رگرسیون نیز تعیین گردید. معادله خط رگرسیون به شرح زیر می‌باشد:

$$\log a = \log Q - m \log P$$

در این معادله، m شیب خط رگرسیون یا ضریب تداخل و Q ثابت جستجو که نشان دهنده عرض از مبدا خط رگرسیون می‌باشد. در صورت معنی‌دار بودن رابطه بین تراکم زنبور و قدرت جستجوی آن، علامت منفی شیب خط رگرسیون نشان دهنده کاهش قدرت جستجوی زنبور *V. canescens* با افزایش تراکم آن می‌باشد. برای تجزیه داده‌های مربوط به شمار سرانه پارازیت‌تیس زنبور *V. canescens* و قدرت جستجوی آن از روش تجزیه واریانس یک طرفه در نرم افزار (SPSS, 2007) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. رسم نمودار مربوطه با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج

ترجیح سنی میزبان

در مدت ۲۴ ساعت مواجه زنبور *V. canescens* با

تجزیه داده‌های واکنش تابعی در دو مرحله و با استفاده از نرم‌افزار (SAS Institute, 2002) انجام گرفت (Juliano, 2001). در مرحله اول برای تعیین نوع واکنش تابعی زنبور *V. canescens*، ابتدا رگرسیون لجستیک نسبت لاروهای پارازیت شده (N_a) به تراکم اولیه (N_0) لاروهای بید سیب‌زمینی مطابق معادله زیر برآورد شد (Trexler and Travis, 1993). این رگرسیون، داده‌ها را با یک مدل لجستیکی چند جمله‌ای برازش کرده و در نتیجه یک منحنی چند درجه‌ای به دست می‌آید:

$$\frac{N_a}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}$$

در این رابطه، P_0 (عرض از مبدا)، P_1 (خطی)، P_2 (درجه دو) و P_3 (درجه سه) پارامترهایی هستند که توسط مدل تخمین زده می‌شوند. این رگرسیون میزان شیب و منفی یا مثبت بودن سه قسمت مذکور را نشان می‌دهد. با توجه به این که در واکنش تابعی نوع دوم با افزایش تراکم لاروهای میزبان از نسبت لاروهای پارازیت شده کاسته می‌شود (وابسته به تراکم معکوس میزبان)، لذا عدد برآورد شده برای بخش خطی منفی می‌باشد که نشانگر شیب منفی منحنی خواهد بود. در واکنش تابعی نوع سوم، با افزایش تراکم میزبان، ابتدا نسبت لاروهای پارازیت شده افزایش یافته (وابسته به تراکم میزبان) و سپس از میزان آن کاسته می‌شود و به همین دلیل قسمت خطی دارای شیب مثبت بوده و عدد برآورد شده برای آن نیز مثبت است. بنابراین، علامت منفی و مثبت قسمت خطی منحنی واکنش تابعی به ترتیب بیانگر واکنش تابعی نوع دوم و سوم می‌باشد (Trexler et al., 1988; Juliano, 2001).

در مرحله دوم پس از تعیین نوع واکنش تابعی، پارامترهای قدرت جستجو (a) و زمان دست‌یابی (T_h) با استفاده از رگرسیون غیرخطی محاسبه شد (Juliano, 2001). برای تخمین این پارامترها از مدل راجرز (Rogers, 1972) به شرح زیر استفاده شد:

$$N_a = N_0 \left[1 + \exp \left(- \frac{a T P_t}{1 + a T_h N_0} \right) \right]$$

خطی رگرسیون منفی بود (جدول ۱). علامت منفی بخش خطی بیانگر آن است که زنبور *V. canescens* واکنش تابعی نوع دوم را نسبت به تغییرات تراکم لاروهای سن چهارم بید سیبزمینی داشته است. بر این اساس، با افزایش تراکم این لاروها، تعداد لاروهای پارازیت شده توسط زنبور به صورت غیر خطی افزایش پیدا کرد (شکل ۱).

لاروهای سنین اول و چهارم بید سیبزمینی، به طور متوسط $0.53 \pm 12/90$ عدد (به طور متوسط ۴۳ درصد) از لاروهای سن چهارم بید سیبزمینی پارازیت شدند، ولی هیچ کدام از لاروهای سن اول آفت توسط این زنبور پارازیت نشدند.

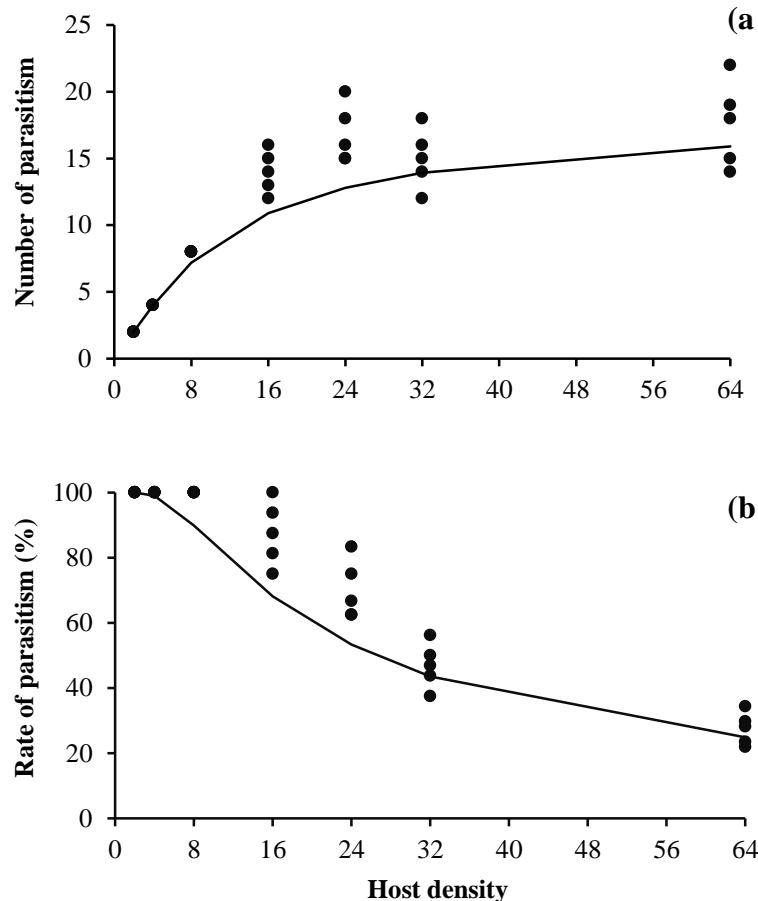
واکنش تابعی

مطابق نتایج تجزیه رگرسیون لجستیک، علامت بخش

جدول ۱. تجزیه رگرسیون لجستیک نسبت لاروهای بید سیبزمینی پارازیت شده توسط زنبور *Venturia canescens*.

Table 1. Logistic regression analyses of the proportion of the potato tuber moth larvae parasitized by *Venturia canescens*.

Parameters	Estimate	SE	χ^2	P-value
Constant (P_0)	6.9492	1.5696	19.60	<0.0001
Linear (P_1)	-0.4048	0.1622	6.23	0.0126
Quadratic (P_2)	0.00705	0.00507	1.93	0.1645
Cubic (P_3)	-0.00004	0.000046	0.85	0.3565



شکل ۱. منحنی‌های تعداد (a) و درصد (b) پارازیتسم زنبور *Venturia canescens* در تراکم‌های مختلف لارو بید سیبزمینی. نقاط و خطوط به ترتیب بیانگر تعداد (a) و درصد (b) میزبان‌های پارازیت شده و تخمین زده شده با مدل راجرز می‌باشند.

Figure 1. Number (a) and percentage (b) of parasitism of *Venturia canescens* to different densities of the potato tuber moth larvae. The data points and solid lines represent the number (a) and percentage (b) of the the host parasitized and predicted by the Rogers model, respectively.

بید سیبزمینی، درصد لاروهای پارازیت شده کاهش

به بیان دیگر، متناسب با افزایش تراکم لاروهای

یافته است که نشان می‌دهد زنبور *V. canescens* به صورت وابسته به تراکم معکوس عمل کرده است. در بررسی حاضر، مقدار پارامترهای قدرت جستجو (a) و زمان دستیابی (T_h) زنبور *V. canescens* به ترتیب

۱/۱۷۴ بر ساعت و ۱/۳۴۷ ساعت تخمین زده شد (جدول ۲). حداکثر نرخ پارازیتسیم نیز برای زنبور *V. canescens* برابر با ۱۷/۸۲ عدد لارو برآورد گردید (جدول ۲).

دول ۲. نوع واکنش تابعی، قدرت جستجو (a)، زمان دستیابی (T_h) و حداکثر نرخ پارازیتسیم (T/T_h) زنبور *Venturia canescens* نسبت به لاروهای بید سیب‌زمینی.

Table 2. Type of functional response, searching efficiency (a), handling time (T_h), and maximum rate of parasitism (T/T_h) of *Venturia canescens* to the potato tuber moth larvae.

Type of functional response	a		T_h		T/T_h
	Mean \pm SE	95% CI*	Mean \pm SE	95% CI	
II	1.174 \pm 3.783	7.686--7.7E3	1.347 \pm 0.293	0.717-1.909	17.82

*Confidence Interval

(جدول ۳). معادله خط رگرسیون بین لگاریتم جستجو و لگاریتم تراکم زنبور *V. canescens* به صورت زیر به دست آمد:

$$\log a = -0.94 - 0.1356 \log P$$

میزان همبستگی بین این دو متغیر $R^2 = 0.7972$ = تعیین شد. در این معادله، شیب خط رگرسیون که معادل ضریب تداخل (m) است -0.1356 تعیین شد. منفی بودن شیب خط رگرسیون بیانگر وجود تداخل متقابل بین زنبورهای *V. canescens* بود. خط رگرسیون بررسی تداخل متقابل زنبور *V. canescens* روی لاروهای بید سیب‌زمینی در شکل ۲ نشان داده شده است.

تداخل متقابل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، افزایش تراکم زنبور *V. canescens* تفاوت معنی‌داری در تعداد لاروهای پارازیت شده بید سیب‌زمینی ایجاد کرد (جدول ۳). تعداد سرانه پارازیتسیم از ۱۰/۵۰ تا ۴۷/۵۰ عدد لارو در نوسان بود که بیش‌ترین تعداد سرانه پارازیتسیم در تراکم‌های ۶ و ۸ عدد زنبور به دست آمد (جدول ۳). هم‌چنین، تفاوت معنی‌داری در قدرت جستجوی زنبور *V. canescens* با افزایش تراکم آن مشاهده شد (جدول ۳). زمانی که یک عدد زنبور در هر واحد آزمایشی رهاسازی گردید قدرت جستجوی آن ۰/۱۱۱۱ بر ساعت محاسبه شد، اما با رهاسازی تعداد ۸ عدد زنبور در هر ظرف آزمایشی، قدرت جستجو به ازای هر زنبور به ۰/۰۸۱۰ بر ساعت کاهش یافت

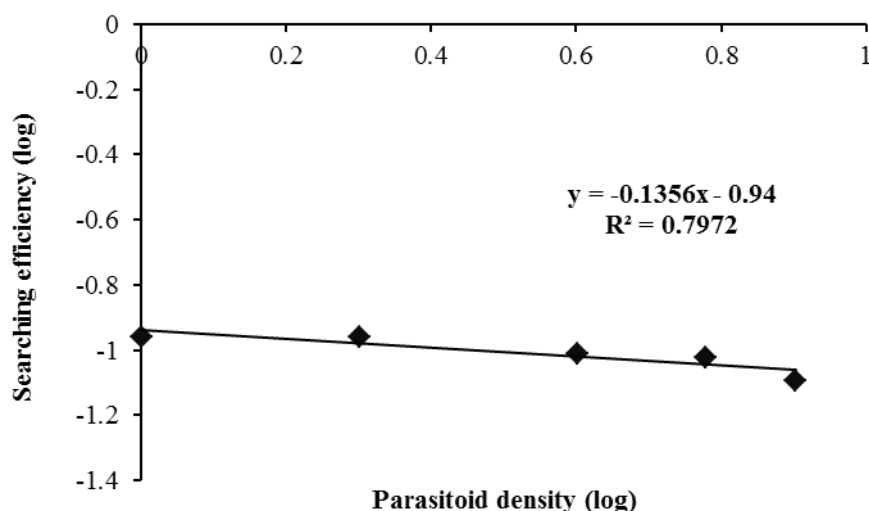
جدول ۳. میانگین (\pm خطای استاندارد) تعداد سرانه پارازیتسیم زنبور *Venturia canescens* و قدرت جستجوی آن روی لاروهای بید سیب‌زمینی.

Table 3. Mean (\pm SE) number of *per capita* parasitism of *Venturia canescens* and its *per capita* searching efficiency on potato tuber moth larvae.

P (Parasitoid density)	N_a (<i>Per capita</i> parasitism)	a (<i>Per capita</i> searching efficiency)
1	10.50 \pm 0.54 ^d	0.1111 \pm 0.006 ^a
2	19.80 \pm 0.76 ^c	0.1105 \pm 0.005 ^a
4	32.40 \pm 1.33 ^b	0.0983 \pm 0.005 ^{ab}
6	43.50 \pm 1.08 ^a	0.0954 \pm 0.003 ^{ab}
8	47.50 \pm 1.50 ^a	0.0810 \pm 0.004 ^b
F	201.98	7.244
df	4,49	4,49
P	<0.0001	<0.0001

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد دارند (آزمون توکی).

Means followed by different letters in each column are significantly different (Tukey test, $P < 0.05$).



شکل ۲. خط رگرسیون در آزمایش تداخل متقابل زنبور *Venturia canescens* روی لاروهای بید سیب‌زمینی.

Figure 2. Regression line in mutual interference test of *Venturia canescens* on potato tuber moth larvae.

بزرگ‌تر روی نمی‌دهد (Harvey et al., 1994). ترجیح زنبور *V. canescens* به لاروهای سنین آخر بال-پولکداران که در جستجوی مکانی برای تبدیل شدن به شفیره هستند یک پدیده شایع می‌باشد (Harvey et al., 1994; Sait et al., 1995). در تحقیقی Keishani Farahani et al. (2012) با بررسی ترجیح زنبور *V. canescens* به لاروهای سنین مختلف کرم گلوگاه انار، *Ectomyelois ceratoniae* Zell. گزارش کردند که این زنبور هر چند لاروهای سنین سوم و چهارم کرم گلوگاه انار را پارازیته نمود، ولی لاروهای سن پنجم این آفت، میزبان مرجح‌تری برای این زنبور بودند. در بررسی ایشان، پرورش زنبور *V. canescens* روی لاروهای سنین سوم و چهارم کرم گلوگاه انار موجب طولانی شدن دوره رشدی مراحل نابالغ زنبور و کاهش میزان پارازیتیسیم آن شد. اندازه جثه میزبان شاخص مهمی برای تولیدمثل زنبورهای *V. canescens* می‌باشد. به طوری که، زنبورهای بزرگ‌تر روی میزبان‌های بزرگ‌تر به وجود می‌آیند (Eliopoulos and Stathas, 2005) و این زنبورها طول عمر و ذخیره تخم بیش‌تری نسبت به زنبورهای رشد کرده روی میزبان‌های کوچک‌تر دارند (Harvey et al., 1994). به احتمال زیاد، میزبان‌های بزرگ‌تر دارای کیفیت و منابع غذایی بیش‌تر برای زنبور پارازیتوئید

بحث

نتایج به دست آمده از بررسی ترجیح زنبور *V. canescens* نشان داد که این زنبور برای تخم‌گذاری، لاروهای سن چهارم بید سیب‌زمینی را در مقایسه با لاروهای سن اول ترجیح می‌دهد. عدم پارازیتیسیم لاروهای سن اول بید سیب‌زمینی در بررسی حاضر ممکن است با اندازه جثه این لاروها که دارای طول بدن بین ۰/۶۲ تا ۰/۷۴ میلی‌متر هستند مرتبط باشد (Chandel et al., 2005). جثه این لاروها در مقایسه با جثه لاروهای سن چهارم (با طول بدن بین ۹/۸ تا ۱۱/۳ میلی‌متر) بسیار کوچک بوده و به احتمال زیاد بستر مناسبی برای رشد پارازیتوئید نمی‌باشند (Chandel et al., 2005). از طرفی، در بررسی انجام شده توسط Harvey et al. (1994)، تخم‌گذاری زنبور *V. canescens* در لاروهای سن دوم شب‌پره هندی موجب مرگ و میر نزدیک به ۵۰ درصدی این لاروها گردید. چنین اتفاقی در برخی لاروهای بررسی حاضر نیز قابل مشاهده بود (مشاهدات شخصی). دلیل این امر می‌تواند نقص عضو میزبان به دلیل فرو رفتن و خارج شدن تخم‌ریز زنبور به هنگام پارازیته کردن باشد که در این صورت اغلب میزبان‌ها چسبیده به تخم‌ریز زنبور باقی می‌مانند، ولی چنین حالتی موقع پارازیته کردن لاروهای سنین بالاتر به دلیل جثه بدنی

واکنش تابعی نوع دوم داشت. هم‌چنین در بررسی دیگری، واکنش تابعی زنبور *V. canescens* نسبت به تغییرات تراکم لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *Anagasta kuehniella* Zeller، از نوع دوم به دست آمد (Huffaker and Matsumoto, 1982). در مطالعات آزمایشگاهی دیگر نیز، واکنش تابعی نوع دوم برای بیش‌تر پارازیتوئیدها گزارش شده است (Kafle *et al.*, 2005; Tazerouni *et al.*, 2011; Sule *et al.*, 2017; Mottaghinia *et al.*, 2014). نوع واکنش تابعی دشمنان طبیعی (پارازیتوئید/شکارگر) با عوامل مختلفی مانند گیاه میزبان، دما، رطوبت، نوع میزبان/طعمه، مرحله رشدی میزبان/طعمه، تراکم میزبان/طعمه، سن دشمن طبیعی و غیره تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Mohaghegh *et al.*, 2001; Hassanpour *et al.*, 2011; Mottaghinia *et al.*, 2017). اگر چه دشمنان طبیعی که دارای واکنش تابعی نوع سوم هستند، به دلیل عملکرد وابسته به تراکم خود در محدوده‌ای از تراکم میزبان/طعمه بهتر می‌توانند جمعیت میزبان/طعمه را کنترل کنند (Prervez and Omkar, 2005)، ولی موفقیت دشمنان طبیعی در کاهش جمعیت میزبان/طعمه با واکنش تابعی نوع دوم نیز امکان پذیر است، زیرا همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد عوامل زیستی و غیرزیستی بر کارایی دشمنان طبیعی تاثیر می‌گذارد (Yingfang and Fadamiro, 2010; Hassanpour *et al.*, 2011). هم‌چنین، باید در نظر داشت که بررسی واکنش تابعی در شرایط آزمایشگاهی لزوماً تاثیر واقعی پارازیتوئید را روی جمعیت میزبان در محیط‌های طبیعی منعکس نمی‌کند؛ زیرا در چنین شرایطی، در دسترس بودن بیش‌تر میزبان در تراکم‌های پایین و محدود شدن پارازیتوئید در یک محیط کوچک برای مدت زمان مشخص، زمینه را برای بروز واکنش تابعی نوع دوم - فراهم می‌کند (Montoya *et al.*, 2000). از طرفی، شدت واکنش تابعی با قدرت جستجو (a) و زمان دست‌یابی (T_h) دشمن طبیعی تعیین می‌شود. قدرت جستجو میزان جستجوی انجام شده توسط پارازیتوئید است (Holling, 1959). در بررسی حاضر مقدار این پارامتر برای زنبور *V. canescens* برابر با ۱/۱۷۴ بر

بوده و می‌تواند باعث افزایش سازگاری آن شوند (Tepa-Yotto *et al.*, 2013). به همین دلیل است که در بررسی حاضر زنبور *V. canescens* ترجیح بیش‌تری به لاروهای سن چهارم بید سیب‌زمینی نشان داد. در بررسی انجام شده توسط Ha *et al.* (2006) نیز، ترجیح تخم‌گذاری زنبور *V. canescens* در لاروهای شب‌پره هندی متأثر از کیفیت میزبان بود. لازم به ذکر است که نرخ برخورد پارازیتوئید با میزبان نیز، تابعی از جثه میزبان است. به طوری که، با افزایش جثه میزبان، نرخ برخورد با آن بیش‌تر شده و در نتیجه احتمال پارازیته کردن آن زیاد می‌شود. از طرف دیگر، اگر چه لاروهای سنین بالاتر به وضوح، قدرت بدنی و دفاعی بیش‌تری نسبت به لاروهای سنین پایین‌تر دارند و این امر ممکن است در بیش‌تر مواقع باعث کاهش نرخ پارازیتیسیم روی آن‌ها گردد (Sabelis, 1992)، ولی این نکته نیز باید در نظر گرفته شود که انتخاب مرحله سنی مناسب میزبان توسط پارازیتوئیدها، اغلب با توجه به سودآوری آن مرحله سنی صورت می‌گیرد (Sabelis, 1985). چنان‌که، برخی مراحل رشدی میزبان که کم‌تر مورد حمله پارازیتوئیدها قرار می‌گیرند، سودآوری کم‌تری نسبت به سنین دیگر دارند که این امر می‌تواند به دلیل تفاوت در هزینه پارازیتیسیم بین سنین مختلف میزبان باشد. این هزینه ممکن است ناشی از توانایی کم‌تر پارازیتوئید در پیدا کردن میزبان‌ها، افزایش در زمان دست‌یابی آن، افزایش مرگ و میر میزبان یا پارازیتوئید، افزایش طول دوره رشدی، کاهش اندازه و زادآوری زنبورها باشد (Sait *et al.*, 1995). بنابراین، پارازیتوئیدها (به ویژه آن‌هایی که با محدودیت زمانی مواجه هستند) احتمالاً با سنجیدن این هزینه‌ها، زمان جستجوی خود را صرف پیدا کردن لاروهای بزرگ‌تر و سودآورتر می‌نمایند. بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی حاضر، واکنش تابعی زنبور *V. canescens* نسبت به تغییرات تراکم لاروهای بید سیب‌زمینی از نوع دوم بود. این یافته همسو با یافته‌های Keishani Farahani *et al.* (2012) است که نشان دادند زنبور *V. canescens* روی لاروهای سن پنجم کرم گلوگاه انار،

بودن زمان دست‌یابی زنبور *V. canescens* روی لاروهای بید سیب‌زمینی نسبت داده شود. کارایی جستجوگری بهینه یک پارازیتوئید نه تنها متأثر از نوع و تعداد میزبان‌هایی است که به آن‌ها برخورد و حمله می‌کند، بلکه به تعداد تخم‌های موجود در تخمدان و سایر عوامل فیزیولوژیکی نیز بستگی دارد (Godfray, 1994). در زنبور *V. canescens* تکامل تخم‌ها به صورت تدریجی انجام می‌شود^۳ (Harvey *et al.*, 1994) و با توجه به این که در بررسی حاضر فقط از زنبورهای یک روزه استفاده شد، بنابراین امکان دارد با افزایش سن زنبور، حداکثر ظرفیت رسیدن روزانه تخم‌ها و کارایی جستجوگری آن به تدریج افزایش یابد. نتایج بررسی حاضر نشان داد که در تراکم‌های بالای زنبور *V. canescens*، تعداد لاروهای پارازیته شده بید سیب‌زمینی افزایش پیدا کرد، ولی افزایش تراکم زنبورهای *V. canescens* منجر به کاهش قدرت جستجو به ازای هر فرد زنبور شد. شیب منفی خط رگرسیون نیز نشان دهنده بروز تداخل متقابل بین زنبورها بود؛ به عبارت دیگر، با افزایش تراکم زنبورها رقابت درون گونه‌ای بین آن‌ها بیش‌تر شد. وجود رقابت درون گونه‌ای بین پارازیتوئیدها باعث می‌شود که هر پارازیتوئید زمان بیش‌تری را صرف برهمکنش با سایر افراد هم گونه خود کند (Hassell, 1971). در نتیجه، افزایش تراکم پارازیتوئیدها موجب کاهش قدرت جستجوی آن‌ها می‌شود. در تحقیقی Hughes *et al.* (1994) با مطالعه تداخل متقابل زنبورهای *V. canescens* گزارش کردند که افراد این پارازیتوئید در صورت برخورد با یکدیگر مجبور می‌شوند محل دیگری از پیچ را جستجو کنند. مطالعه رفتار جستجوگری زنبور *V. canescens* توسط Castelo *et al.* (2003) نیز نشان داد که این زنبور در تراکم‌های بالای خود از انجام رقابت با سایر افراد هم‌گونه اجتناب می‌کند و این اجتناب زمانی اتفاق می‌افتد که زنبورهای جستجوگر یک رایحه ترکیبی از کایرومون‌های میزبان و زنبورهای هم‌گونه خود را دریافت می‌کنند. در بررسی حاضر، هر چند افزایش تراکم زنبورها منجر به کاهش قدرت

ساعت به دست آمد. در مطالعه انجام شده توسط Keishani Farahani *et al.* (2012) قدرت جستجوی زنبور *V. canescens* روی لاروهای سن پنجم کرم گلوگاه انار ۰/۶۵۹۷ بر ساعت گزارش شد. دلیل تفاوت قدرت جستجوی زنبور *V. canescens* در این دو بررسی به احتمال زیاد مربوط به متفاوت بودن نوع میزبان مورد استفاده در این دو پژوهش می‌باشد، زیرا تفاوت جثه بدن، تحرک و رفتارهای دفاعی میزبان‌ها می‌تواند باعث تفاوت قدرت جستجوی دشمنان طبیعی گردد (Hassanpour *et al.*, 2011). زمان دست‌یابی یک پارازیتوئید به فاصله زمانی بین دو تخم‌گذاری گفته می‌شود و بیانگر کل زمان صرف شده برای جستجو، پروب کردن میزبان، پارازیته کردن آن، استراحت و تمیز کردن خود و خوردن آب یا شهد است (Holling, 1959; Sule *et al.*, 2014). بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی حاضر، مقدار زمان دست‌یابی زنبور *V. canescens* ۱/۳۴۷ ساعت برآورد شد. با رهاسازی زنبور *V. canescens* روی لاروهای سن پنجم کرم گلوگاه انار توسط Keishani Farahani *et al.* (2012)، مقدار زمان دست‌یابی آن ۰/۵۶۹۱ ساعت به دست آمد که بسیار کم‌تر از مقدار محاسبه شده در بررسی حاضر می‌باشد. طبق نظر Chong and Oetting (2007)، زمان صرف شده توسط یک پارازیتوئید برای دست‌یابی به یک میزبان که در مدل‌های واکنش تابعی برآورد می‌شود به طور معمول بیش از مقدار واقعی، تخمین زده می‌شود، زیرا پارازیتوئید کل زمان در دسترس خود را فقط صرف جستجوگری نمی‌کند، بلکه به فعالیت‌های دیگری مانند یافتن میزبان، تغذیه، تمیز کردن خود و استراحت نیز می‌پردازد. بنابراین، مقدار بالای زمان دست‌یابی زنبور در بررسی حاضر ممکن است ناشی از این امر باشد. در بررسی حاضر، حداکثر نرخ پارازیتیسیم برای زنبور *V. canescens* برابر با ۱۷/۸۲ عدد لارو برآورد شد. این زنبور روی کرم گلوگاه انار دارای حداکثر نرخ پارازیتیسیم ۴۲/۱۷ لارو بود (Keishani Farahani *et al.*, 2012). تفاوت مقدار عددی حداکثر نرخ پارازیتیسیم در دو مطالعه اخیر می‌تواند به طولانی

چهارم بید سیب‌زمینی را جهت تخم‌گذاری و پرورش نتاج خود انتخاب کرد.

واکنش تابعی نوع دوم این زنبور نیز نشان دهنده مرگ و میر وابسته به تراکم منفی آن در جمعیت لاروهای بید سیب‌زمینی بود. همچنین، با وجود کاهش قدرت جستجوی هر فرد زنبور در اثر افزایش تراکم زنبورهای *V. canescens*، سرانه پارازیتیسیم آن-ها بیش‌تر بود. بنابراین، نتایج این پژوهش نشان داد که زنبور *V. canescens* توانایی کنترل جمعیت بید سیب‌زمینی را دارد و می‌تواند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی این آفت مهم به ویژه در انبارها مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد که بدین وسیله مراتب قدردانی و سپاسگزاری خود را اعلام می‌کنیم.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

جستجوی آن‌ها شد، ولی تعداد سرانه لاروهای پارازیت شده افزایش پیدا کرد. این امر نشان می‌دهد که افزایش نرخ رهاسازی پارازیتوئید می‌تواند باعث افزایش میزبان‌های پارازیت شده گردد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که تعداد قابل توجهی از آفت در تراکم‌های بالای زنبور *V. canescens* پارازیت شوند. با این وجود، همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد افزایش تعداد پارازیتوئیدها در پیچ ممکن است کاهش کارایی پارازیتوئیدها را به دنبال داشته باشد. ضمن این‌که، دسترسی به غذا و اندازه محیط آزمایشی نیز می‌تواند تداخل متقابل بین پارازیتوئیدها را تحت تاثیر قرار دهد. البته بروز تداخل بین دشمنان طبیعی در محیط‌های آزمایشگاهی به معنی بروز آن در شرایط طبیعی نمی‌باشد؛ چرا که وجود تراکم‌های بالای آفت در محیط‌های طبیعی می‌تواند زمینه را برای کاهش رقابت درون‌گونه‌ای بین افراد دشمن طبیعی فراهم سازد (Bayoumy and Michaud, 2012). به طور خلاصه، نتایج این مطالعه بر اهمیت مرحله سنی و تراکم میزبان و نیز تراکم پارازیتوئیدها بر رفتار جستجوی آن‌ها تاکید دارد. چنان‌که بر اساس نتایج تحقیق حاضر، زنبور *V. canescens* لاروهای سن

REFERENCES

1. Abdallah, Y. E. Y. (2017) Yield losses caused to potato plants by potato tuber worm, *Phthorimaea operculella* (Zeller) and its economic levels at Qalyubia Governorate Egypt. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 10, 73-79.
2. Abedi, A., Golizadeh, A., Hassanpour, M. and Soufbaf, M. (2020) Effect of pomegranate cultivars with varying levels of resistance to *Ectomyelois ceratoniae* on life history parameters of the parasitoid *Venturia canescens*. *BioControl*, doi: org/10.1007/s10526-020-10017-y.
3. Adarkwah, C., Ulrichs, C., Schaarschmidt, S., Badii, B. K., Addai, I. K., Obeng-Ofori, D. and Schöller, M. (2014) Potential of Hymenopteran larval and egg parasitoids to control stored-product beetle and moth infestation in jute bags. *Bulletin of Entomological Research*, 104, 534-542.
4. Akbari Asl, M. H., Talebi, A. A. and Kamali, H. (2007) Identification host ranges and abundance of parasitoids of stored product pests in Mashhad. *New findings in Agriculture*, 1, 225-232. (In Farsi)
5. Bayoumy, M. H. and Michaud, J. P. (2012) Parasitism interacts with mutual interference to limit foraging efficiency in larvae of *Nephus includens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control*, 62, 120-126.
6. Capinera, J. L. (2001) *Handbook of vegetable pests*. Academic Press, New York, USA.
7. Castelo, M. K., Corley, J. C. and Desouhant, E. (2003) Conspecific avoidance during foraging in *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae): The roles of host presence and conspecific densities. *Journal of Insect Behavior*, 16, 307-318.
8. Chandel, R. S., Chandra, V. K. and Singh, B. P. (2005) Potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller). Malhotra publishing house, DSIDC Complex, Kirti Nagar, New Dehli, India.
9. Chong, J. and Oetting, R. D. (2007) Functional response and progeny production of the Madeira mealybug parasitoid, *Anagrus* sp. nov. nr. *sinope*: The effect of host stage preference. *Biological Control*, 41, 78-85.
10. Doğramaci, M., Rondon, S. I. and Debano, S. J. (2008) The effect of soil depth and exposure to winter

- conditions on survival of the potato tuberworm *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 129, 332-339.
11. Doğramaci, M. and Tingey, W. M. (2008) Comparison of insecticide resistance in a North American field population and a laboratory colony of potato tuberworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Pest Science*, 81, 17.
 12. Domínguez-Jiménez, I., Llanderal-Cázares, C. and Nieto-Hernández, Y. R. (2000) *Pristomerus spinator* Fabricius (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasite of the potato tuber moth. *Grociencia*, 34, 611-617.
 13. Eliopoulos, P. A. (2006) Life tables of *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae) parasitizing the Mediterranean flour moth (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 99, 237-243.
 14. Eliopoulos, P. A. and Stathus, G. J. (2003) Temperature dependent development of the koinobiont endoparasitoid *Venturia canescens* Gravenhost (Hym.: Ichneumonidae). *Journal of Zoology*, 39, 315-319.
 15. Eliopoulos, P. A. and Stathas, G. J. (2005) Effects of temperature, host instar, and adult feeding on progeny production by the endoparasitoid *Venturia canescens* (Gravenhorst) (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Environmental Entomology*, 34, 14-21.
 16. Eyidozahi, K., Khormali, S., Ravan, S. and Barahoei, H. (2013) Introduction of seven wasps parasitoid species associated with stored food product pests in Golestan Province. *Plant Pests Research*, 3, 69-72. (In Farsi)
 17. Fathipour, Y., Hosseini Gharalari, A., and Talebi, A. A. (2004) Some behavioral characteristics of *Diaeretiella rapae* (Hym., Aphidiidae), parasitoid of *Brevicoryne brassicae* (Hom., Aphididae). *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35, 393-401. (In Farsi)
 18. Godfray, H. C. J. (1994) *Parasitoids: Behavior and evolutionary ecology*. Princeton University Press, Princeton, MA, USA.
 19. Golizadeh, A., Esmaeili, N., Razmjou, J. and Rafiee-Dastjerdi, H. (2014) Comparative life tables of the potato tuberworm, *Phthorimaea operculella*, on leaves and tubers of different potato cultivars. *Journal of Insect Science*, 14, 42.
 20. Ha, D. M., Song, K. S., Nho, S. K. and Lee, K. Y. (2006) Host selection behaviors and progeny suitability of two parasitic wasps, *Venturia canescens* and *Bracon hebetor*, against abnormal host conditions of *Plodia interpunctella*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 9, 353-360.
 21. Hagstrum, D. W., Klejdysz, T., Subramanyam, B. and Nawrot, J. (2013) *Atlas of stored-product insects and mites*. International Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
 22. Harvey, J. A., Harvey, I. F. and Thompson, D. J. (1994) Flexible larval growth allows use of a range of host sizes by a parasitoid wasp. *Ecology*, 75, 1420-1428.
 23. Hassanpour, M., Mohaghegh, J., Iranipour, S., Nouri-Ganbalani, G. and Enkegaard, A. (2011) Functional response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) to *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): Effect of prey and predator stages. *Insect Science*, 18, 217-224.
 24. Hassell, M. P. (1971) Mutual interference between searching insect parasites. *Journal of Animal Ecology*, 40, 473-486.
 25. Hassell, M. P. and Varley, C. G. (1969) A new inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 223, 1133-1136.
 26. Holling, C. S. (1959) Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, 91, 385-398.
 27. Holling, C. S. (1961) Principles of insect predation. *Annual Review of Entomology*, 6, 163-182.
 28. Huffaker, C. B. and Matsumoto, B. M. (1982) Group versus individual functional responses of *Venturia [=Nemeritis] canescens* (Grav.). *Researches on Population Ecology*, 24, 250-269.
 29. Hughes, P., Harvey, I. F. and Hubbard, S. F. (1994) Host-searching behavior of *Venturia canescens* (Grav.) (Hymenoptera: Ichneumonidae): Interference-the effect of mature egg load and prior behavior. *Journal of Insect Behavior*, 7, 433-454.
 30. Juliano, S. A. (2001) Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In Scheiner, S. M. and Gurevitch, J. (Eds.), *Design and Analysis of Ecological Experiments*. Oxford University Press, New York.
 31. Kafle, L., Lai, P. and Chang, Y. (2005) Functional response of a parasitoid *Ganaspidium utilis* (Hymenoptera: Eucolidae) on the leafminer *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae). *Insect Science*, 12, 381-385.
 32. Keishani Farahani, H., Goldansaz, S. H. and Allahyari, H. (2012) Biology of *Venturia canescens*, a larval parasitoid of carob moth, *Ectomyelois ceratoniae* under laboratory conditions. *Iranian Journal*

- of *Plant Protection Science*, 43, 111-119. (In Farsi)
33. Khorrami, F., Soleymanzade, A., Forouzan, M., Noori, H. and Alikhani, M. (2018) Lethal and deterrent efficacy of three plants extracts on the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* Zeller and influence on percent parasitism of *Trichogramma brassicae*. *Biocontrol in Plant Protection*, 6, 77-87. (In Farsi)
 34. Mohaghegh, J., De Clercq, P. and Tirry, L. (2001) Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) to the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae): Effect of temperature. *Journal of Applied Entomology*, 125, 131-134.
 35. Montoya, P., Liedo, P., Benery, B., Barrere, J. F., Cancino, J. and Aluja, M. (2000) Functional response and superparasitism by *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 93, 47-54.
 36. Mottaghinia, L., Hassanpour, M., Razmjou, J., Chamani, E. and Hosseini, M. (2017) Effect of vermicompost on functional response of the parasitoid wasp *Aphidius colemani* (Hym., Braconidae) to the melon aphid, *Aphis gossypii* (Hem., Aphididae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 37, 81-93. (In Farsi)
 37. Navrozidis, E. I. and Andreadis, S. S. (2012) *Applied agricultural entomology*. Copy City Publish, Thessaloniki.
 38. Nicholson, A. J. (1933) The balance of animal population. *Journal of Animal Ecology*, 2, 131-178.
 39. Panagiotis, A. and Eliopoulos, P. A. (2007) The importance of food supplements for parasitoids of stored product pests: The case of *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Integrated Protection of Stored Products*, 30, 37-41.
 40. Pervez, A. and Omkar (2005) Functional responses of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science*, 5, 125-131.
 41. Reineke, A., Asgari, S. and Schmidt, O. (2006) Evolutionary origin of *Venturia canescens* virus-like particles. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 61, 123-133.
 42. Rogers, D. J. (1972) Random search and insect population models. *Journal of Animal Ecology*, 41, 369-383.
 43. Rondon, S. I. (2010) The potato tuberworm: A literature review of its biology, ecology, and control. *American Journal of Potato Research*, 87, 149-166.
 44. Rondon, S. I., Hane, D., Brown, C. R., Vales, M. I. and Dögramaci, M. (2009) Resistance of potato germplasm to the potato tuberworm (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology*, 102, 1649-1653.
 45. Sabelis, M. W. (1985) Predation on spider mites. In Helle, W. and Sabelis, M. W. (Eds.), *Spider mites: Their biology, natural enemies, and control*. Vol. 1B. Elsevier science publisher, Amsterdam, Netherlands.
 46. Sabelis, M. W. (1992) Predatory arthropods. In Crawley, M. J. (Ed.), *Natural enemies*. Blackwell, Oxford, UK.
 47. Sait, S. M., Andreev, R. A., Begon, M., Thompson, D. J., Harvey, J. A. and Swain, R. D. (1995) *Venturia canescens* parasitizing *Plodia interpunctella*: Host vulnerability-a matter of degree. *Ecological Entomology*, 20, 199-201.
 48. Salehi, L. (2003) A study on reproductive capacities and rate in parasitism of two parasitoids of potato tuber moth. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 34, 231-245. (In Farsi)
 49. Saour, G., Al-Daoude, A. and Ismail, H. (2012) Evaluation of potato tuber moth mortality following postharvest cold storage of potatoes. *Crop Protection*, 38, 44-48.
 50. SAS Institute (2001) SAS/STAT user's guide. SAS Institute Inc., Cary, NC Inc.
 51. Sequeira, R. V. (1991) *Nutritional and physiological ecology of insect host-parasitoid associations: The pea aphid-Aphidius ervi system*. Ph.D. dissertation, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Canada.
 52. Solomon, M. E. (1949) The natural control of animal populations. *Journal of Animal Ecology*, 18, 1-35.
 53. SPSS Inc. (2007) SPSS base 16.0 user's guide. SPSS Incorporation, Chicago.
 54. Sule, H., Muhamad, R., Omar, D. and Hee, A. K. W. (2014) Parasitism rate, host stage preference and functional response of *Tamarixia radiata* on *Diaphorina citri*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16, 783-788.
 55. Tazerouni, Z., Talebi, A. A. and Rakhshani, E. (2011) The foraging behavior of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) on *Diuraphis noxia* (Homoptera: Aphididae). *Archive of Biological Science*

- Belgrade*, 63, 225-234.
56. Tapa-Yotto , G. T., Hofsvang, T., Godonou, I., Tchibozo, I. and Sæthre, M. G. (2013) Host instar suitability of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) for *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Braconidae) and parasitism effect on aphid life table. *Applied Entomology and Zoology*, doi: 10.1007/s13355-013-0203-5.
57. Trematerra, P., Oliviero, A., Savoldelli, S. and Scholler, M. (2016) Controlling infestation of a chocolate factory by *Plodia interpunctella* by combining mating disruption and the parasitoid *Habrobracon hebetor*. *Insect Science*, 00, 1-8.
58. Trexler, J. C., McCulloch, C. E. and Travis, J. (1988) How can the functional response best be determined?. *Oecology*, 76, 206-214.
59. Trexler, J. C. and Travis, J. (1993) Nontraditional regression analysis. *Ecology*, 74, 1629-1637.
60. Yingfang, X. and Fadamiro, H. Y. (2010) Functional responses and prey-stage preferences of three species of predacious mites (Acari: Phytoseiidae) on citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control*, 53, 345-352.